



Pièce 7 bis - Résumé non technique de l'étude de dangers

Projet de parc éolien de Quinsac
Commune de Payroux (86)

Octobre 2025


Alterric

Sommaire

Présentation du document

3

Démarche d'analyse des risques

5

Environnement de l'installation

9

Evaluation des principaux risques

15

Résultats de l'étude détaillée des risques

19

Mesure de maîtrise des risques

Precaution
Risks
Audit
Protection
Health
Insurance

25

Présentation du document

Le présent document est un résumé non technique de l'étude de dangers menée dans le cadre du développement du projet éolien de Quinsac. Il est rédigé sur la base du Guide technique élaboré conjointement par l'INERIS et le Syndicat des Énergies Renouvelables. Ce guide a été reconnu comme étant le document de référence pour la rédaction des études de dangers des parcs éoliens par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie en juin 2012.

L'étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par le demandeur pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Quinsac, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable.

Le présent résumé non technique s'attachera à décrire le projet et son environnement avant d'expliquer la méthode pour qualifier les risques et les résultats obtenus dans le cadre du projet éolien de Quinsac.

L'exploitant du parc éolien de Quinsac est la société SEPE VI41 Quinsac.



An aerial photograph of three large white wind turbines standing in a lush green valley. The scene is captured during the 'golden hour' of sunset or sunrise, with long shadows and a warm, orange-hued sky. The turbines are positioned at different heights on the rolling hills. The foreground shows a mix of green grass and trees with some autumnal colors. The overall composition is serene and emphasizes renewable energy in a natural setting.

Démarche d'analyse des risques

Démarche d'analyse des risques

Cette partie rappelle les différentes étapes de la démarche d'analyse des risques qui doit être mise en œuvre dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, conformément à la réglementation en vigueur et aux recommandations de l'inspection des installations classées :

- Identifier les enjeux pour permettre une bonne caractérisation des conséquences des accidents (présence et vulnérabilité des maisons, infrastructures, etc.) ;
- Connaître les équipements étudiés pour permettre une bonne compréhension des dangers qu'ils génèrent ;
- Identifier les potentiels de danger ;
- Connaître les accidents qui se sont produits sur le même type d'installation pour en tirer des enseignements (séquences des événements, possibilité de prévenir ces accidents, etc.) ;
- Analyser les risques inhérents aux installations étudiées en vue d'identifier les scénarios d'accidents possibles (qui se sont produits et qui pourraient se produire) ;
- Caractériser et classer les différents phénomènes et accidents en termes de probabilités, de cinétique, d'intensité et de gravité ;
- Réduire le risque si nécessaire ;
- Représenter le risque.



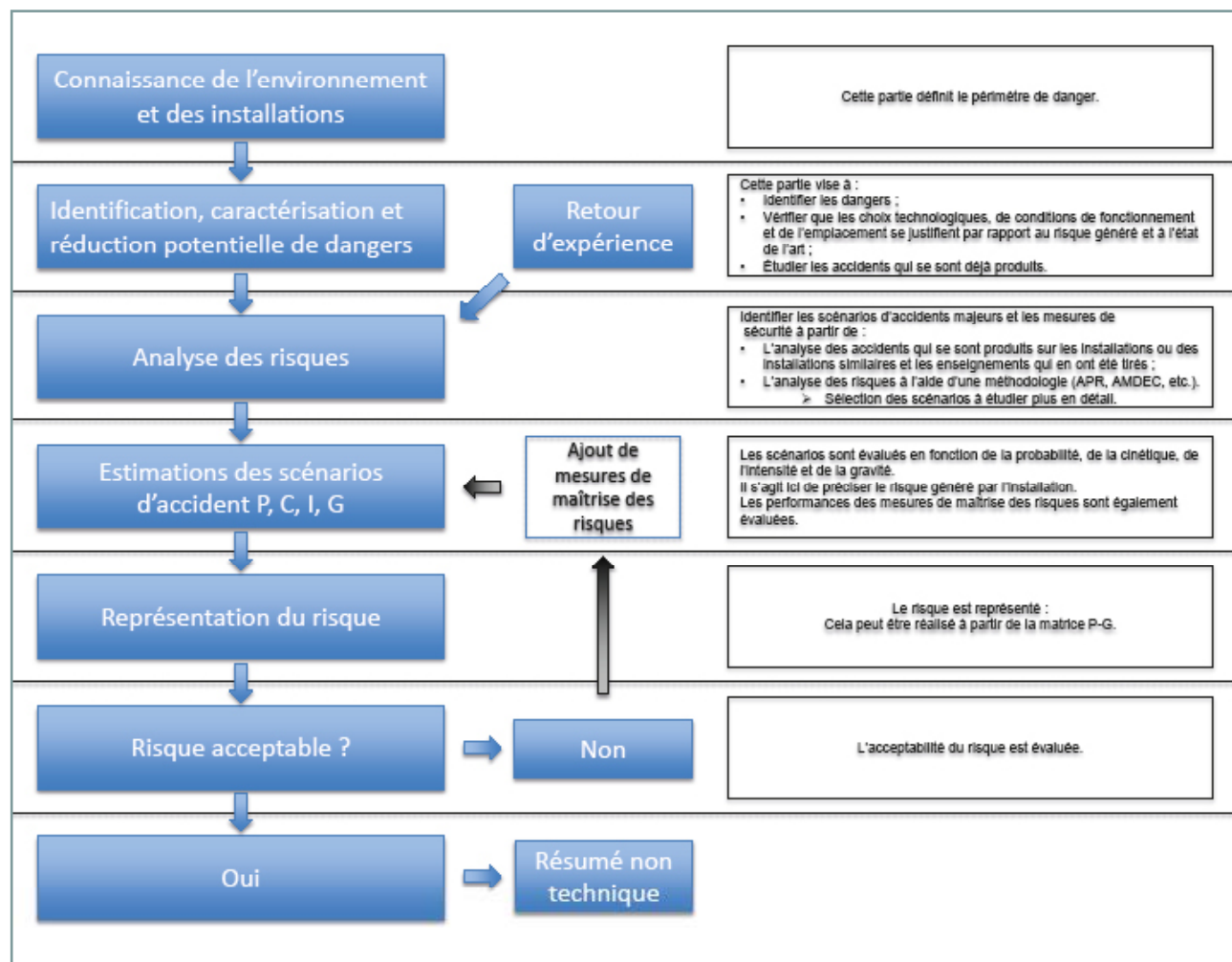


FIGURE 1: Les étapes de la démarche d'analyse des risques





Environnement de l'installation

Situation et description du projet éolien

Description de l'environnement au sein de
l'aire d'étude

Environnement de l'installation

Situation et description du projet éolien

Le projet éolien à Quinsac est composé de deux éoliennes et d'un poste de livraison. Ces infrastructures sont localisées sur le territoire communal de Quinsac dans le département de la Vienne en région Nouvelle-Aquitaine.

Les coordonnées du centre des éoliennes et du poste de livraison du projet sont rappelées dans le tableau suivant.

Éolienne	Coordonnées géographiques en WGS 84		Hauteur NGF	Altitude sommitale en extrémité de pale en mètre
	Nord	Est	m NGF	m NGF
EOL1	46°13'46.72"	00°30'26.49"	149	379
EOL2	46°13'30,24"	00°30'35,18"	152	382
PDL	46°13'34,03"	00°30'36,50"	152	154

FIGURE 2: Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison

Le gabarit retenu pour les éoliennes possède un diamètre de rotor de 150 m (soit une longueur de pale considérée de 73,7 m) avec une hauteur totale de l'éolienne à 230 m.

Les dimensions suivantes sont utilisées pour les calculs des différents scénarios étudiés : (le gabarit d'une Vestas V-150)

Caractéristiques	Gabarit
Hauteur maximale en bout de pale	230 m
Diamètre maximal du rotor	150 m
Hauteur minimale du mât	155 m
Garde au sol	80 m
Puissance unitaire de l'éolienne	6 MW

FIGURE 3: Modèle d'aérogénérateur Vestas V-150, 6,0 MW Description de l'environnement au sein de l'aire d'étude

Description de l'environnement au sein de l'aire d'étude

Définition de l'aire d'étude

Le guide générique de l'étude de dangers élaboré par l'INERIS et le SER propose d'étudier l'ensemble des éléments situés à moins de 500 m des éoliennes du projet. Cette distance apparaît adaptée au regard de l'intensité et de la probabilité des phénomènes dangereux identifiés pour les parcs d'éoliennes mais aussi du retour d'expérience de la filière éolienne. L'aire d'étude du projet est donnée sur la carte suivante.



L'environnement naturel

Les risques naturels sont susceptibles d'impacter les éoliennes du projet et sont donc étudiés de manière à caractériser les enjeux au niveau de la zone d'étude.

Le contexte climatique

La station de Civray présente des températures minimales moyennes comprises entre 3,9°C en janvier et 16°C en août, et maximales entre 8,1°C en janvier et 28,2°C en septembre. Cela correspond à une moyenne annuelle aux alentours de 14,2°C en 2023.

La quantité de précipitations annuelle varie suivant les années. En 2023, 1 090,7 mm sont tombés contre 604,7 mm en 2022 (d'après les données de référence de la station de Civray).

L'ensoleillement connaît une variation suivant les années. En 2023, 1 728 heures sont comptabilisées contre 2 100 heures en 2022 (d'après les données de référence de la station de Montmorillon).

Depuis 2021, la station de Civray enregistre en moyenne 32 jours de gel, ce qui est supérieur à la moyenne nationale, mais aucun jour où la température a été inférieure à -5°C.

Le gisement éolien sur la zone du projet à une hauteur de 100 m est approximativement de 6,35 m/s, ce qui constitue un potentiel éolien suffisant pour l'exploitation d'un parc éolien.

Les risques naturels au droit du projet

D'après la base de données SIS France, 14 séismes ont été ressentis dans la Vienne depuis les années 1900. Le dernier en date a eu lieu en 1988, l'épicentre était situé au Nord de Poitiers, qui se trouve dans une zone à risque modéré. La zone d'étude est située en zone 2, correspondant à un risque sismique faible.

En 2009, un rapport du BRGM recense 383 mouvements de terrains dans la Vienne. Selon Géorisque, la commune de Payroux est sujette au mouvement de terrains et, en 2022, un événement a eu lieu. Sur la zone de l'étude de danger, une attention sera portée au risque de gonflement d'argile dans le but d'anticiper ce risque.

Dans le périmètre de l'aire d'étude rapprochée, nous recensons 5 cavités souterraines : 3 sur la commune de Payroux, 1 sur la commune de Saint-Martin-l'Ars et 1 sur Usson-du-Poitou. La plus proche est celle de Saint-Martin-l'Ars, située à plus de 2,1 km des éoliennes. Aucune cavité souterraine n'est présente dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes.

Les éoliennes du projet sont localisées au niveau où l'aléa de retrait-gonflement des argiles est qualifié comme un aléa fort.

Selon Géorisque le projet éolien de Quinsac se situe en dehors des zones de débordement de nappe, d'inondations de cave et des Enveloppes Approchées des Inondations Potentielles des cours d'eau (EAIP). Aucun cours d'eau n'est présent dans le périmètre de 500 mètres autour des éoliennes. De plus, la commune de Payroux ne fait pas partie d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondations (PPRI).

D'après le rapport interministériel de 2010, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et l'Observatoire des forêts françaises, le projet éolien de Quinsac était et sera en dehors des sensibilités moyennes et fortes aux feux de végétation.



Les relevés météorologiques effectués à la station de Civray ont enregistré une rafale maximale à 34 m/s soit 122,4 km/h, en février 2009. Au regard des données disponibles, la commune de Payroux n'apparaît pas comme une zone propice au risque de tempête.

Le département de la Vienne a une densité de foudroiement dite moyenne comprise entre 0,5 et 1 nsg/km²/an, ce qui place le département sous la moyenne nationale qui est de 1,1. La commune de Payroux a un indice de foudroiement assimilé à la catégorie moyenne selon Météorage.

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, les cartographies suivantes permettent d'identifier dans la zone d'étude globale (500 m) puis dans les autres zones d'études les enjeux humains exposés ainsi que la localisation des biens, infrastructures et autres établissements.







Évaluation des principaux risques

Identification des potentiels de dangers de l'installation

Analyse des retours d'expérience

Analyse préliminaire des risques

Évaluation des principaux risques liés au parc éolien

Identification des potentiels de dangers de l'installation

Cette partie a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger potentiel, que ce soit au niveau des éléments constitutifs des éoliennes, des produits contenus dans l'installation, des modes de fonctionnement, etc. L'ensemble des causes externes à l'installation pouvant entraîner un phénomène dangereux, qu'elles soient de nature environnementale, humaine ou matérielle, seront traitées dans l'analyse de risques.

Potentiels de dangers liés aux produits

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

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

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

Aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou les postes de livraison.

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien à Quinsac sont :

- L'incendie : des produits combustibles sont présents sur le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu ;
- La toxicité : ce risque peut survenir à la suite d'un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie ;
- La pollution : en cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.



Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Quinsac sont de cinq types :

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

Analyse des retours d'expérience

À partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d'étudier leur évolution en fonction de la puissance raccordée.

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

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

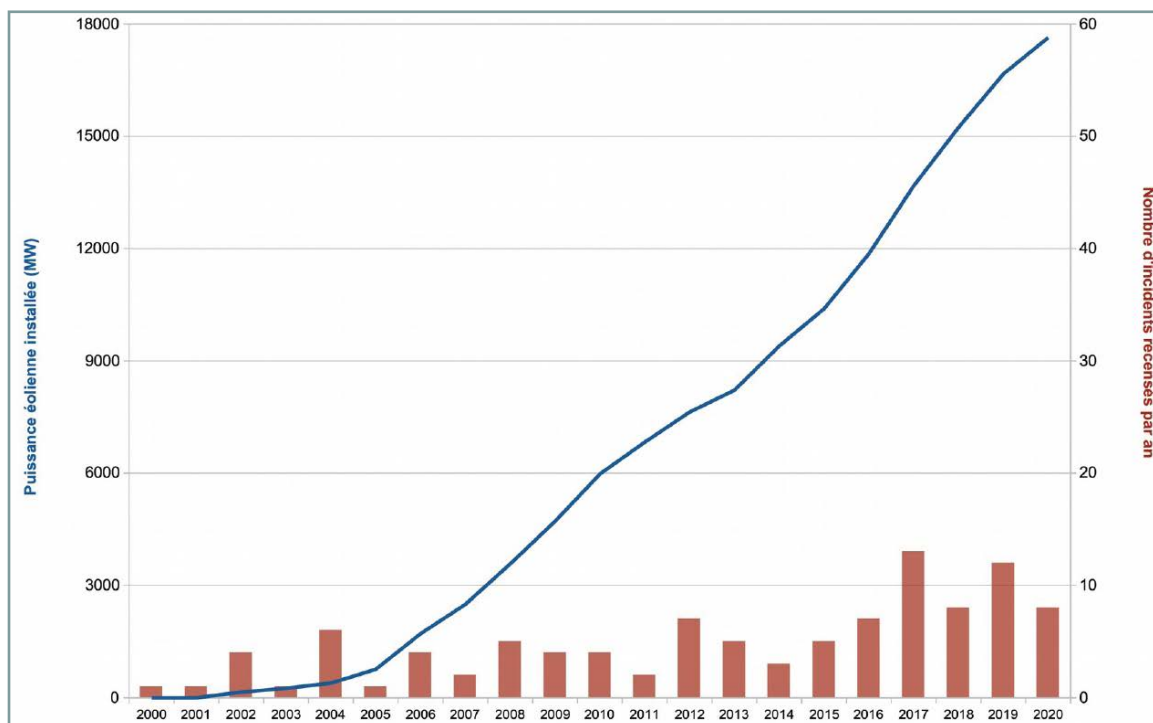


FIGURE 5: Évolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

Source : Guide technique, ARIA

On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant.



Analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences.

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

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





Résultats de l'étude détaillée des risques

Eolienne n°1

Eolienne n°2

PDL

Résultats de l'étude détaillée des risques

L'environnement du projet éolien est principalement composé de parcelles agricoles, ainsi que de voies de communication (routes goudronnées et chemins ruraux). Les risques concernent donc des personnes pouvant se trouver à proximité des éoliennes : agriculteur, marcheur, etc. De manière à caractériser les risques, deux critères sont utilisés : la probabilité et la gravité de chacun des événements redoutés.

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

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

FIGURE 6: Niveaux de probabilités

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, du retour d'expérience et 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 à la suite de la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte).



Les seuils de gravité sont quant à eux déterminés en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet identifiées. Cinq niveaux sont utilisés : « Modéré », « Sérieux », « Important », « Catastrophique » et « Désastreux ».

Les risques sont un croisement de ces deux critères, permettant de définir trois niveaux :

- Risque très faible (vert) : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables au regard de leur rapport intensité / probabilité ;
- Risque faible (jaune) : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
- Risque important (rouge) : niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Niveau de gravité	Niveau de risque
Effondrement de l'éolienne	Disques dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (230 m)	Rapide	Exposition Modérée	D	Modéré	Très faible
Chute de glace	Zone de survol des pales (75 m)	Rapide	Exposition Modérée	A	Modéré	Faible
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol des pales (75 m)	Rapide	Exposition Modérée	C	Modéré	Très faible
Projection de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition Modérée	D	Sérieux	Très faible
Projection de glace	Disque dont le rayon est égal à $1,5 \cdot (H+2R)$ (458 m)	Rapide	Exposition Modérée	B	Sérieux	Faible

FIGURE 7: Synthèse des scénarios étudiés

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide.



Le tableau suivant récapitule les niveaux de risques identifiés pour le parc éolien à Quinsac.

Récapitulatif					
Gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection de pale		Projection de glace	
Modéré		Effondrement	Chute d'éléments		Chute de glace
* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute					

FIGURE 8: Synthèse des acceptabilités

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- Certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que des fonctions de sécurité sont mises en place ;
- Tous les autres événements sont dans les cases vertes, soit avec un risque très faible.

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement. La carte suivante illustre les différentes zones d'effet retenues.





FIGURE 9: Carte de synthèse des zonages dits à risques





Mesure de maîtrise des risques

Mesures de maîtrise des risques

Malgré un risque acceptable pour l'ensemble des éoliennes du projet éolien à Quinsac, différentes fonctions de sécurité sont présentes sur les machines pour réduire les probabilités d'occurrence d'un accident :

- Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur entraînant la mise à l'arrêt de la machine ;
- Panneautage en pied de machine du risque de chute de glace ;
- Capteurs de température des pièces mécaniques détectant l'échauffement significatif des pièces mécaniques entraînant l'arrêt de la machine en cas de surchauffe ;
- Détection de survitesse permettant d'empêcher l'emballement de l'éolienne par un système de freinage aérodynamique et/ou mécanique ;
- Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique permettant de prévenir un court-circuit ;
- Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur grâce à des parafoudres ;
- Capteurs de températures et systèmes de détection d'incendie entraînant l'arrêt de l'éolienne et le déclenchement d'une alarme pour l'intervention des services de secours et de techniciens ;
- Détecteurs de niveau d'huile, systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte et de récupération permettant d'éviter le risque de fuite de produits dans l'environnement ;
- Surveillance des vibrations et contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblage pour prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage ;
- Mise en place de procédures de maintenance pour prévenir des erreurs de maintenance ;
- Choix du type de machine adapté aux conditions de vent sur le site et système de détection de vents forts entraînant l'arrêt automatique de la machine pour prévenir des risques de dégradation de l'éolienne ;
- Détection des défaillances du réseau électrique, système de batteries et système d'alimentation sans coupure permettant d'empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau.



CONCLUSION

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur l'aire d'étude du projet éolien à Quinsac. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Les accidents majeurs susceptibles de se produire sur le parc éolien de Quinsac présentent tous des niveaux de risque acceptables au vu de l'analyse menée dans la présente étude de dangers.



www.alterric-france.fr





Pièce 7 - Étude de dangers

Octobre 2025

Projet de parc éolien de Quinsac
Commune de Payroux (86)


Alterric

Sommaire

1. Introduction	8
1.1. Contexte législatif et réglementaire	8
1.2. Renseignements administratifs	11
1.3. Localisation du site	12
1.4. Définition de la zone d'étude	12
2. Cadre environnemental du projet	16
2.1. Environnement lié à l'activité humaine	16
2.1.1. Zones urbanisées	16
2.1.2. Établissements recevant du public (ERP).....	17
2.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires de base	17
2.1.4. Inventaires BASOL et BASIAS	21
2.2. Environnement naturel	23
2.2.1. Contexte climatique	23
2.2.2. Risques naturels.....	26
2.3. Environnement matériel	34
2.3.1. Voies de communication	34
2.3.2. Réseaux publics et privés.....	35
2.3.3. Patrimoine historique et culturel	36
2.4. Cartographie de synthèse	36
3. Description de l'installation	38
3.1. Caractéristiques de l'installation	38
3.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien	38
3.1.2. Activité de l'installation	44
3.1.3. Composition d'une éolienne	44
3.2. Fonctionnement de l'éolienne	47
3.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	47
3.2.2. Sécurité de l'installation.....	47



3.2.3. Opérations de maintenance de l'éolienne	55
3.2.4. Stockage et flux de produits dangereux	57
3.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation	57
3.3.1. Raccordement électrique d'un parc éolien	57
3.3.2. Raccordement électrique du parc éolien de Quinsac.....	58
4. Identification des potentiels de dangers de l'installation	60
4.1. Potentiels de danger liés aux produits	60
4.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	60
4.3. Réduction des potentiels de dangers à la source	62
4.3.1. Principales actions préventives	62
5. Analyse des retours d'expérience	66
5.1. Inventaire des accidents et incidents en France	66
5.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international	67
5.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	70
5.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France	70
5.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	71
5.3.3. Limites d'utilisation de l'accidentologie	71
6. Analyse préliminaire des risques	74
6.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques	74
6.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	74
6.3. Recensement des agressions externes potentielles	75
6.3.1. Agression externe liée aux activités humaines.....	75
6.3.2. Agression externe liée aux phénomènes naturels.....	76
6.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	76
6.5. Effets domino	81
6.6. Mise en place des mesures de sécurité	81
6.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	94



7. Étude détaillée des risques 96

7.1. Rappel des définitions 96

7.1.1. Cinétique	97
7.1.2. Intensité	97
7.1.3. Gravité	98
7.1.4. Probabilité.....	99
7.1.5. Acceptabilité	100
7.1.6. Rappel des caractéristiques des éoliennes du parc	101

7.2. Caractérisation des scénarios retenus 102

7.2.1. Effondrement de l'éolienne	102
7.2.2. Chute de glace	106
7.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne.....	108
7.2.4. Projection de pale ou de fragments de pale	111
7.2.5. Projection de morceaux de glace	115

7.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques 118

7.3.1. Tableaux de synthèses des scénarios étudiés	118
7.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	119
7.3.3. Synthèse cartographique des risques	120

8. Conclusion 122

9. Annexes 126

9.1. Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne 126

9.1.1. Terrains non bâtis	126
9.1.2. Voies de circulation	126
9.1.3. Logements.....	127
9.1.4. Établissements recevant du public (ERP).....	127
9.1.5. Zones d'activités	128



9.2. Tableau de l'accidentologie française	128
9.3. Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	134
9.3.1. Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)	134
9.3.2. Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)	134
9.3.3. Scénarios relatifs aux risques de fuite (F01 à F02)	136
9.3.4. Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)	136
9.3.5. Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)	137
9.3.6. Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)	137
9.4. Probabilité d'atteinte et risque individuel	138
9.5. Glossaire	139
9.5.1. Bibliographie	143







Première partie

Introduction

1. Introduction

Conformément et en application de la publication de l'arrêté du 26 août 2011 [1] relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, la Société d'Exploitation du Parc Eolien est tenue de réaliser un dossier de Demande d'Autorisation Environnementale. Le parc éolien étant composé d'aérogénérateurs de plus de 50 mètres, cette étude comprend la réalisation d'une étude de dangers, objet du présent rapport.

La présente étude exposera d'une part les dangers que peut représenter le projet en cas d'accidents. Elle s'attachera à présenter les accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, en décrivant la nature et l'extension des conséquences qu'aurait un accident éventuel. Elle s'attachera également à définir et justifier les mesures adoptées par l'exploitant du parc éolien pour réduire la probabilité et les effets d'un accident.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre par l'exploitant du parc éolien, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable et conforme au Code de l'Environnement.

1.1. Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'Environnement relative aux Installations Classées. Selon l'article L. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. L'article L. 512-1 précise également que le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation.

L'arrêté du 29 septembre 2005 [2] 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 fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accidents majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa



vulnérabilité. Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement :

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

De même, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers à l'installation, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 [3] précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.



A. Nomenclature

Conformément à l'article R.511-9 du Code de l'environnement, modifié par le décret n°2011-984 du 23 août 2011, les parcs éoliens sont soumis à la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées :

A. – Nomenclature des installations classées			
N°	DESIGNATION DE LA RUBRIQUE	A, E, D, S, C (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 50 m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 12 m, lorsque la puissance totale installée est :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) Inférieure à 20 MW.....	D	-
(1) A : autorisation, E : enregistrement, D : déclaration, S : servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement.			
(2) Rayon d'affichage en kilomètres.			

FIGURE 1: Nomenclature des installations classées

Le projet éolien de Quinsac comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure à 50 m : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation environnementale.

Remarque : De manière plus précise, le projet de parc éolien de Quinsac est constitué de 2 éoliennes. Les aérogénérateurs envisagés ne sont pas connus précisément (nom du fournisseur, puissance unitaire précise) à la date du dépôt du présent dossier. Cependant, les données de vent sur le site ainsi que les contraintes et servitudes ont permis de définir une enveloppe dimensionnelle maximale (gabarit) à laquelle répondront les aérogénérateurs qui seront installés sur les positions précises. Le parc comprend également un postes de livraison.



1.2. Renseignements administratifs

Exploitant de l'installation

Nom : Société d'Exploitation du Parc Eolien Quinsac
(SEPE VI41 Quinsac)

Adresse du siège social : 134 rue de Beauvais
60280 MARGNY-LES-COMPIEGNE

Adresse du site : Commune de Payroux

Demandeur : SEPE VI41 Quinsac

Forme juridique : SAS

Capital : 5 000, 00 Euros

Numéro d'immatriculation : 979 636 198

Contact du projet

Nom : Alterric France SAS

Adresse du siège social : 134, Rue de Beauvais
60280 Margny-Lès-Compiègne

Contact : Grégory Le Goué, Responsable du projet

Téléphone : 03.60.79.81.25

Forme juridique : SAS

Capital : 1 500 000,00 Euros

Numéro d'immatriculation : 538 918 509



1.3. Localisation du site

Le projet de parc éolien de Quinsac (86350) prévoit la mise en place de deux éoliennes et d'un poste de livraison sur la commune de Payroux, située au sein de la Communauté de Communes du Civraisien en Poitou dans le département de la Vienne en région Nouvelle-Aquitaine.

Le projet consiste en l'implantation d'éoliennes, destinées à la production d'électricité. Les éoliennes auront une puissance unitaire comprise entre 4,5 MW à 6,0 MW avec une hauteur totale d'environ 230 mètres maximum en bout de pale.

Plusieurs modèles d'éoliennes sont compatibles avec le site, le diamètre du rotor peut aller de 149 à 150 mètres avec des hauteurs de tours différentes afin de conserver la hauteur totale en bout de pale à 230 mètres maximum. Il a été décidé de concevoir la présente demande de manière à ce qu'elle permette de choisir le modèle précis d'éoliennes au moment de la construction.

Pour réaliser les calculs de l'étude de dangers, il a été décidé de choisir le modèle Vestas V-150 avec une hauteur totale maximum de 230 mètres, la plus contraignante car la plus importante en terme de dimension.

1.4. Définition de la zone d'étude

La zone d'étude de dangers correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur.

Les coordonnées WGS des installations sont données à titre indicatif :

Éolienne	Coordonnées géographiques en WGS 84		Hauteur NGF	Altitude sommitale en extrémité de pale en mètre
	Nord	Est	m NGF	m NGF
EOL1	46°13'46.72"	00°30'26.49"	149	379
EOL2	46°13'30,24"	00°30'35,18"	152	382
PDL	46°13'34,03"	00°30'36,50"	152	154

FIGURE 2: Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

La zone d'étude de dangers représentée par un rayon de 500 mètres autour de chaque éolienne comprend des champs cultivés, de la végétation ainsi qu'un parc photovoltaïque composé de multiples panneaux. Des chemins et des dessertes agricoles permettant l'accès à la zone d'implantation des aérogénérateurs sont présents sur le site. Des chemins d'accès seront à renforcer.



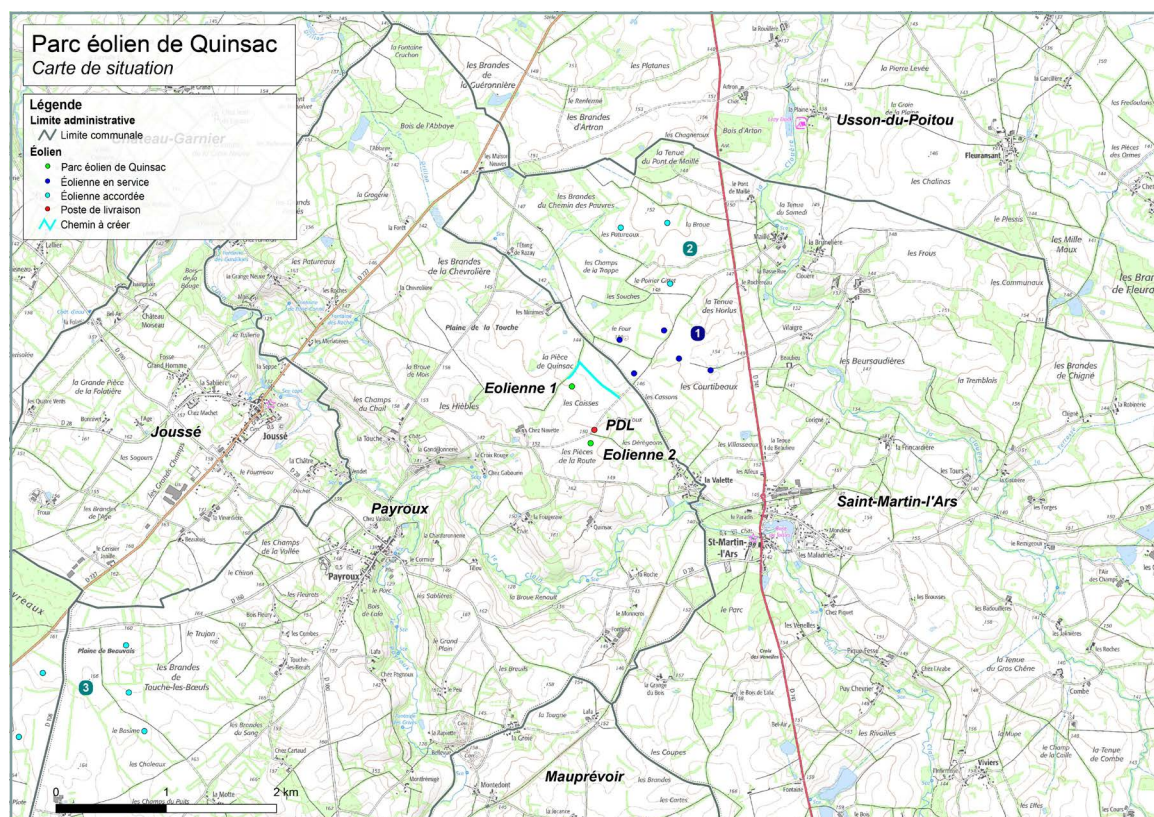


FIGURE 3: Carte de localisation générale du site



Deuxième partie

Cadre environnemental
du projet

2. Cadre environnemental du projet

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

De nombreuses informations sont issues du Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) dont le but est d'informer et de sensibiliser les élus locaux et les citoyens sur les risques potentiels auxquels ils sont exposés, afin de développer une véritable culture des risques et l'appropriation des mesures pertinentes pour les prévenir et s'en protéger. Le DDRM liste ainsi les risques potentiels sur le territoire.

2.1. Environnement lié à l'activité humaine

2.1.1. Zones urbanisées

Le site du projet concerne la commune de Payroux située à l'Ouest de la D741 et à l'Est de la D727. La commune de Payroux est majoritairement constituée de champs et de prairies. Elle comprend 468 habitants (population en 2020) pour une densité de 15,6 habitants / km². Le bâti de cette commune est principalement regroupé au sein du bourg principal de Payroux et de lieux-dits.

Les communes autour de Payroux sont les suivantes : Usson-du-Poitou (commune limitrophe avec le plus grand nombre d'habitants), Saint-Martin-l'Ars, Mauprévoir, Charroux, La Chapelle-Bâton, Joussé et Château-Garnier.

Commune	Nombre d'habitants	Densité en hab./km ²
Payroux	468	15,6
Usson-du-Poitou	1245	17,1
Saint-Martin-L'Ars	383	9,2
Mauprévoir	579	11,9
Charroux	1099	24,8
La Chapelle-Bâton	354	11,9
Joussé	305	40,2
Château-Garnier	612	17,1

FIGURE 4: Répartition de la population au sein de Payroux et des communes limitrophes

Source : INSEE 2020



Les habitations les plus proches se trouvent toutes sur la commune de Payroux, réparties sur quatre lieux-dits :

- La Valette, première habitation à 1 130m de Eol 1 et à 755 m de Eol 2 ;
- Quinsac, première habitation à 1 150m de Eol 1 et à 615 m de Eol 2 ;
- Les minimes, première habitation à 760 m de Eol 1 et à 1 300 m de Eol 2 ;
- Chez Navette, première habitation à 598 m de Eol 1 et à 598 m de Eol 2 .

L'habitation la plus proche est située à 575 m de l'éolienne Eol 1 (lieu-dit Chez Navette). Dans le périmètre de l'étude de dangers, aucune habitation, zone urbaine ou zone à urbaniser n'est présente.

Le territoire communal intégrant le périmètre d'étude de dangers concerne uniquement la commune d'accueil du projet (Payroux). La commune de Payroux recense, en 2020, 468 habitants pour 262 logements, représentant une densité de 15,6 habitants par kilomètre carré.

2.1.2. Établissements recevant du public (ERP)

L'ERP le plus proche est « La Gandillonnerie » à 1 375 m. Ce centre de soins spécialisés est classé catégorie 4 sur l'agenda d'accessibilité programmée. Cela correspond à une capacité d'accueil maximale de 300 personnes. Dans les faits, le bâtiment comporte 70 lits. En comptant le personnel, le lieu atteint une capacité avoisinant les 100 personnes.

La Marie et l'Église de Payroux se trouvent à plus de 2 km.

Il n'y a pas d'EPR dans le périmètre des 500 mètres autour des éoliennes du projet de Quinsac.

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

A. Installations nucléaires de base (INB)

La centrale nucléaire de Civaux se trouve à 27 km au Nord-Est du projet éolien de Quinsac. Le projet se trouve hors de périmètre de risque nucléaire vis-à-vis de cette centrale. Toutefois les centrales nucléaires peuvent faire l'objet de protection particulière en cas de menace dans le cadre d'un renforcement de la posture permanente de sûreté (PPS). De ce fait, une convention d'arrêt est établie avec la centrale nucléaire et sera transmise à l'armée.

B. Établissement SEVESO

Aucun établissement SEVESO ou installation nucléaire de base (INB) n'est présent dans les limites de la zone d'étude ou à proximité. Le projet respecte ainsi l'arrêté du 26 août 2011 préconisant une distance d'éloignement de 300 mètres entre le parc éolien et toute installation classée pour l'environnement.



C. Établissement ICPE ou autres sites inspectés - hors éolien

Les établissements dans le périmètre d'étude rapproché sont au nombre de 11 :

- Carrières Iribarren à Château-Garnier, Non Seveso ;
- Société des Calcaires de Payroux à Mauprévoir, Non Seveso ;
- Océalia à Saint-Martin-l'Ars, Non Seveso ;
- STRI à Saint-Martin-l'Ars ;
- MENARD Pascal à Saint-Martin-l'Ars ;
- SCEA La Vallée Claviere à Saint-Martin-l'Ars, Non Seveso ;
- Océalia à Usson-du-Poitou, Non Seveso ;
- Syndicat Interdépartemental Mixte pour l'Équipement Rural à Usson-du-Poitou ;
- SCEA La Vallée Claviere, à Usson-du-Poitou, Non Seveso ;
- SCEA La Vallée Claviere, à Usson-du-Poitou, Non Seveso ;
- SAVARD Jean, à Usson-du-Poitou.

L'installation la plus proche se trouve à 1,7 km, il s'agit de Océalia à Saint-Martin-l'Ars.

Les ICPEs dans le périmètre d'étude éloigné (15 km) sont au nombre de 40 (dont les 11 précédentes) :

- Commune d'Availles Limouzines à Availles-Limouzine Non Seveso ;
- SAS Bio Énergies Rivault à Bouresse, Non Seveso ;
- SCEA Du Rivault à Bouresse, Non Seveso ;
- Pain SARL à Brion, Non Seveso ;
- CPENR des Mignaudières II à Brion ;
- OCEALIA SCA (ex COREA) à Charroux ;
- GAEC De Gorge à Charroux, Non Seveso
- SARL Les Pins à Charrou, Non Seveso ;
- Carrières Iribarren à Château-Garnier, Non Seveso ;
- Carrières Iribarren à Château-Garnier Non Seveso ;
- GAEC de Petite Vallée à La Chapelle-Bâton ;
- GAEC Thomas à La Chapelle-Bâton, Non Seveso ;
- SCEA La Rousselière à La Chapelle-Bâton, Non Seveso ;
- Océalia à La Ferrière-Airoux ;
- EARL De La Faisanderie Du Bois Prieur à Le Vigeant, Non Seveso ;
- Moreau Et Fils SARL à Le Vigeant, Non Seveso ;
- SAS Bichon G.L à Le Vigeant, Non Seveso ;



- SAS Senergies, Le Vigeant Non Seveso ;
- Séché Eco Industries à Le Vigeant Non Seveso ;
- Sardin Christelle à Magné ;
- SCEA Abonneau à Magné, Non Seveso ;
- GAEC De Thorigne à Pressac, Non Seveso ;
- Océalia à Romagne ;
- Guillard Ludovic à Saint-Romain ;
- Porcheron Jean-Marc à Saint-Secondin, Non Seveso ;
- Simer à Savigné, Non Seveso ;
- Artifice Creation à Sommières-du-Clain ;
- Suez RV Sud Ouest à Sommières-du-Clain, Non Seveso ;
- Axiom - Elevage De Chanteloup à Usson-du-Poitou, Non Seveso.

Aucune installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) n'est présente sur la commune de Payroux et par extension à l'intérieur de la zone d'étude de danger (500 m des éoliennes).

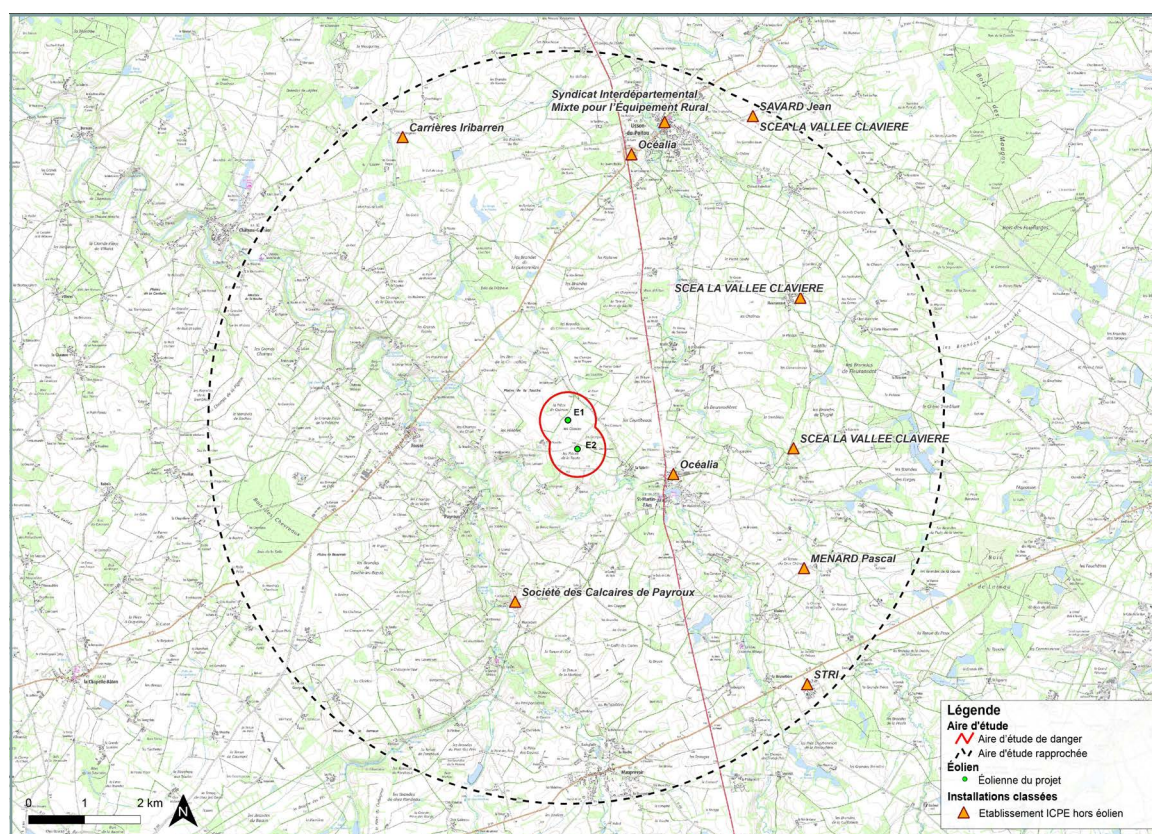


FIGURE 5: Carte de localisation des établissements ICPE hors éolien



D. Établissement ICPE éolien

Parmi les ICPE éolien, 5 parcs éoliens sont présents dans l'aire d'étude rapprochée :

- Parc Éolien des Courtibeaux à Saint-Martin-l'Ars, Non Seveso (à 575 m de Eol 1) ;
- Parc Éolien des Patureaux à Saint-Martin-l'Ars, Non Seveso (à 1,2km de Eol 2) ;
- Ferme Éolienne de Mauprevoir à Mauprévoir, Non Seveso (à plus de 3,3 km de Eol 2) ;
- Parc Éolien La Plaine de Beauvais à cheval sur la commune de La Chapelle-Bâton et la commune de Payroux (à plus de 4,6 km de Eol 1) ;
- Parc Éolien les 4 vents à Château-Garnier, Non Seveso (à plus de 5,6 km de Eol 1).

Aucun parc éolien riverain n'intègre le périmètre de la zone d'étude de dangers (500 m).

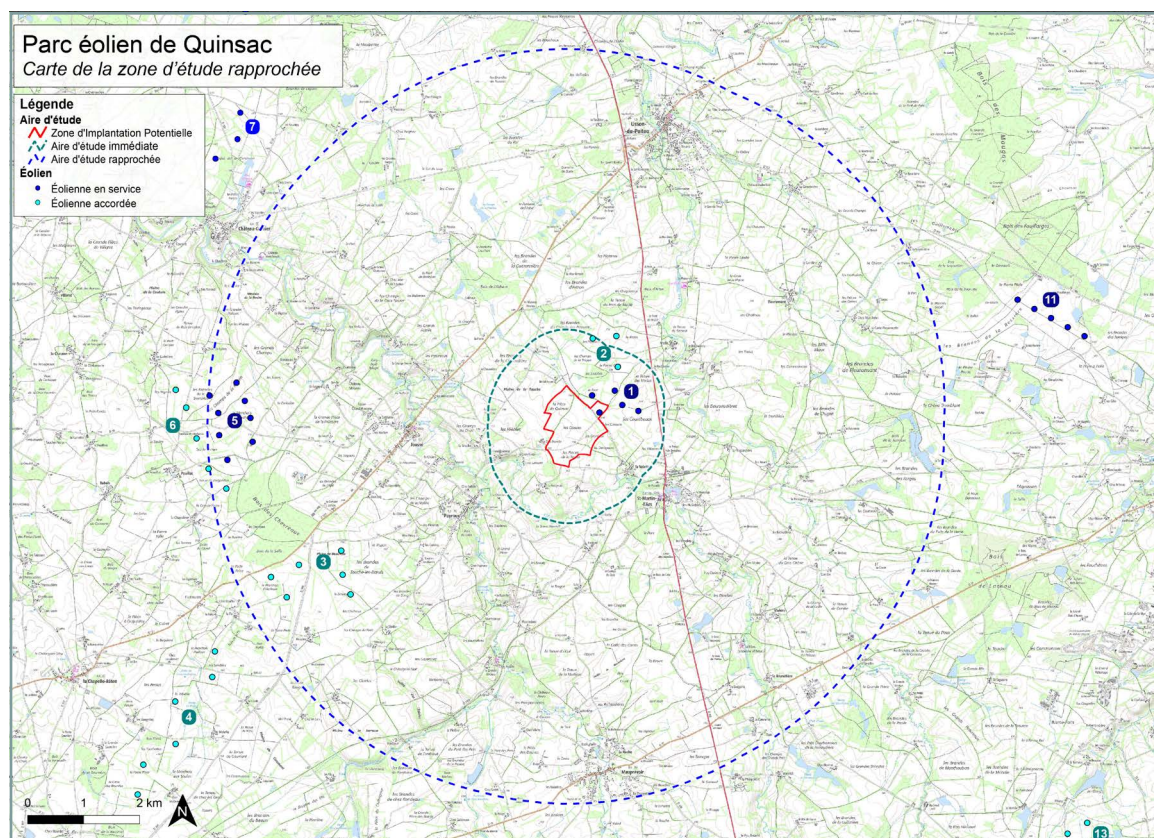


FIGURE 6: Carte du contexte éolien dans la zone d'étude rapprochée de 6 km

2.1.4. Inventaires BASOL et BASIAS

BASIAS est l'acronyme pour « Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services ». Depuis octobre 2021, le système d'information géographique de la CASIAS a inclus les sites répertoriés dans BASIAS.

Les sites BASIAS situés dans l'aire d'étude rapprochée sont les suivants :

- SSP4036851 à Saint-Martin-l'Ars, Garage Atelier Chaudronnerie Tôlerie à 1,65 km du projet ;
- SSP4037108 à Saint-Martin-l'Ars, Dépôt d'ammoniac liquide à 1,9 km du projet ;
- SSP421517 à Payroux, Société des Calcaires de Payroux à 2,9 km du projet ;
- SSP4037325 à Joussé, Dépôt d'ammoniac liquide à 2,9 km du projet ;
- SSP4037177 à Joussé, Cabine de peinture à 3,7 km du projet ;
- SSP4037649 à Usson-du-Poitou, Garage à 4,45 km du projet ;
- SSP4035644 à Mauprévoir, Usine de chaux à 4,1 km du projet ;
- SSP4037454 à Mauprévoir, Menuiserie, charpentes, couverture zinguerie à 5,95 km du projet ;
- SSP4037664 à Mauprévoir, Atelier de maréchalerie à 5,85 km du projet ;
- SSP4036818 à Mauprévoir, Garage à 5,83 km du projet ;
- SSP4036601 à Mauprévoir, Dépôt de gaz combustible liquéfié à 5,76 km du projet ;
- SSP4035933 à Mauprévoir, Garage à 5,76 km du projet ;
- SSP4124845 à Payroux, PE de la Jarroue à 6,2 km du projet.

Ces sites BASIAS sont en dehors de la zone d'étude de danger du projet de Quinsac.

BASOL est une base constituée par le MTES (Ministère de la Transition Ecologique), recensant les sites et sols pollués (potentiellement) nécessitant une intervention des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif. Un site pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

- Le site BASOL le plus proche se trouve sur la commune Le Vigeant, à plus de 9,3 km de Eol 2. Le site est inscrit dans la base BASOL des sites et sols pollués sous le numéro SSP00096601, pour diverses activités industrielles qui se sont succédé depuis 1935 : affinage de métaux de récupération, décharge interne, destruction de munitions, stockage de scories et de résidus de fonderie d'aluminium, à l'origine des pollutions métalliques (Al, Ni, As, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb) et en hydrocarbures.

Ce site BASOL est en dehors de la zone d'étude de danger du projet de Quinsac.



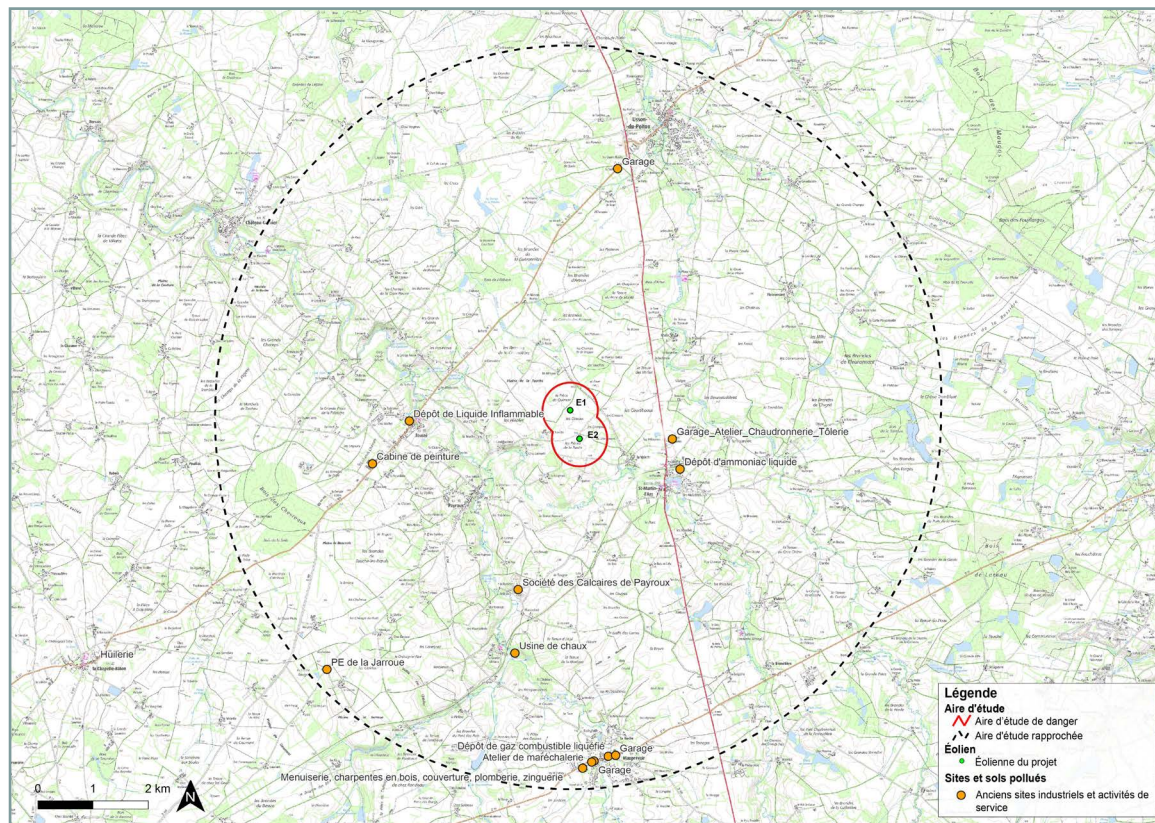


FIGURE 7: Carte de localisation des anciens sites industriels et activités de service

2.2. Environnement naturel

2.2.1. Contexte climatique

Le climat de la Vienne est à forte dominance océanique. Cela s'explique par sa proximité avec l'océan Atlantique à l'ouest. Ce climat se traduit par des précipitations modérées, des étés tièdes et des hivers frais sans atteindre d'extrêmes.

La température moyenne du Nord (Loudun) au Sud (Civray) de la région ne varie pas significativement, seuls les taux de précipitation connaissent des différences. La moyenne annuelle à Loudun est de 56,8 mm tandis qu'à Civray elle est de 68,8 mm.

Les données de la station météo de Civray (46,16° N / 0,30° E ; située à environ 18 km de la commune de Payroux) ont été utilisées comme données de référence pour les températures et les précipitations. Cette station ne permet pas d'évaluer l'ensoleillement.

Afin d'avoir une idée sur la durée d'ensoleillement, la station de Montmorillon (46,41° N/0,84° E ; située à environ 35 km de la commune de Payroux) a été utilisée.

A. Les températures

La station de Civray présente des températures minimales moyennes comprises entre 3,9°C en janvier et 16°C en août, et maximales entre 8,1°C en janvier et 28,2°C en septembre. Cela correspond à une moyenne annuelle aux alentours de 14,2°C en 2023.

En France métropolitaine, une température moyenne de 14,4°C a été enregistrée. (Ce qui est 1,4°C au-dessus des normales 1991-2020). La station de Civray se place juste en dessous de la moyenne annuelle nationale.

Une variation annuelle est présente en France métropolitaine, par exemple en 2020 : la moyenne sur la station a été de 12,5°C contre 12,9°C en France métropolitaine.

B. Les précipitations

La station de Civray présente un cumul des précipitations de l'ordre de 1 090 millimètres annuels en 2023. Cela s'inscrit dans la fourchette basse de la France métropolitaine qui varie entre 500 et 2000 millimètres par an.

La répartition des précipitations au cours de l'année est essentiellement concentrée sur les mois d'automne et d'hiver. Plus de 50% de la précipitation annuelle se concentrent sur 4 mois, de septembre à décembre.

La quantité de précipitations annuelle varie suivant les années. En 2023, 1 090,7 mm sont tombés contre 604,7 mm en 2022 (d'après les données de référence de la station de Civray).

C. L'ensoleillement

La station de Montmorillon présente un ensoleillement annuel de l'ordre de 1 728 heures annuelles en 2023. Cela s'inscrit dans la fourchette basse de la France métropolitaine qui varie de 1 450 à 2 900 heures par an.

Les périodes les plus ensoleillées sont concentrées sur les mois de mai à septembre, avec en moyenne plus de 200 heures d'ensoleillement mensuel. À l'inverse, la période hivernale et sur-



tout les mois de novembre à janvier disposent d'un ensoleillement mensuel moyen atteignant 44 heures.

L'ensoleillement connaît une variation suivant les années. En 2023, 1 728 heures sont comptabilisées contre 2 100 heures en 2022 (d'après les données de référence de la station de Montmorillon).

Mois	Température mini moyenne (°C)	Température maxi moyenne (°C)	Cumul des hauteur des précipitations (mm)	Durée d'ensoleillement (h)
Janvier	3,9	8,1	106,6	52,1
Février	1,8	11,1	36,6	131,8
Mars	5,9	14,3	135,5	121,7
Avril	6,6	16,5	59,2	170,3
Mai	10,2	21,4	46,7	222,5
Juin	15,6	28,1	86,3	222,9
Juillet	14,9	26,7	42,4	145,3
Août	16,0	27,9	24,4	194,8
Septembre	15,8	28,2	76,5	219,6
Octobre	10,9	21,5	205,7	167,1
Novembre	7,1	12,9	159,7	29,4
Décembre	5,4	10,3	111,1	50,6

FIGURE 8 : Données climatiques de 2023 des stations de Civray et Montmorillon

Source : Météo France et Infoclimat.fr

D. Le gel

Depuis 2021, la station de Civray enregistre en moyenne 32 jours de gel, ce qui est supérieur à la moyenne nationale, mais aucun jour où la température a été inférieure à -5°C. En France métropolitaine, les épisodes de gel sont en moyenne de 26 jours sur la période 1991-2020. Elle a connu une diminution d'environ 28% par rapport à la période de 1961-1990 qui comptabilisait une moyenne de 36 jours. Une des conséquences directes des changements climatiques.

La saison hivernale est fraîche, mais n'atteint pas d'extrême.

Année	Gelée ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$)	Forte gelée ($T \leq -5^{\circ}\text{C}$)	Grand froid ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$)
2021	35	0	0
2022	33	0	0
2023	30	0	0

FIGURE 9 : Le nombre moyen de jours de gelée par an

Source : Météo France et Infoclimat.fr



E. Gisement de vent

La vitesse de vent moyenne sur le site a été prise en considération et estimée à 100 mètres par nos services. Nous avons ainsi pu déterminer une vitesse de vent moyenne à 6,35 m/s à 100 m de haut, avec des vents dominants provenant principalement du Sud-Ouest et de manière secondaire provenant du Nord-Est.

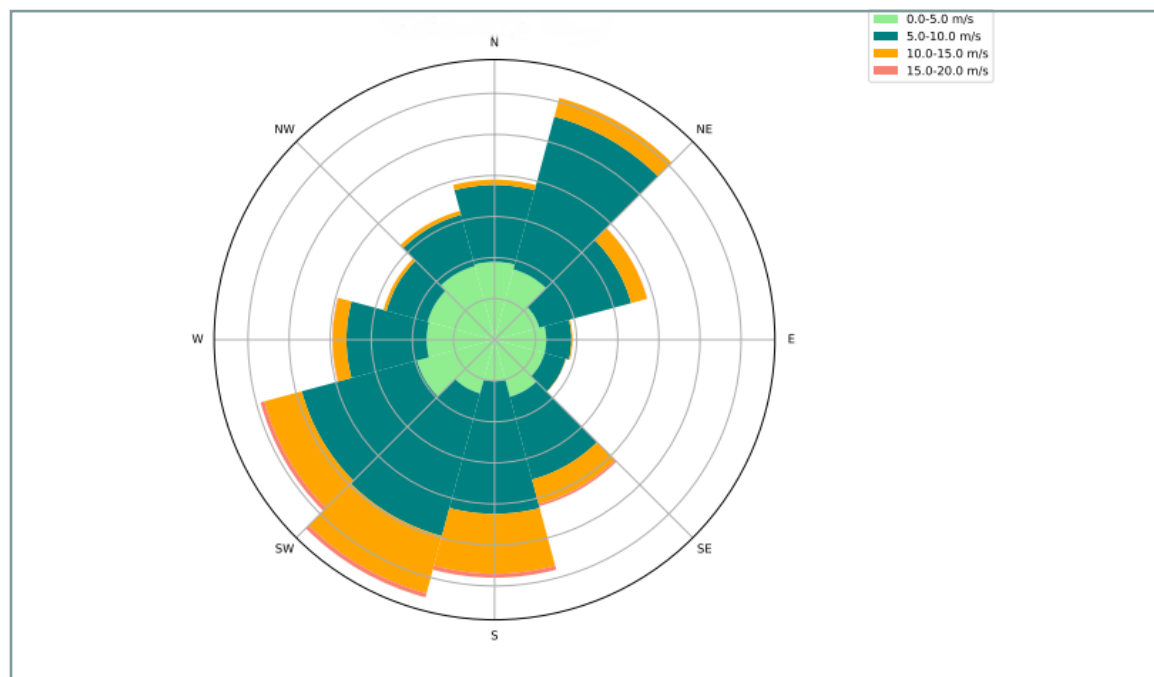


FIGURE 10: Rose des vents caractérisant la provenance des vents à 100 mètres de haut

Le gisement éolien sur la zone du projet à une hauteur de 100 m est approximativement de 6,35m/s, ce qui constitue un potentiel éolien suffisant pour l'exploitation d'un parc éolien.

2.2.2. Risques naturels

A. Arrêtés de catastrophes naturelles

Cette partie de l'étude de dangers a pour but de lister les différents risques naturels identifiés dans la zone d'étude qui sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels pour les éoliennes. Des données plus précises sont mises à disposition dans l'étude d'impact sur l'environnement.

Le tableau suivant recense les arrêtés de catastrophes naturelles sur la commune de l'aire d'étude de danger, à savoir Payroux. Ils concernent principalement des catastrophes de type inondation et coulées de boue, sécheresse, mouvement de terrain et grêle.

Code NOR	Libellé	Date sur le Journal officiel
IOME2418595A	Inondations et / ou coulées de boue	07/07/2024
IOME2308745A	Sécheresse	02/05/2023
IOME2218165A	Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	25/07/2022
INTE1824834A	Sécheresse	20/10/2018
IOCE1005933A	Inondations et / ou coulées de boue	02/03/2010
IOCE0804637A	Sécheresse	22/02/2008
INTE0500305A	Sécheresse	31/05/2005
INTE9900627A	Inondations et / ou coulées de boue	30/12/1999
INTE9500070A	Inondations et / ou coulées de boue	08/02/1995
INTE9400065A	Inondations et / ou coulées de boue	18/02/1994
INTE9800200A	Sécheresse	11/06/1998
INTE9400220A	Sécheresse	10/06/1994
INTE9100268A	Sécheresse	19/07/1991
NOR19830910	Grêle	11/09/1983
NOR19830111	Inondations et / ou coulées de boue	13/01/1983

FIGURE 11: Les arrêtés de catastrophes naturelles à Payroux

Source : Géorisques



B. Sismicité

Le nouveau zonage sismique de la France, en vigueur depuis le 1er mai 2011, est défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Il découpe la France en 5 zones de sismicité croissante :

- Zone 1 : sismicité très faible ;
- Zone 2 : sismicité faible ;
- Zone 3 : sismicité modérée ;
- Zone 4 : sismicité moyenne ;
- Zone 5 : sismicité forte.

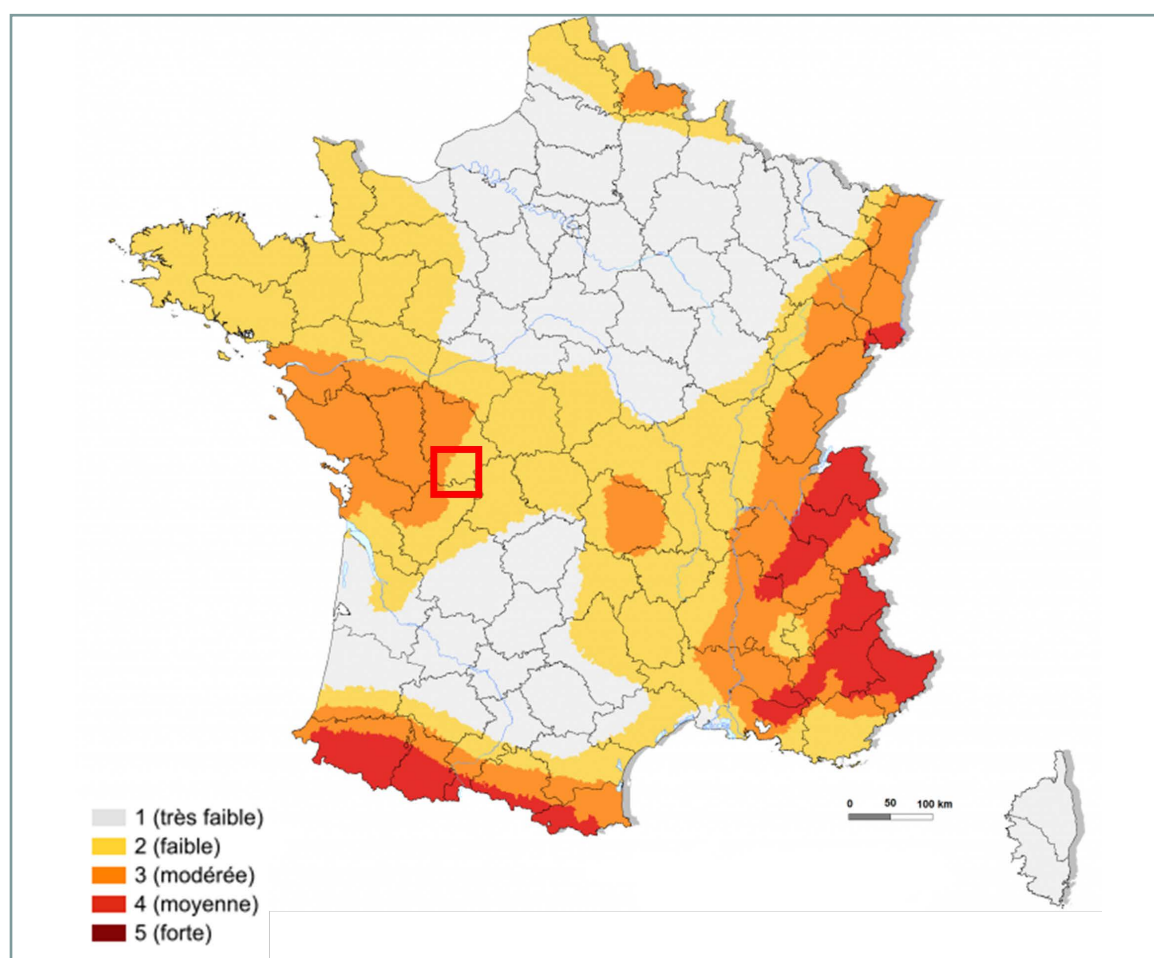


FIGURE 12: Zonage sismique de la France métropolitaine

Source : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

D'après la base de données SIS France, 14 séismes ont été ressentis dans la Vienne depuis les années 1900. Le dernier en date a eu lieu en 1988, l'épicentre était situé au Nord de Poitiers, qui se trouve dans une zone à risque modéré.

La zone d'étude est située en zone 2, correspondant à un risque sismique faible.

C. Mouvements de terrains

En France, les mouvements de terrain représentent un risque naturel significatif, touchant environ 30 % des communes. Ils incluent divers phénomènes comme les glissements, les effondrements, les éboulements ou les affaissements, qui dépendent des caractéristiques géologiques et des conditions météorologiques locales. Ces événements peuvent être aggravés par des activités humaines telles que l'urbanisation et l'exploitation des sols. Les régions montagneuses, ainsi que certaines zones karstiques et littorales, sont particulièrement exposées. Ces mouvements provoquent des dégâts souvent irréversibles aux infrastructures et à l'environnement, nécessitant des actions de prévention et de surveillance renforcées.

En 2009, un rapport du BRGM recense 383 mouvements de terrains dans la Vienne. Selon Géo-risque, la commune de Payroux est sujette au mouvement de terrains et, en 2022, un événement a eu lieu. Sur la zone de l'étude de danger, une attention sera portée au risque de gonflement d'argile dans le but d'anticiper ce risque.

D. Cavités souterraines

Qu'elles soient d'origine naturelle (creusées par l'eau en milieu soluble), ou anthropique (marnières, tunnels, ect.), les cavités souterraines peuvent compromettre la stabilité des sols. L'une des spécificités majeures de cette problématique est liée au mouvement de terrain, celle-ci relève de la dimension cachée de l'aléa souterrain. Souvent invisibles pour les populations et oubliées, ces cavités, en particulier lorsqu'elles sont anciennes, passent fréquemment inaperçues.

Dans le périmètre de l'aire d'étude rapprochée, nous recensons 5 cavités souterraines : 3 sur la commune de Payroux, 1 sur la commune de Saint-Martin-l'Ars et 1 sur Usson-du-Poitou. La plus proche est celle de Saint-Martin-l'Ars, située à plus de 2,1 km des éoliennes.

Aucune cavité souterraine n'est présente dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes.

E. Aléa retrait et gonflement des argiles

Les terrains argileux superficiels peuvent voir leur volume varier à la suite d'une modification de leur teneur en eau, en lien avec les conditions météorologiques. Ils se rétractent lors des périodes de sécheresse (phénomène de retrait) et gonflent au retour des pluies lorsqu'ils sont de nouveau hydratés (phénomène de gonflement). Ces variations sont lentes, mais elles peuvent atteindre une amplitude assez importante pour endommager les bâtiments localisés sur ces terrains. Le phénomène de retrait-gonflement des argiles engendre chaque année des dégâts considérables, indemnisables au titre des catastrophes naturelles. La grande majorité des sinistres concerne les maisons individuelles.

Suite à un partenariat entre le Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires et le Bureau de Recherches Géologique et Minières (BRGM) ce risque a été catégorisé en 4 niveaux différents :

- Aléa nul : correspond aux zones où les données n'indiquent pas de présence d'argiles ;
- Aléa faible : correspond aux zones où la probabilité de l'aléa est possible en cas de sécheresse importante, mais une faible proportion des bâtiments seraient touchés ;
- Aléa moyen : correspond aux zones intermédiaires de potentialité de l'aléa ;



- Aléa fort : correspond aux zones où la probabilité est la plus élevée et où l'intensité des phénomènes est la plus forte.

Les éoliennes du projet sont localisées au niveau où l'aléa de retrait-gonflement des argiles est qualifié comme un aléa fort.

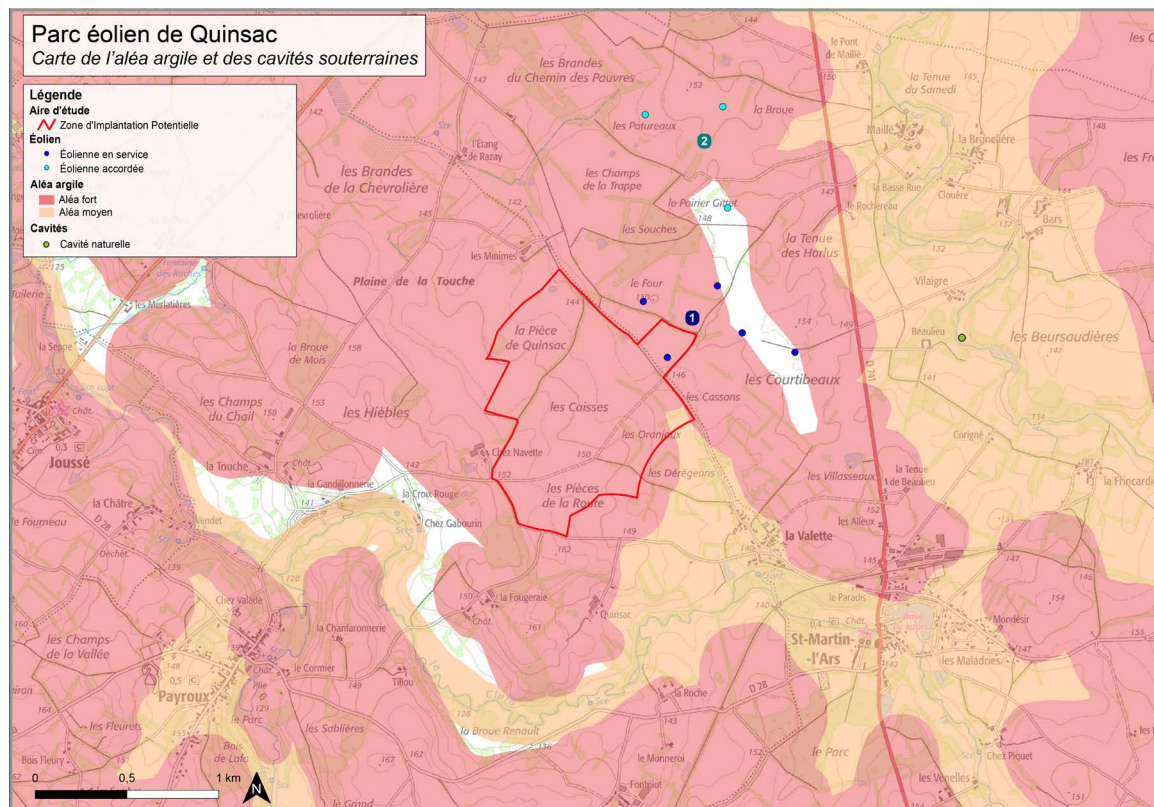


FIGURE 13: Localisation du projet par rapport à l'aléa retrait et gonflement d'argiles
Source : BRGM

F. Inondations

Le risque d'inondation en France est l'un des aléas naturels les plus fréquents. Environ 17 millions de personnes vivent dans des zones potentiellement inondables, représentant 25 % des communes françaises. Ce risque est amplifié par des facteurs tels que l'urbanisation, le changement climatique, et la vulnérabilité des infrastructures. Les inondations peuvent résulter de débordements de cours d'eau, de submersions marines ou de ruissellements urbains, avec des impacts significatifs sur la sécurité des populations, l'économie et l'environnement.

Le projet éolien de Quinsac se situe à une hauteur d'environ 150 m NGF et à plus de 7 m au-dessus du niveau des deux rivières les plus proches : Le Clain que l'on retrouve du Sud jusqu'à l'Ouest du projet et la rivière de La Clouère présente à l'Est. Le Clain se situe à 1 km de l'éolienne la plus proche et La Clouère à plus de 1,9 km.

Selon Géorisque [4], le projet éolien de Quinsac se situe en dehors des zones de débordement de nappe, d'inondations de cave et des enveloppes approchées des inondations potentielles des cours d'eau (EAIP). Aucun cours d'eau n'est présent dans le périmètre de 500 mètres autour des éoliennes. De plus, la commune de Payroux ne fait pas partie d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondations (PPRI).

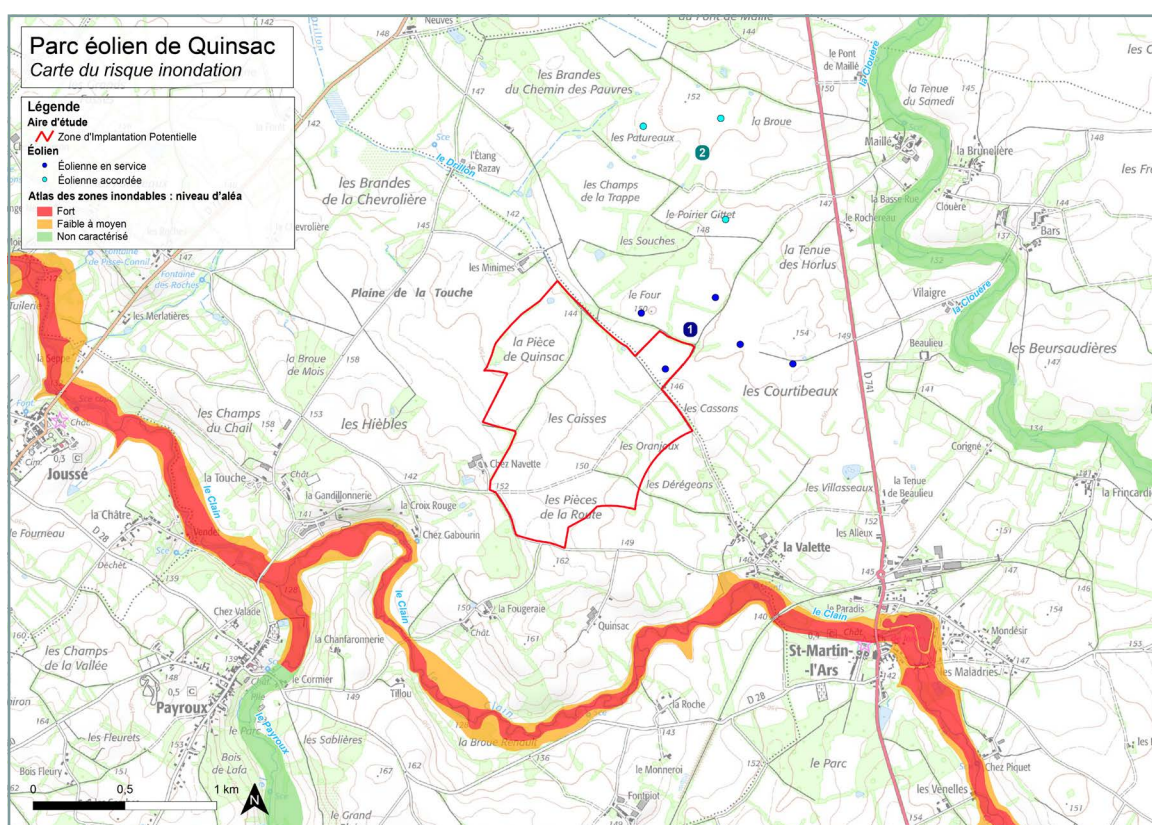


FIGURE 14: Carte des zones inondables hors périmètre réglementaire PPRI
Source : DDT

G. Feux de forêts

Un incendie de forêt ou de végétation peut être défini comme une combustion, qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace, dans un milieu végétalisé. Les feux de forêt sont à la fois une cause et une conséquence du réchauffement climatique. Leur fréquence, notamment dans le contexte d'épisodes de sécheresse, peut compromettre le devenir de l'écosystème forestier. On parle d'incendie de forêt lorsque le feu couvre une surface minimale de 0,5 hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés est détruite. Le terme incendie vaut aussi pour les formations subforestières de plus petites tailles que sont le maquis, la garrigue et les landes.

D'après le rapport interministériel de 2010, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et l'Observatoire des forêts françaises, le projet éolien de Quinsac était et sera en dehors des sensibilités moyennes et fortes aux feux de végétation.

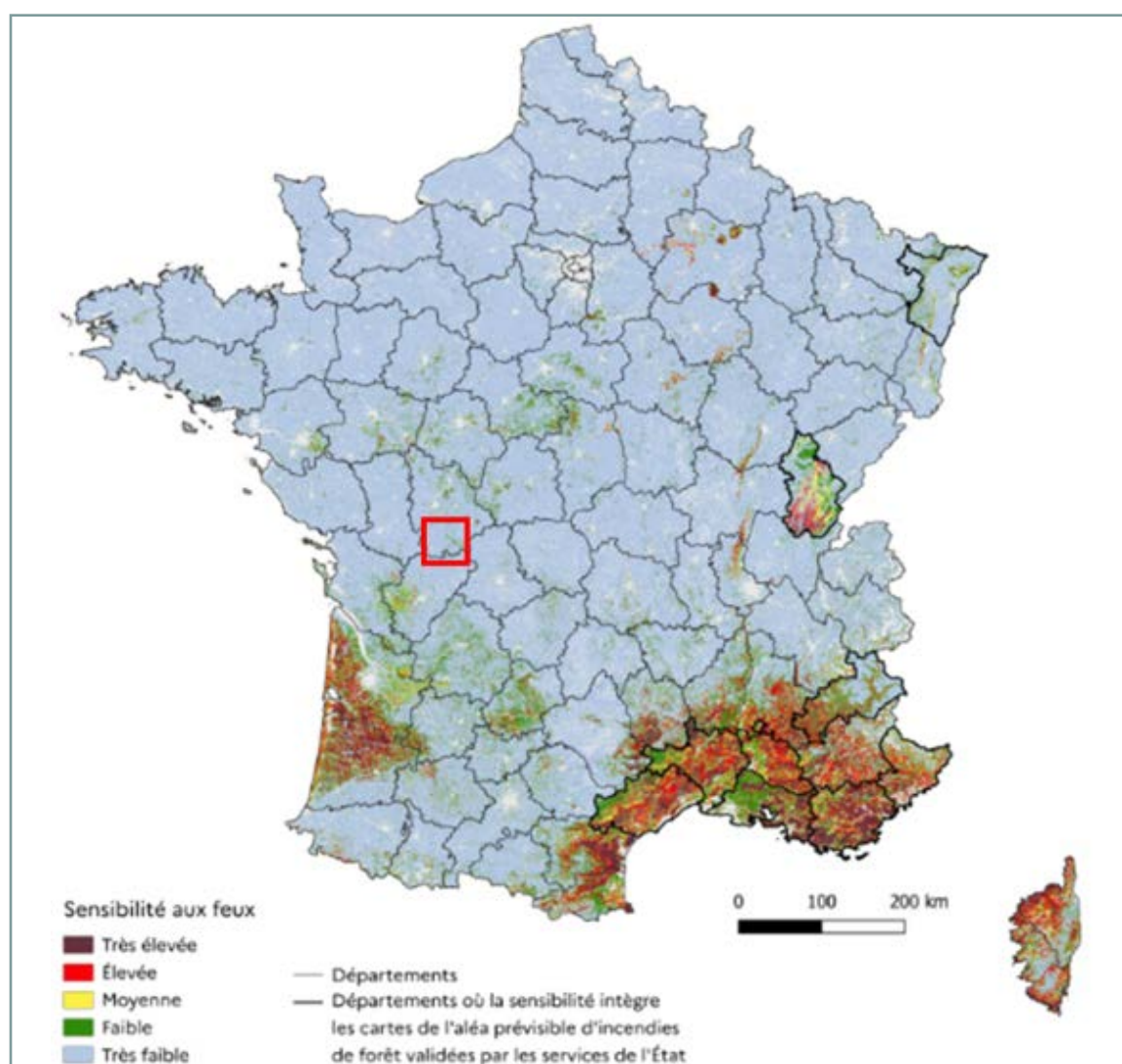


FIGURE 15: Sensibilité aux incendies de forêt et de végétation

Source : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

H. Tempêtes

Plusieurs tempêtes touchent chaque année l'Hexagone, présentant chacune des caractéristiques différentes liées à la dépression associée. Caractérisées par un vent violent, généralement accompagné de fortes précipitations, les tempêtes peuvent occasionner d'importants dégâts humains et matériels.

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau). De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h (soit 48 nœuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort). Les tornades sont considérées comme un type particulier de manifestation des tempêtes, singularisé notamment par une durée de vie limitée et par une aire géographique touchée minime par rapport aux tempêtes classiques. Ces phénomènes localisés peuvent toutefois avoir des effets dévastateurs, compte tenu en particulier de la force des vents induits (vitesse maximale de l'ordre de 450 km/h).

Tout le territoire français pouvant être touché par une tempête, la probabilité de tempête n'est jamais nulle.

Ce phénomène étant complètement imprévisible à long terme, il est pris en compte par les fabricants dès la conception des éoliennes. Les machines sont en effet conçues pour résister à ce type d'événements. Un arrêt automatique de la machine est prévu à partir d'une vitesse de vent donnée et s'effectue avec la mise en drapeau des pales et le verrouillage du rotor au moyen de freins hydrauliques.

Les relevés météorologiques effectués à la station de Civray ont enregistré une rafale maximale à 34 m/s soit 122,4 km/h, en février 2009.

Au regard des données disponibles, la commune de Payroux n'apparaît pas comme une zone propice au risque de tempête.

I. Foudre

Le niveau kéraunique (Nk), nombre de jours d'orage où le tonnerre est entendu dans une zone donnée, est également utilisé. Dans la Vienne, on dénombre moins de 25 jours d'orage chaque année, le département est donc dans une zone faiblement orageuse à l'échelle nationale.

Afin de mesurer l'impact de la foudre, l'indice utilisé au niveau français est celui de la densité de foudroiement (Nsg). Ce chiffre présente un nombre d'éclairs entre le ciel et la terre par kilomètre carré et par an. Le département de la Vienne a une densité de foudroiement dite moyenne comprise entre 0,5 et 1 nsg/km²/an, ce qui place le département sous la moyenne nationale qui est de 1,1.

La commune de Payroux a un indice de foudroiement assimilé à la catégorie moyenne selon Météorage.



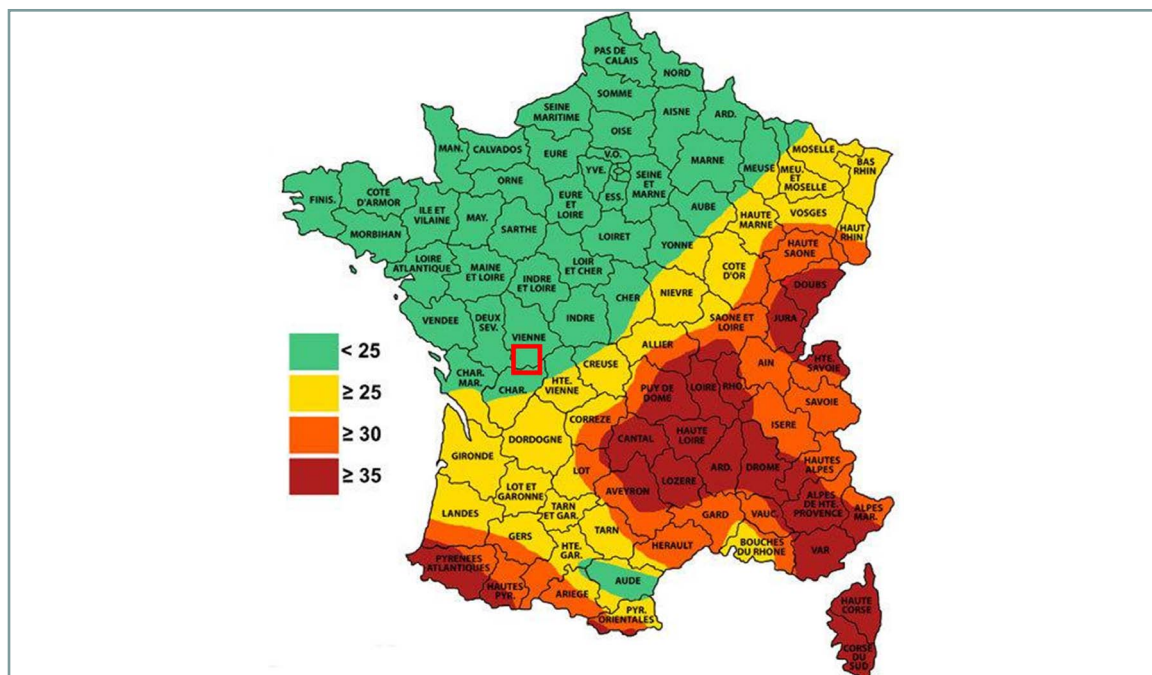


FIGURE 16: Niveau kéraunique

Source : Citel

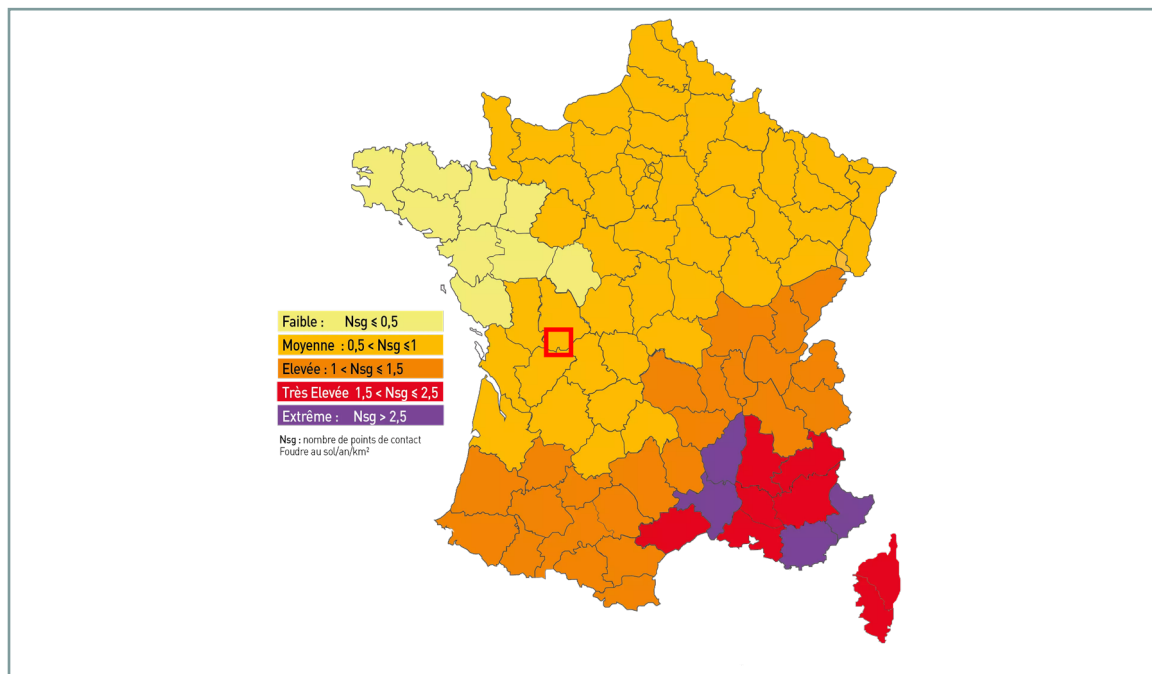


FIGURE 17: Densité de foudroiement en France métropolitaine

Source : Météorage

2.3. Environnement matériel

2.3.1. Voies de communication

Les seules voies de communication présentes dans le périmètre de l'étude de dangers (500 m autour de chaque éolienne) sont des infrastructures routières. Aucune voie navigable ou ferroviaire n'étant présente.

A. Infrastructures routières

Description des axes

L'ensemble des voies présentes dans ce périmètre sont des routes communales.

Le périmètre de l'étude de danger (périmètre Eol 1) coupe les routes communales dans son extrémité sud. Les routes en question sont :

- La Valette, elle relie la commune de Payroux au lieu-dit La Valette, en direction de Saint-Martin-l'Ars. Au plus près, la distance entre l'éolienne et l'axe est de 344 m ;
- La Fougeraie, axe de liaison permettant de rejoindre le lieu-dit du même nom, elle est connectée à la route La Valette. Cet axe est essentiellement utilisé par l'exploitation agricole et débouche sur le « château de la Fougeraie » (propriété privée, qui ne se visite pas). Passé celui-là, la route se transforme en un chemin peu praticable pour les véhicules standard. Au plus près, la distance entre l'éolienne et l'axe est de 422 m ;
- Quinsac, axe qui permet de rejoindre le lieu-dit Quinsac, cet axe est une impasse qui connecte une exploitation agricole avec l'axe routier La Valette, Au plus près, la distance entre l'éolienne et l'axe est de 378 m.

En tout état de cause, la proximité des éoliennes avec une voie de circulation ne suffit pas, à elle seule, à caractériser un risque d'atteinte à la sécurité publique sur le fondement de l'article R. 111-2 du Code de l'urbanisme, dès lors que le passage sur une voie de circulation n'implique pas d'exposition permanente à un tel risque.

Une route communale de transit, deux routes communales spécifiques et des chemins ruraux sont présents au sein du périmètre de l'étude de dangers.

Description du trafic

En raison de leur taille moins importante, les voies communales et les chemins ruraux n'ont pas fait l'objet de comptages routiers. Le trafic est estimé comme largement inférieur aux routes départementales environnantes, soit bien en deçà de 500 véhicules/jour. La D28 est l'axe préférentiel de communication entre Payroux et Saint-Martin-l'Ars, elle enregistre en moyenne 220 véhicules par jour selon le recensement de la circulation sur les routes de la Vienne en 2022.

Nos axes étant secondaires, le nombre de véhicules serait inférieur, les infrastructures dans notre périmètre sont donc non structurantes.



B. Réseau ferré

Aucun axe ferroviaire ne se trouve à l'intérieur de notre zone de danger, l'axe le plus proche est à plus de 15 km à l'Ouest de la zone d'implantation potentielle.

C. Chemins de randonnées

Aucun chemin de petite ou grande randonnée n'est recensé dans le périmètre de l'étude de dangers. Cependant, un itinéraire est inscrit au Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée.

2.3.2. Réseaux publics et privés

A. Risques de Transport de Matières Dangereuses (TMD) et canalisation de gaz

Le risque de transport de matières dangereuses, ou risque de TMD, est consécutif à un accident se produisant lors du transport de marchandises par voies routière, ferroviaire, voie d'eau ou de canalisations. Au vu des axes traversant notre périmètre, le risque peut être qualifié de faible.

Les plus proches canalisations de gaz se situent à environ 25 km à Moulisme et à Chardat.

Aucune canalisation de gaz ne traverse le périmètre de l'étude de dangers. Le périmètre n'est pas concerné par un risque lié au transport de matières dangereuses.

B. Infrastructures électriques

Les services cartographiques d'ENEDIS ont été consultés et indiquent l'absence de réseaux électriques HTA (Haute Tension) et BT (Basse Tension) aériens et souterrains sur et aux abords de la zone d'implantation potentielle. Les lignes les plus proches sont :

- Une ligne HT aérienne dans la ville Le Vigean 10 km à l'Est de la ZIP ;
- Une ligne HT souterraine dans la ville Le Vigean 10 km à l'Est de la ZIP.

La plus proche ligne électrique RTE (liaison 90 kV numéro 0 Isle-Jourdain) se trouve à plus de 6 km au Nord-Est de la ZIP.

Aucune ligne électrique de distribution d'ENEDIS ne traverse le périmètre de l'étude de dangers.

C. Captage d'alimentation en eau potable

Le captage d'eau potable le plus proche se trouve à 6 650 m de l'éolienne 2.

Aucun captage ni périmètre de protection de captage n'est présent dans la zone étudiée.

D. Faisceaux hertziens

Liaisons hertziennes soumises à servitude d'utilité publique

L'Agence Nationale des Fréquences Radioélectriques (ANFR) répertorie le faisceau hertzien PT-2LH N°2976425. C'est un faisceau de réseau téléphonique d'utilité publique pour les communes avoisinantes. Nous avons à l'encontre une servitude de protection contre les obstacles pour une liaison hertzienne.

L'implantation du projet éolien de Quinsac n'impactera pas le bon fonctionnement du réseau hertzien.



2.3.3. Patrimoine historique et culturel

A. Monuments historiques

Les monuments les plus proches sont l'église inscrite de Payroux à environ 2 km de l'Eol 2 et le Château de Joussé à environ 2,7 km de l'Eol 1.

Aucun monument et aucun périmètre de protection réglementaire d'un monument historique ne recoupe le périmètre de l'étude danger.

B. Archéologie

Conformément aux dispositions du Code du Patrimoine, notamment selon le livre V, le service Régional de l'Archéologie pourra être amené à prescrire, lors de l'instruction du dossier, une opération de diagnostic archéologique visant à détecter tous les éléments du patrimoine archéologique qui se trouveraient dans l'emprise des travaux projetés.

Le projet éolien de Quinsac respectera les dispositions du Code du Patrimoine.

2.4. Cartographie de synthèse

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, les cartographies suivantes permettent d'identifier dans la zone d'étude globale (500 m) puis dans les autres zones d'études les enjeux humains exposés ainsi que la localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

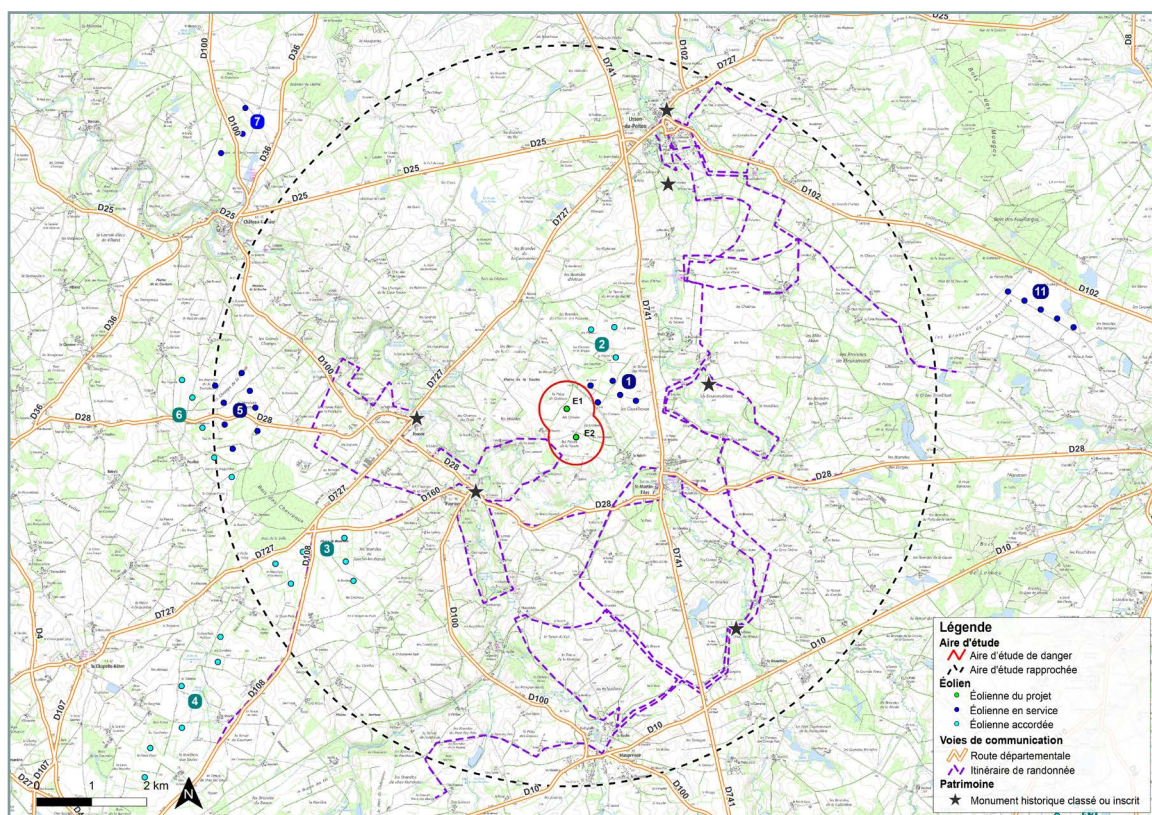


FIGURE 18: Carte de synthèse



Troisième partie

Description de l'installation

3. Description de l'installation

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement, afin de permettre d'identifier les principaux potentiels de danger qu'elle représente, au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

3.1. Caractéristiques de l'installation

3.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes :

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

A. Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- Le rotor

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en matière composite (résine époxy) renforcée de fibres de verre. La forme des pales est déterminante pour le rendement de l'éolienne et son comportement sonore.

À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface (« GelCoat »). Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste, très résistant à l'abrasion, aux rayons du soleil.



Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à l'angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour de courtes durées.

L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor de manière aérodynamique, sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les fortes contraintes occasionnées par l'action d'un frein mécanique.

- Le mât

Cas d'une éolienne avec un mât acier

Le mât est généralement composé de 3 à 7 tronçons. Les tours en acier offrent un certain nombre d'avantages en termes de construction et de démantèlement. Depuis de nombreuses années, elles sont la technologie préférée de nombreux marchés en raison de leur courte durée d'assemblage. Ce matériau durable et résistant a fait ses preuves sur au cours de nombreuses générations de turbines. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de la tension du réseau électrique.

Cas d'une éolienne avec un mât hybride

Les mâts hybrides sont constitués jusqu'à une trentaine de segments en béton et surmontés de 1 à 4 segments en acier, pour faire la jonction avec la nacelle.

Pour des hauteurs de mât dépassant 85 m, ENERCON a fait le choix du mât béton qui offre une plus grande raideur et une meilleure résistance aux contraintes physiques de l'acier. NORDEX a fait le choix de l'hybridité pour des systèmes dont le moyeu atteint une hauteur comprise entre 134 et 164 mètres. Sur certains marchés, la conception hybride offre des avantages en termes de logistique et de rentabilité, notamment pour les tours très hautes. Les sections pouvant être divisées en deux ou trois parties (demi/tiers-sections), le transport est facilité. Chaque section a une hauteur d'environ 3,8 m. Entre deux sections, un mortier spécial est appliqué pour assurer la coplanarité.



FIGURE 19: Levage de la première section



FIGURE 20: Levage de la nacelle

- La nacelle

Elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :

- Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique. La partie rotative du générateur annulaire et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesse et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits. En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section traversable du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement des matériaux ;

- Le système de freinage mécanique ;
- Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent ;
- Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
- Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

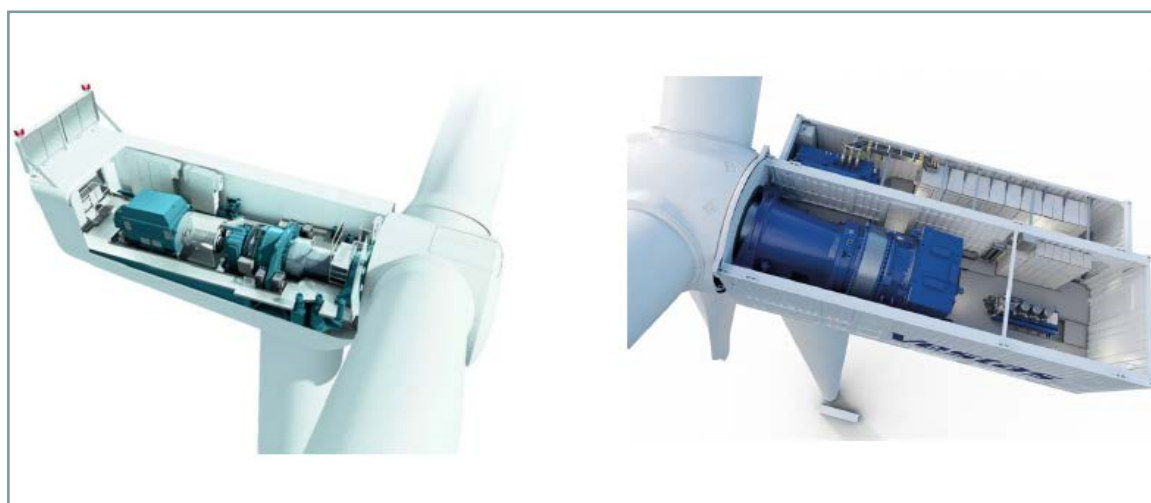


FIGURE 21: Comparaison des génératrices d'une éolienne NORDEX à gauche et d'une VESTAS à droite

- Unité d'alimentation au réseau

Certaines éoliennes disposent d'une technologie d'intégration au réseau. Elles répondent de manière exemplaire aux critères internationaux relatifs au raccordement en garantissant une injection fiable de la puissance produite, y compris dans des situations de fortes fluctuations de tension ou de fréquence.

Le générateur annulaire, si il y en a, est connecté au système d'injection dans le réseau, qui se compose de redresseurs, d'une liaison en courant continu (DC link) et d'un onduleur. Pour garantir la compatibilité au réseau, la tension, l'intensité et la fréquence sont enregistrées en permanence au point de référence et transmises au système de contrôle de l'éolienne. Le point de référence se trouve côté basse tension en amont du transformateur de puissance.

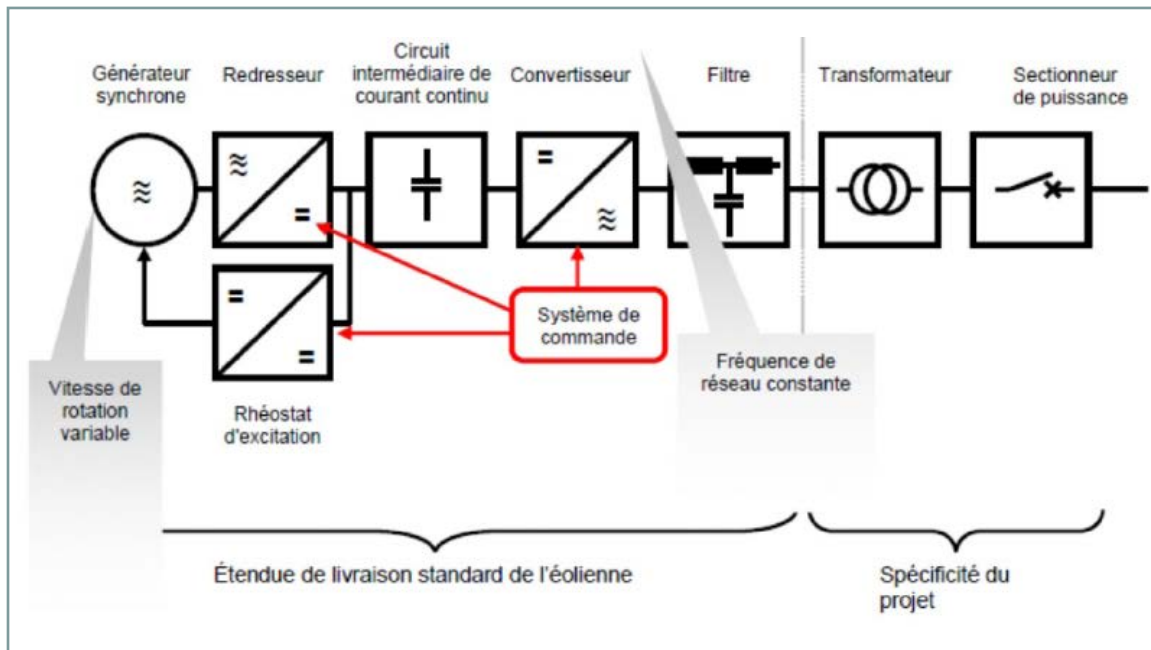


FIGURE 22: Unité d'alimentation au réseau

Cette connexion au réseau au travers de l'électronique de puissance permet d'injecter de façon optimale l'énergie produite sur le réseau. En effet, ce design permet de minimiser les interactions réciproques néfastes que peut avoir la production issue de la génératrice vers le réseau et celle du réseau vers la génératrice. D'un côté, l'effet indésirable des rafales de vent sur le réseau est atténué par une injection contrôlée et propre (sans flickers ni harmoniques) ; de l'autre, les défauts ou court-circuit réseau ne créent que très peu de stress mécanique sur les parties tournantes de la machine.

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée vers un poste de livraison qui est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Le câblage des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain. Les tranchées nécessaires seront de 1 m de profondeur. En parallèle avec la pose des câbles, il sera mis en place un réseau de fibre optique afin de permettre la surveillance et le contrôle du parc éolien.

- Fondation

Il existe plusieurs types de fondations dont les superficies et les profondeurs seront choisies selon les caractéristiques du souterrain. Il est également possible de modifier le sol. Cette opération est parfois nécessaire, lorsque les caractéristiques ne permettent pas de garantir une fondation stable pendant 20 ans. Pour cela, plusieurs techniques sont fréquemment utilisées : la substitution par apport de matériaux, les colonnes ballastées, les inclusions rigides ou encore les colonnes à modules mixtes. Des études géotechniques préalables sont effectuées à l'emplacement de l'éolienne afin de déterminer la fondation adéquate.

- Emprise au sol

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

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

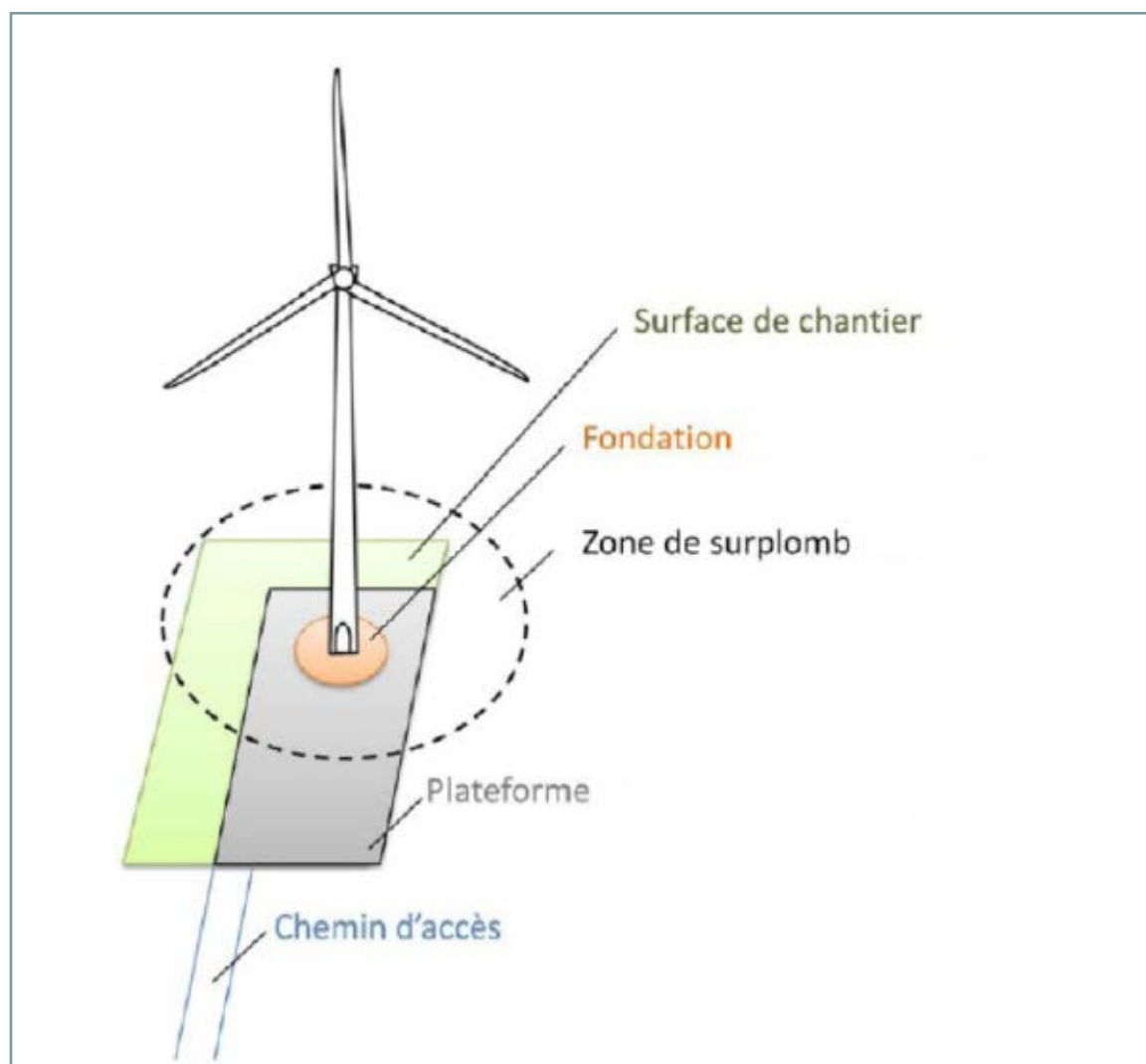


FIGURE 23: Illustration des emprises au sol d'une éolienne

- Chemin d'accès

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

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

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

Durant la phase d'exploitation, les chemins sont utilisés par des véhicules légers (maintenance programmée) ou par des engins permettant d'importantes interventions (par exemple, un changement de pale).

- Croisements et virages

En cas de croisements ou de virages, il convient d'aménager la route en respectant des rayons de courbure et de surface de survol en fonction de la taille des éoliennes. Dans l'exemple ci-dessous, les zones rayées doivent être exemptes d'obstacles, car elles seront franchies par les composants transportés (les pales, par exemple, dépassent de l'arrière du véhicule lors de leur transport).

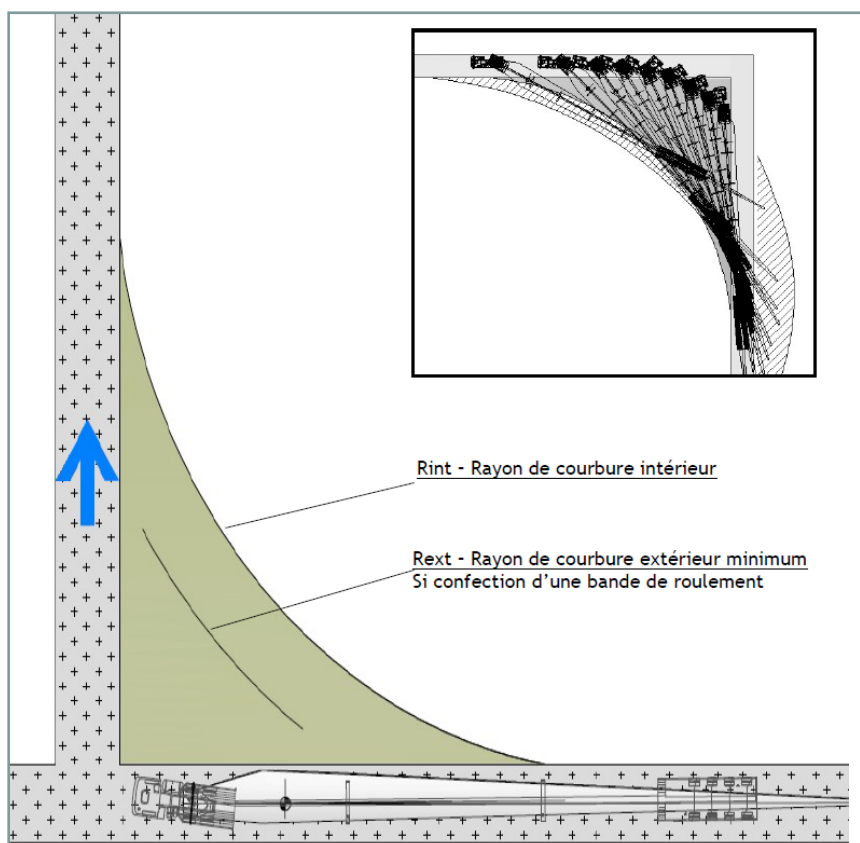


FIGURE 24: Plan de visualisation des virages nécessaires

- Aires de grutage

L'aire de grutage garantit l'effectivité du déroulement de la phase de construction, conformément aux prescriptions de sécurité. De ce fait, l'aire de grutage doit également être construite de manière durable et insensible au gel. La construction de l'aire de grutage est réalisée en concertation avec un expert géotechnique afin de prouver sa capacité portante. Une surface parfaitement plane est établie, avec un revêtement de mélange de minéraux. Le niveau altimétrique de l'aire de grutage doit être supérieur à celui du sol afin de garantir l'évacuation des eaux superficielles. Le niveau de l'aire de grutage peut être inférieur au niveau des fondations jusqu'à 200 mm maximum.

3.1.2. Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur de mât supérieure à 50 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

3.1.3. Composition d'une éolienne

Deux modèles d'éoliennes sont proposés pour les premières étapes du projet. L'éolienne Vestas V-150 de 230 m de hauteur totale sera le modèle choisi pour cette étude de danger, car elle présente le scénario maximisant du projet.

	VESTAS V-150 - 6,0 MW - 230 m
Puissance	6,0 MW
Vitesse maximale avant coupure	25 m/s
Hauteur de moyeu	155 m
Longueur de pale	73,7 m
Diamètre du rotor	150 m
Hauteur totale en bout de pale	230 m
Largeur à la base du mât	6,3 m
Largeur maximale d'une pale	2,595 m

FIGURE 25: Modèle d'aérogénérateur Vestas V-150, 6,0 MW



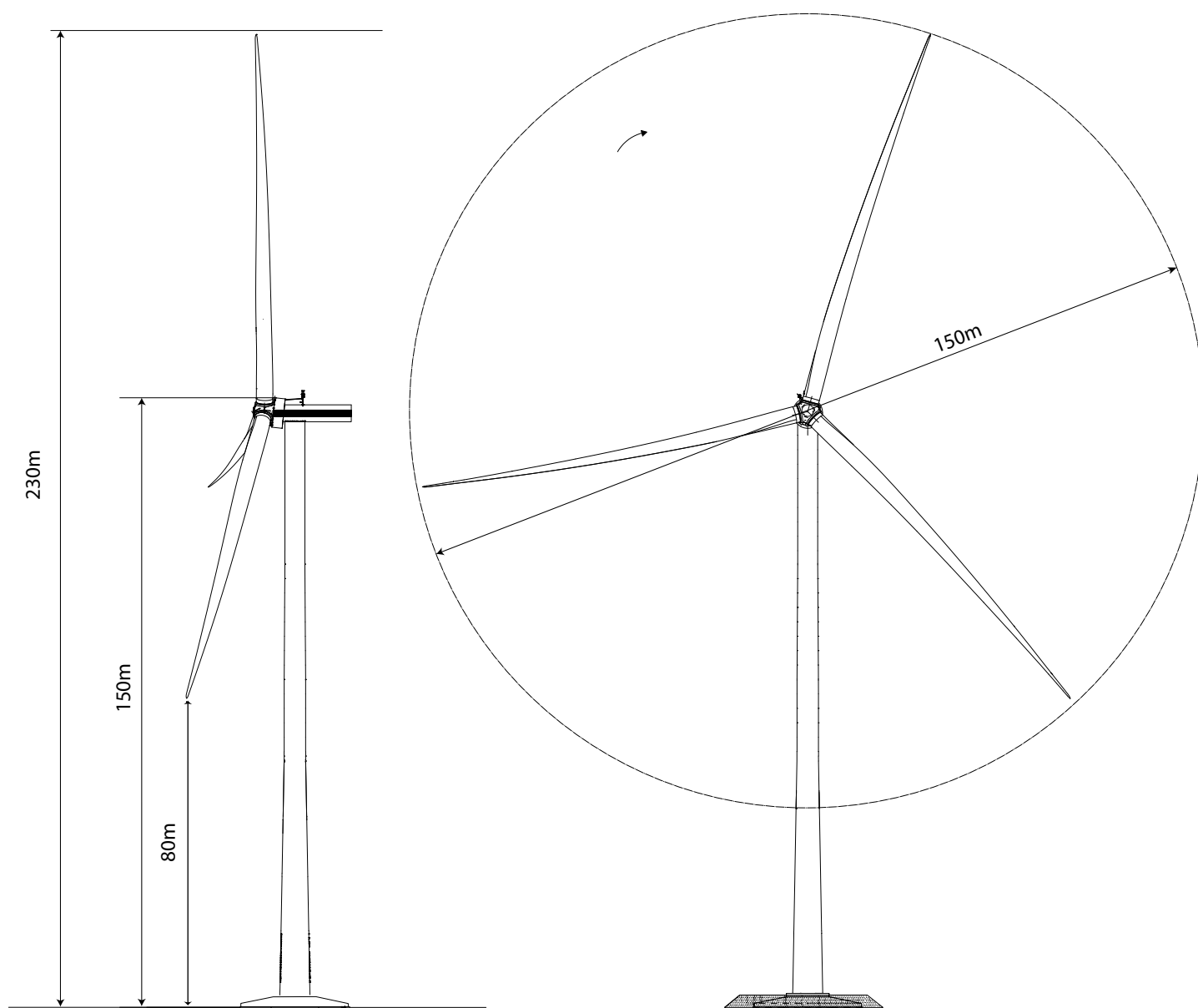


FIGURE 26: Plan et dimension de l'éolienne V-150 - 6,0 MW - 230 m

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	Composée de béton armé. Fondations d'environ 3 m d'épaisseur pour un diamètre d'environ 24 m. Système constitué de tiges d'ancrage.
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	Composé de sections en acier. Tension des câbles présents dans la tour : 750 V
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, multiplicateur, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle de sécurité	Structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur. Située au sommet du mât, elle abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques nécessaires au fonctionnement de l'éolienne. Tension des équipements de la nacelle 750 V Génératrice : Engrenage planétaire à plusieurs étages, plus un étage à engrenage droit
Rotor / Pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Les rotors sont composés de trois pales fixées au moyeu et orientables face ou contre le vent. En fonction de la vitesse du vent, les trois pales sont pilotées jusqu'à 90° pour optimiser le fonctionnement de l'éolienne.
Transformateur	Élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	L'électricité produite par la génératrice est élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé en pied de mât.
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Composé d'une enveloppe béton, un local d'équipement de protection 20 000 V, un local basse tension (supervision, téléphonie). Tension des équipements : 20 000 V et 230 V auxiliaire.
Plateforme	Permet le positionnement des grues nécessaires au levage et à la maintenance	Longueur : environ 40 m Largeur : environ 35 m Empierrement stabilisé pour supporter le poids des grues.
Câbles souterrains	Acheminer l'électricité depuis les éoliennes jusqu'au réseau de distribution via le poste de livraison	Câbles enterrés entre 80 et 120 cm de profondeur. Présence d'un grillage avertisseur. Réseau borné et repéré. Tension des câbles 20 000 V

FIGURE 27: Caractéristiques techniques des éoliennes



3.2. Fonctionnement de l'éolienne

3.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne. Grâce aux informations transmises par la girouette qui détermine la direction du vent.

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une certaine vitesse de vent et que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. L'éolienne fournit sa puissance maximale quand une certaine vitesse de vent est atteinte. Cette puissance est dite « nominale ».

Certaines éoliennes disposent d'un système de contrôle spécial « Mode tempête » leur permettant de fonctionner par vents violents. Sans ce mode tempête, les éoliennes s'arrêteraient quand la vitesse du vent atteint environ 25 m/s. Avec l'activation de ce mode, elles peuvent continuer à produire en mode bridé jusqu'à environ 40 m/s (en moyenne sur 12 s) selon le type de machine. Cela signifie que le système de contrôle de l'éolienne va réduire la puissance de l'éolienne progressivement jusqu'à atteindre une puissance nulle lorsque la vitesse de rotation à vide est atteinte.

Ce système offre deux avantages : un gain de productibles et une influence positive sur la stabilité du réseau électrique grâce à la réduction graduelle de la puissance injectée, évitant ainsi les passages brusques de pleine puissance à puissance nulle.

3.2.2. Sécurité de l'installation

A. Règles de conception et système qualité

La société VESTAS, fournissant les machines et assurant la maintenance, est certifiée ISO 9001. Le système de management de la qualité et tous les processus de production sont conformes à la norme ISO 9001.

Les aérogénérateurs font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) et Normes Françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

- La norme IEC61400-1 / NF EN 61400-1 Juin 2006 intitulée [5] « Exigence de conception » qui spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les risques pendant la durée de vie prévue. Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien ;
- La norme IEC61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « Essais de conformité et certification », qui définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification des projets éoliens installés sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de



mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques ;

- La norme CEI/TS 61400-23:2001 Avril 2001 intitulée « Essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue.

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO814000-4 ;
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4 ;
- La directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques ;
- Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO9223.

B. Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel

L'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation ainsi qu'aux principales normes et certifications applicables à l'installation. Cela concerne notamment :

- L'éloignement de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 et de 300 m d'une installation nucléaire ;
- L'implantation de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation utilisées dans le cadre des missions de sécurité de la navigation aérienne et de la sécurité météorologique des personnes et des biens ;
- La présence d'une voie d'accès carrossable entretenue permettant l'intervention des services d'incendie et de secours ;
- Les extincteurs : chaque aérogénérateur est doté de moyens de lutte et de prévention contre les conséquences d'un incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, composés a minima de deux extincteurs placés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci ;
- Intégrité technique : L'aérogénérateur est conçu pour garantir le maintien de son intégrité technique au cours de sa durée de vie. Le respect de la norme NF EN 61400-1 ou IEC 61400-1, dans leur version en vigueur à la date du dépôt de dossier de demande d'autorisation environnementale prévue par l'article L.181-8 du Code de l'environnement, ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union Européenne à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions du présent arrêté, permet de répondre à cette exigence. Un rapport de contrôle d'un organisme compétent atteste de la conformité de chaque aérogénérateur de l'installation avant leur mise en service industrielle. En outre, l'exploitant dispose des justificatifs démontrant que



chaque aérogénérateur de l'installation est conforme aux dispositions de l'article R.111-38 du Code de la construction et de l'habitation.

- L'installation mise à terre pour prévenir les conséquences du risque foudre. Le respect de la norme NF EN IEC 61400-24, dans sa version en vigueur à la date de dépôt du dossier de Demande d'Autorisation Environnementale prévue par l'article L.181-8 du Code de l'Environnement, permet de répondre à cette exigence. Des contrôles périodiques sont effectués pour vérifier la pérennité de la mise à la terre, selon les périodicités suivantes : une fois par an pour le contrôle visuel et une fois tous les deux ans pour le contrôle avec mesure de la continuité électrique ;

- L'installation conçue pour prévenir les risques d'incendie et d'explosion d'origine électrique :

- Les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables ;

- Pour les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur, le respect des normes NF C 15-100, NF C 13-100 et NF C 13-200, dans leur version en vigueur à la date de dépôt du dossier de Demande d'Autorisation Environnementale prévu par l'article L.181-8 du Code de l'Environnement, permet de répondre à cette exigence ;

- Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application des articles L.6351-6 et L.6352-1 du Code des transports, des articles R.243-1 et R.244-1 du Code de l'aviation civile et de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne ;
- Chaque aérogénérateur est identifié par un numéro, affiché en caractères lisibles sur son mât. Les prescriptions à observer par les tiers sont affichées soit en caractères lisibles soit au moyen de pictogrammes sur des panneaux positionnés sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. Elles concernent notamment les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale, l'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur, la mise en garde face aux risques d'électrocution, la mise en garde, le cas échéant, face aux risques de chute de glace ;
- Le maintien fermé à clé des accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison, afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements ;
- La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs ;
- L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables.

Les performances des éoliennes sont garanties dans la mesure où les conditions d'installation sont conformes aux spécifications du constructeur.



C. Méthodes et moyens d'intervention

En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus par le personnel du site ou les riverains directement par le 18. L'appel arrivera au Centre de Traitement des Appels (CTA), qui est capable de mettre en œuvre les moyens nécessaires en relation avec l'importance du sinistre. Cet appel sera ensuite répercuté sur le Centre de Secours disponible et le plus adapté au type de sinistre.

Une voie d'accès donne aux services d'interventions un accès facilité au site du parc éolien.

Les moyens d'intervention une fois l'incident ou l'accident survenu sont des moyens de récupération des fragments : grues, engins, camions.

En cas d'incendie avancé, les sapeurs-pompiers se concentreront sur le barrage de l'accès au foyer d'incendie. Une zone de sécurité avec un rayon de 500 m autour de l'éolienne devra être respectée.

Enfin, des consignes en cas d'urgence sont implantées au niveau du pied de la tour ainsi qu'au niveau des nacelles, afin de donner la procédure à suivre aux personnes présentes dans l'éolienne en cas d'accident. Ci-après, un modèle de ces consignes, qui sera bien entendu adapté à chaque éolienne du parc.

Nous rappelons la présence d'extincteurs ainsi que de trousse de premiers soins, au pied de la tour ainsi que dans la nacelle. Les véhicules des techniciens de maintenance sont également équipés de trousse de premiers soins.

D. Système de fermeture de la porte

Conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011, l'accès à l'intérieur de l'éolienne ne peut se faire que par la porte de service située au pied du mât. Cette porte est dotée d'un verrou à clef. Un dispositif manuel permet d'ouvrir et de fermer le verrou de la porte depuis l'intérieur, même si la clef se trouve à l'extérieur de la porte.

Des procédures claires de fermeture des portes ont été rédigées et communiquées à l'ensemble des intervenants sur le parc et des vérifications sont régulièrement menées. Ces portes sont toujours verrouillées en cas d'absence de personnel dans la machine ou le poste. Le personnel verrouille également la porte dès qu'il effectue des opérations qui font sortir cette dernière de son champ de vision (montée dans l'éolienne, travail dans le poste uniquement, ect.).

L'ouverture de la porte de l'éolienne enclenche l'allumage automatique des éclairages de l'éolienne.

E. Balisage des éoliennes

Le balisage des éoliennes est défini par l'arrêté du 13 novembre 2009 et du 7 décembre 2010. Les éoliennes V-150 sont conformes à cet arrêté.

La couleur des éoliennes est une nuance de couleur blanche. Toutes les éoliennes constituant le parc éolien, d'une hauteur supérieure à 150 m hors tout, sont dotées de deux balisages lumineux d'obstacle : le premier au niveau de la nacelle et le second à une hauteur de 45 m.

Les feux de balisage d'obstacles font l'objet d'un certificat de conformité, délivré par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) et la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), en fonction des spécifications techniques correspondantes.



L'alimentation électrique desservant le balisage lumineux est secourue par l'intermédiaire d'un dispositif automatique et commute dans un temps n'excédant pas 15 secondes. La source d'énergie assurant l'alimentation de secours des installations de balisage lumineux possède une autonomie au moins égale à 12 heures.

Le balisage est surveillé par l'exploitant et celui-ci signale dans les plus brefs délais toute défaillance ou interruption du balisage à l'autorité de l'aviation civile territorialement compétente.

Balisage lumineux de jour

Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux de jour assuré par des feux d'obstacles moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candela cd). Ces feux d'obstacles sont installés sur le sommet de la nacelle et disposés de manière à assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

Balisage lumineux de nuit

Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux de nuit assuré par des feux d'obstacles moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd). Ces feux d'obstacles sont installés sur le sommet de la nacelle et disposés de manière à assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

Le passage de balisage lumineux de jour au balisage de nuit est assuré par un détecteur crépusculaire. Le jour est caractérisé par une luminance de fond supérieure à 500 cd/m², le crépuscule est caractérisé par une luminance de fond comprise entre 50 cd/m² et 500 cd/m², et la nuit est caractérisée par une luminance de fond inférieure à 50 cd/m². Le balisage actif lors du crépuscule est le balisage de jour, le balisage de nuit est activé lorsque la luminance de fond est inférieure à 50 cd/m².

Balisage des éoliennes de grande hauteur

Dans le cas d'une éolienne de hauteur totale supérieure à 150 m, le balisage par feux moyenne intensité décrit ci-dessus est complété par des feux d'obstacles basse intensité de type B (rouges fixes 32 cd) installés sur le mât. Ils doivent assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°). Dans le cas du projet de Quinsac, la hauteur totale des éoliennes étant d'environ 230 m, les feux de basse intensité de type B se situeront à 45 m et à 90 m.

F. Protection incendie

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher en raison d'une éventuelle surchauffe ou de court-circuit sont continuellement surveillés par des capteurs lors du fonctionnement. Si le système de commande détecte un état non autorisé, l'éolienne est stoppée ou continue de fonctionner mais avec une puissance réduite.

Le choix des matériaux est également un aspect clé de la protection incendie. Certains composants sont fabriqués en matériaux ignifugés, difficilement inflammables, ou non inflammables.

La majorité des éoliennes sont équipées de systèmes de détection et d'extincteurs. Leur nombre et emplacement varient selon le modèle d'éolienne. Les extincteurs sont positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Ils font l'objet d'un contrôle régulier par un organisme agréé.



Système de lutte incendie

Les éoliennes disposent de deux extincteurs portatifs à poudre, installés selon les directives nationales en vigueur : le premier au pied du mât et l'autre dans la nacelle.

Système de détection et d'alarme

Un système d'alarme est couplé avec un système de détection qui informe l'exploitant à tout moment d'un départ de feu dans l'éolienne, via le système SCADA (contrôle à distance).

Plusieurs capteurs installés dans la nacelle, mesurant la température et la fumée afin de signaler tout incendie. Ce système est uniquement conçu pour être utilisé dans la nacelle et les zones définies.

Les zones définies de la nacelle sont situées dans : les topbox I (armoire d'agrégat), les topbox II (armoire de commande), l'armoire du transformateur et dans la structure de la nacelle.

Le système d'alarme est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant la détection de l'incendie. Il doit être capable également de mettre en œuvre les procédures d'urgence dans un délai de 60 minutes.

Procédure d'urgence en cas d'incendie

Un plan d'évacuation permet au personnel d'évacuer l'éolienne en cas d'incendie. Le personnel dispose également d'une procédure d'urgence pour donner l'alerte vers les services de secours en cas d'incendie et est formé pour le faire.

G. Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes (SCADA)

L'exploitant des éoliennes ne fera pas l'objet d'une présence permanente sur site, mis à part lors des opérations de maintenance. Le fonctionnement du parc éolien est entièrement automatisé et contrôlé à distance depuis le centre de commande du manufacturier des éoliennes et depuis le centre de supervision de l'exploitant du parc éolien.

L'exploitation des éoliennes s'effectue grâce à un Automate Programmable Industriel (API) qui analyse en permanence les données en provenance des différents capteurs de l'installation et de l'environnement (conditions météorologiques, vitesse de rotation des pales, production électrique, niveau de pression du réseau hydraulique, etc.) et contrôle les commandes en fonction des paramètres.

Sur un moniteur de contrôle placé au niveau du poste électrique de livraison, toutes les données d'exploitation peuvent être affichées et contrôlées, et des fonctions telles que le démarrage, l'arrêt et l'orientation des pales peuvent être commandées.

De plus, les éoliennes seront équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur internet et d'une connexion ADSL ou RNIS.

Le SCADA constitue un terminal de dialogue entre l'automate et son système d'entrée / sortie, connecté en réseau au niveau des armoires de contrôle placées dans la nacelle et dans le pied de l'éolienne.



H. Protection contre le risque foudre

L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.

Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés en aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.

Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels que l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau. De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.

I. Protection contre la survitesse

Chaque éolienne est dotée d'un dispositif de freinage pour diminuer les contraintes mécaniques qui s'exercent sur cette dernière lorsque le vent augmente. Ce dispositif arrête tout fonctionnement de l'éolienne en cas de tempête, par exemple. Cela s'effectue par une rotation des pales limitant la prise au vent, puis par des freins moteurs.

En cas de défaillance, un système d'alarme est couplé avec un système de détection de survitesse qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal.

Ce dernier 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'éolienne. Il doit être capable également de mettre en œuvre les procédures d'urgence dans un délai de 60 minutes.

J. Protection contre la tempête

Tous les principaux composants sont équipés de capteurs de vent. Un certain nombre de seuils sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne.

En cas de dépassement de la vitesse du vent de coupure, si la valeur moyenne sur 10 minutes est supérieure à 25 m/s ou si la valeur moyenne sur 3 secondes est supérieure à 32 m/s, l'éolienne s'arrête. Dans ce cas, des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine. Cependant, pour faire face aux rafales, l'éolienne lancera également la procédure de coupure si la vitesse du vent dépasse certains seuils prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne en valeur moyennée sur 30 secondes ou en valeur moyennée sur 1 seconde.

Tout phénomène anormal est ainsi répertorié, tracé via le système SCADA du parc, et donne lieu à des analyses et, si nécessaire, à des interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés.

La procédure d'arrêt fera pivoter les pales en position drapeau et arrêtera l'éolienne en toute sécurité. Après l'arrêt et pour des raisons de sécurité, un délai d'attente doit être respecté avant de procéder au redémarrage de l'éolienne. Ce délai d'attente n'est décompté qu'une fois que la vitesse du vent reste inférieure à 22 m/s pendant plus de 120 secondes.



K. Protection contre la glace

Durant les mois d'hiver et au début du printemps, du givre puis de la glace peuvent se former sur les pales et la nacelle des éoliennes, entraînant un surpoids, un déséquilibre du rotor et des risques de projection de cette glace. La glace sur les pales de l'éolienne diminue sa puissance et augmente les efforts sur la machine (multiplicateur). Le balourd créé déséquilibre la rotation du rotor.

Un système de protection contre la glace est donc fourni avec la majorité des modèles d'éoliennes pour prévenir de ces dangers.

Le système de protection se base sur :

- Les informations données par un détecteur de glace situé sur la nacelle de l'éolienne, couplé à un thermomètre extérieur ;
- L'analyse en temps réel de la variation de la courbe de puissance de l'éolienne traduisant la présence de glace sur les pales.

La détection de glace génère une alarme sur le système de surveillance à distance de l'éolienne (SCADA) et informe l'exploitant de l'évènement. Celui-ci stoppe l'éolienne et ne peut la redémarrer que sur place après un contrôle visuel des pales et de la nacelle permettant d'évaluer l'importance de la formation de glace (redémarrage à distance impossible).

En cas de conditions de gel prolongé, les éoliennes sont maintenues à l'arrêt jusqu'au retour de conditions météorologiques plus clémentes.

L. Protection contre le risque électrique

Les installations électriques à l'intérieur de l'éolienne respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006.

Les installations électriques extérieures à l'éolienne sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NF 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis 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.

M. Protection contre le risque de fuite de liquide dans la nacelle

Les nacelles des éoliennes sont conçues de sorte que tout écoulement accidentel de liquide provenant d'éléments de la nacelle (huile multiplicateur et liquide de refroidissement principalement) est récupéré dans un bac de rétention. Un réservoir étanche, situé dans la plateforme supérieure de la tour de l'éolienne, permet ensuite de recueillir les produits de fuite temporairement avant leur évacuation par les moyens appropriés.

Des vérifications des niveaux sont également partie intégrante des opérations de maintenance préventive.



3.2.3. Opérations de maintenance de l'éolienne

A. Dispositions générales

L'installation respectera toutes les prescriptions imposées par la réglementation et en particulier par l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 et l'arrêté du 10 décembre 2021. Cela concerne notamment :

- État des accès aux installations (articles 7, 13 et 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié)

Le site dispose en permanence d'une voie d'accès carrossable et entretenue au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours. Les abords de l'installation placés sous le contrôle de l'exploitant sont maintenus en bon état de propreté.

Les personnes étrangères à l'installation n'ont pas d'accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs. Les accès à l'intérieur de chaque éolienne, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison sont maintenus fermés à la clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements.

Les prescriptions à observer par les tiers sont affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur des panneaux positionnés sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement.

- Tests avant mise en service (article 17 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié)

Avant toute mise en service industrielle, l'exploitant réalise des essais sur chaque éolienne permettant de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements mobilisés pour mettre chaque aérogénérateur en sécurité.

- Un arrêt ;
- Un arrêt d'urgence ;
- Un arrêt depuis un régime de survitesse ou depuis une simulation de ce régime.

Suivant une périodicité qui ne peut excéder 1 an, l'exploitant réalise des tests pour vérifier l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur. Les résultats de ces tests sont consignés dans le registre de maintenance visé à l'article 19.

- Manuel d'entretien de l'installation (article 19 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié)

L'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations de maintenance qui doivent être effectuées afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation, ainsi que les modalités de réalisation des tests et des contrôles de sécurité, notamment ceux visés par le présent arrêté.

L'exploitant tient à jour, pour son installation, un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance qui ont été effectuées, leur nature, les défaillances constatées et les opérations préventives et correctives engagées.

- Consignes de sécurité pour le personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance (article 22 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié)

Des consignes de sécurité sont rétablies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. 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 (notamment pour les défauts de structure des pales et du mât, pour les limites de fonctionnement des dispositifs de secours, notamment les batteries, pour les défauts de serrage de brides) ;
- Les procédures d'alerte 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 œuvre 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, incendie ou inondation.

B. Entretien préventif du matériel

Le programme préventif de maintenance s'étale sur trois niveaux :

- Type 1 : vérification après 500 à 1500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation / tour, tour / nacelle, rotor et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne) ;
- Type 2 : vérification annuelle des matériaux (soudures, etc.), des équipements mécaniques et hydrauliques, de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique ;
- Type 3 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

Chacune des interventions sur les éoliennes ou leurs périphéries fait l'objet de l'arrêt du rotor pendant toute la durée des opérations.

Pour la maintenance, une équipe de techniciens spécialisés est implantée localement. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

Ainsi l'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées en matière d'exploitation.

C. Contrôles réglementaires périodiques

S'agissant d'une installation classée, l'exploitant s'assure également de la conformité réglementaire du parc au regard de la sécurité des travailleurs et de l'environnement. Il fait contrôler par un organisme indépendant agréé le maintien en bon état des équipements électriques, des moyens de protection contre l'incendie, des protections individuelles et collectives contre les chutes de hauteur, des moyens de levage, des élévateurs de personnes et des équipements sous pression.

Le matériel de lutte contre l'incendie est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.

En fin de construction, des essais sont planifiés avant la mise en service effective, afin de vérifier les réglages. Ils comprendront notamment un arrêt, un arrêt d'urgence et un arrêt depuis un régime de survitesse ou une simulation de ce régime. L'état fonctionnel de ces équipements de



mise à l'arrêt sera ensuite testé au minimum une fois par an. Cette opération est intégrée au plan de maintenance du fournisseur des machines.

Par ailleurs, l'exploitant réalisera ou fera réaliser les différents types de contrôle prévus à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié : brides de fixation, brides de mât, fixation des pales, contrôle visuel de chaque éolienne. Ces contrôles devront être effectués dans un délai de 3 mois et 1 an après la mise en service, puis au minimum tous les 3 ans. Les pales et les éléments susceptibles d'être endommagés feront l'objet d'un contrôle visuel au minimum tous les 6 mois.

Un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité sera également planifié tous les ans. La liste des équipements de sécurité ainsi que les résultats de l'ensemble des contrôles prévus sont consignés dans le registre de maintenance.

3.2.4. Stockage et flux de produits dangereux

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

3.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation

3.3.1. Raccordement électrique d'un parc éolien

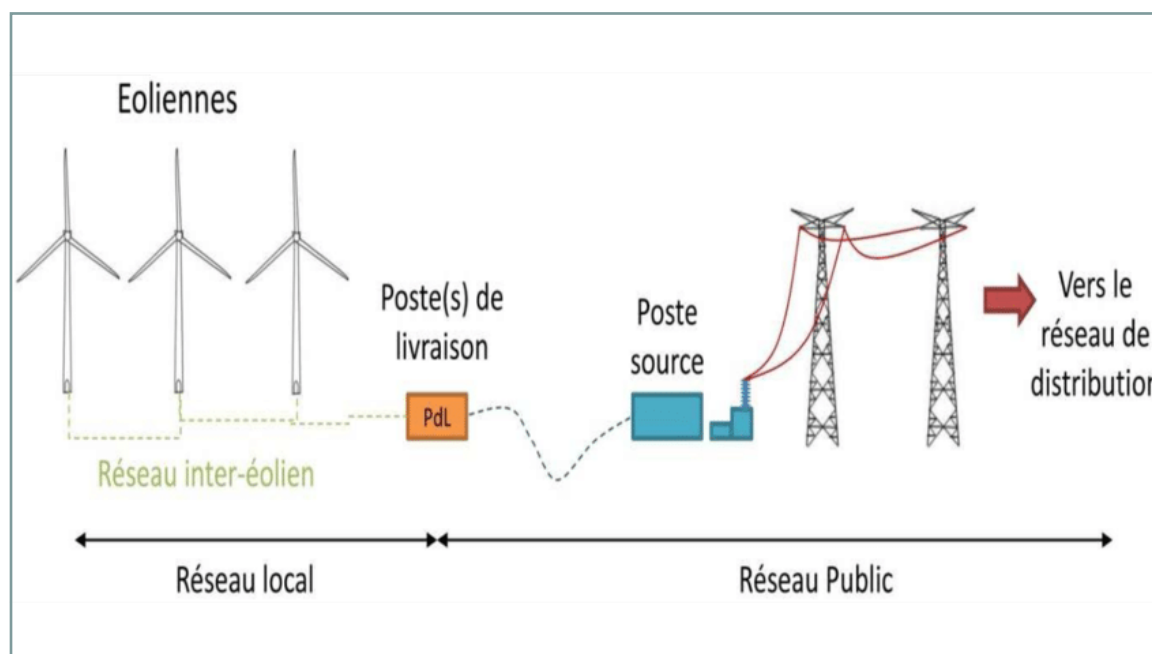


FIGURE 28: Raccordement électrique des installations

A. Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance.

Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm en accotement de voies et à 120 cm environ en plein champ.

B. Poste de livraison

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

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

C. Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison avec le poste source (réseau public de distribution d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement Enedis). Il est ensuite aussi entièrement enterré.

3.3.2. Raccordement électrique du parc éolien de Quinsac

Les différents aérogénérateurs, le poste de livraison, les réseaux électriques enterrés sont représentés sur les plans d'ensemble ci-dessous.

Le raccordement des éoliennes entre elles et au poste de livraison, ainsi que la jonction au réseau extérieur seront réalisés en souterrain, depuis le poste de livraison vers le poste source qui sera défini par le gestionnaire du réseau (Enedis).

Le projet éolien de Quinsac comportera un poste de livraison.

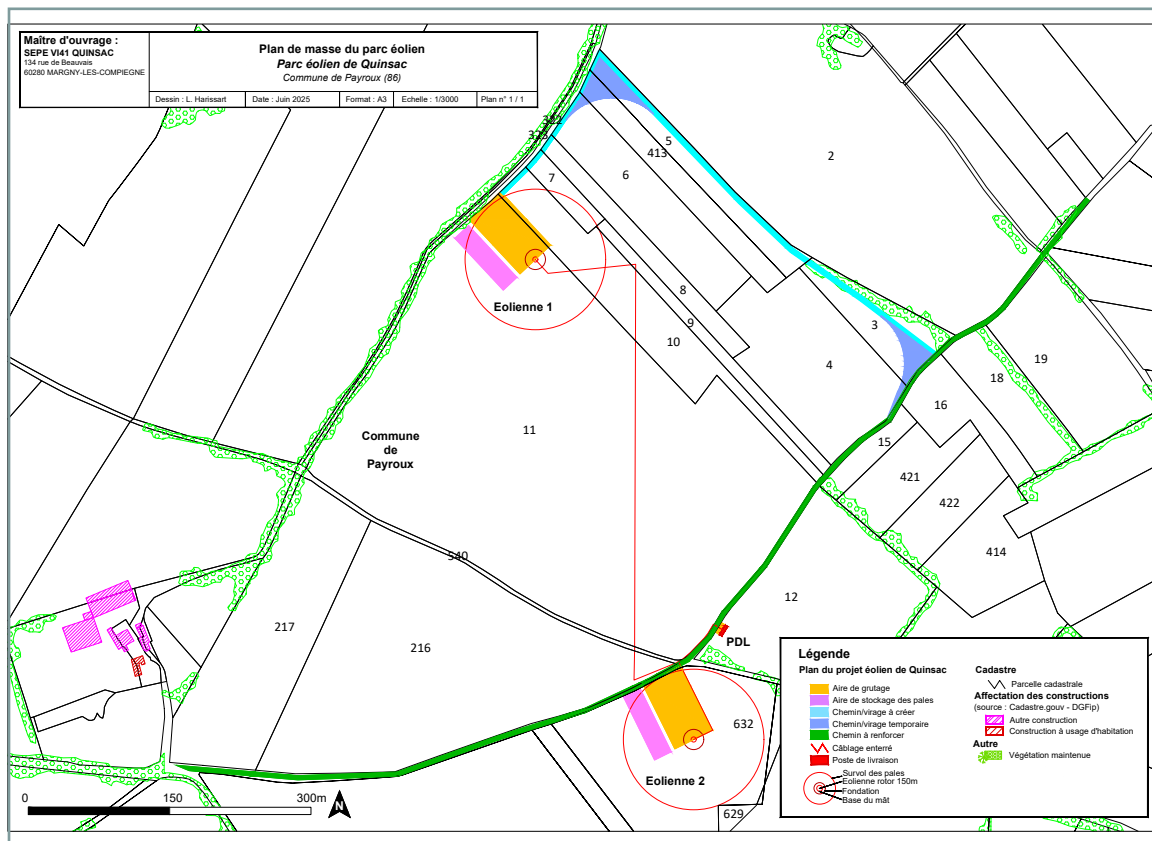


FIGURE 29: Carte de raccordement électrique interne du parc éolien de Quinsac

Quatrième partie

Identification des potentiels
de danger de l'installation

4. Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

4.1. Potentiels de danger liés aux produits

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

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

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

Conformément à l'article 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 les postes de livraison.

4.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'éolienne (boulons, morceaux d'équipement, etc.) ;
- Projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation, etc.) ;
- Effondrement de tout ou partie de l'éolienne ;
- Échauffement de pièces mécaniques ;
- Court-circuit électrique (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant.



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

FIGURE 30: Dangers potentiels d'une éolienne



4.3. Réduction des potentiels de dangers à la source

4.3.1. Principales actions préventives

Cette partie explique les choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de la conception du projet pour réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

A. Réduction des dangers liés aux produits

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. La quantité est estimée à environ 850 litres par éolienne. et les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés tous les 6 mois à 5 ans selon le type. Les quantités de produits ne peuvent être diminuées et les produits lubrifiants en eux-mêmes ne peuvent faire l'objet de substitution (considérés comme non dangereux pour l'environnement si utilisés comme recommandé et combustibles mais non inflammables). **On rappelle cependant que ces produits ne sont utilisés que de manière ponctuelle et ne sont pas présents sur le site.**

On note que la nacelle fait office de bac de récupération en cas de fuite au niveau de la couronne d'orientation ; la plateforme supérieure du mât, étanche, est également conçue pour collecter les éventuelles fuites. Le transformateur, présent dans le mât de l'éolienne, ne nécessite pas de bac de récupération car un système sec est utilisé, qui ne nécessite l'usage d'aucun lubrifiant.

La réduction des dangers liés aux produits dépend donc essentiellement de la bonne maintenance des appareils et du respect des règles de sécurité. Une attention particulière devra également être portée au transport des lubrifiants sur le site lors des phases de renouvellement.

La réduction des dangers liés aux produits dépend donc essentiellement de la bonne maintenance des appareils et du respect des règles de sécurité. Une attention particulière devra également être portée au transport des lubrifiants sur le site lors des phases de renouvellement.

B. Réduction des dangers liés aux installations

Les mesures générales de prévention sont :

- Des mesures de vent ont été effectuées en amont du projet, permettant une prévision des conditions climatiques. Le choix de l'éolienne est adapté à ces conditions ;
- Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 modifié impose au projet :
 - Un éloignement des aérogénérateurs de 500 m des habitations et zones constructibles ;
 - Un choix d'aérogénérateurs respectant des normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques ;
 - La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.
- Le projet bénéficie de l'expérience du développeur et exploitant dans le développement de projets éoliens.



En outre, les mesures générales de prévention limitant les risques d'accident sur le parc éolien de Quinsac sont les suivantes :

- Le conducteur et fournisseur des éoliennes, assurant leur maintenance, dispose d'un système de management HSE respecté par tous leurs salariés ;
- Le respect des règles de conduite et la limitation de la vitesse de circulation des engins et véhicules seront imposés. Un plan de circulation sera établi pour l'accès depuis les routes les plus proches ;
- Le fonctionnement de l'installation est assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques accidentels visés à la section 5 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter. Il connaît les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours. La réalisation des exercices d'entraînement, les conditions de réalisation de ceux-ci, et le cas échéant les accidents/incidents survenus dans l'installation, sont consignés dans un registre. Le registre contient également l'analyse de retour d'expérience réalisée par l'exploitant et les mesures correctives mises en place ;
- Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et l'habilitation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens sont formés, entraînés, autorisés et équipés de leurs EPI ;
- Des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. 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 (notamment pour les défauts de structures des pales et du mât, pour les limites de fonctionnement des dispositifs de secours, notamment les batteries, pour les défauts de serrage des brides) ;

- Les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;

Les procédures d'alerte avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours ;

- Le cas échéant, les informations à transmettre aux services de secours externes (procédures à suivre par les personnels afin d'assurer l'accès à l'installation aux services d'incendie et de secours et de faciliter leur intervention).

Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en œuvre 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, incendie ou inondation.



- En cas de détection d'un fonctionnement anormal, notamment en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse d'un aérogénérateur, l'exploitant ou une personne qu'il aura désignée et formée est en mesure :
 - De mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées ci-dessus dans un délai maximal de 60 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur ;
 - 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 design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et les normes du constructeur.



Cinquième partie

Analyse des retours
d'expérience

5. Analyse des retours d'expérience

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 (base de données ARIA par le BARPI, associations, organisations professionnelles, littérature spécialisée, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

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

5.1. Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne effectué en mars 2012, et complété par les données disponibles de la base de données ARIA.

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

- Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004) [6] ;
- Base de données ARIA du Ministère du Développement Durable ;
- Communiqués de presse du SER-FEE et / ou des exploitants éoliens ;
- Site internet de l'association « Vent de Colère » ;
- Site internet de l'association « Fédération Environnement Durable » ;
- Articles de presse divers ;
- Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France.

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/France Renouvelables ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents avait pu être recensé entre 2000 et 2012. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété par 58 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et 2021.



Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens (parcs installés dans les années 90 et la première moitié des années 2000), qui ne bénéficient généralement pas des dernières avancées technologiques.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et juillet 2021. 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.

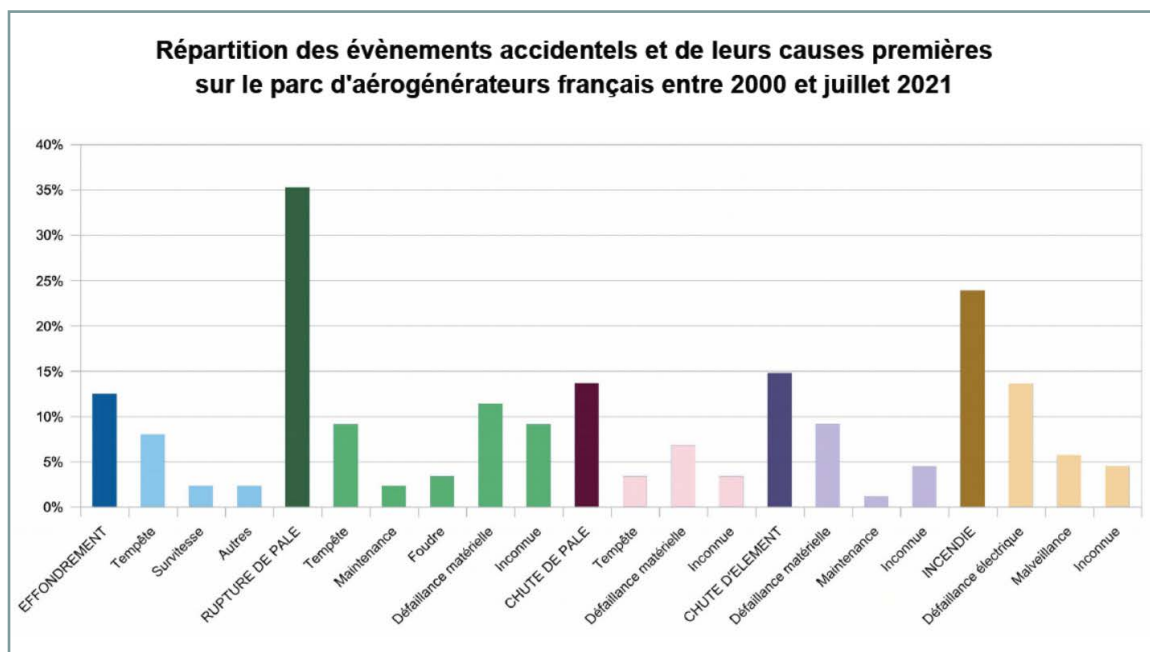


FIGURE 31: Répartition des événements accidentels en France (2000 - 2021)

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies (nombreux cas criminels), les effondrements, les chutes de pale et les chutes d'éléments de pale. La principale cause de ces accidents est liée à la conception des machines, régulièrement mise en cause en cas de tempête.

5.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne au 30 juin 2021.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF)[7]. Sur les 3 033 accidents décrits dans la base de données au moment de sa mise à jour, 1 801 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernent plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, les incidents, etc., et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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

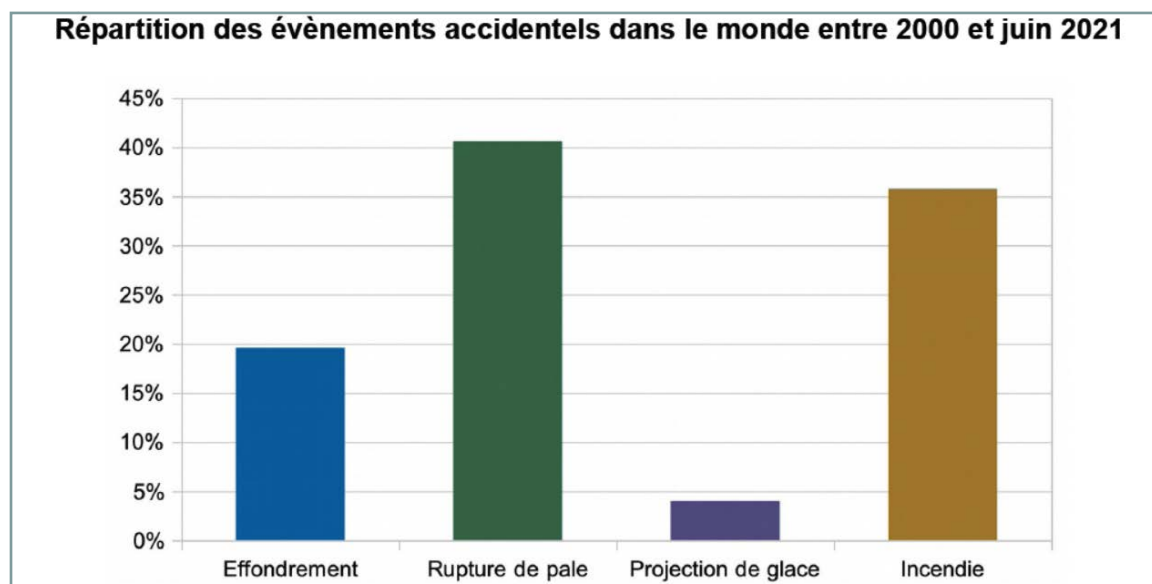


FIGURE 32: Répartition des événements accidentels dans le monde (2000 - 2021)

La répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2021 est du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER / France Renouvelables.

Ci-contre, le recensement des causes premières présenté pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés) est celui qui porte sur les données 2000 - 2011 analysées par le groupe de travail mentionné précédemment.

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

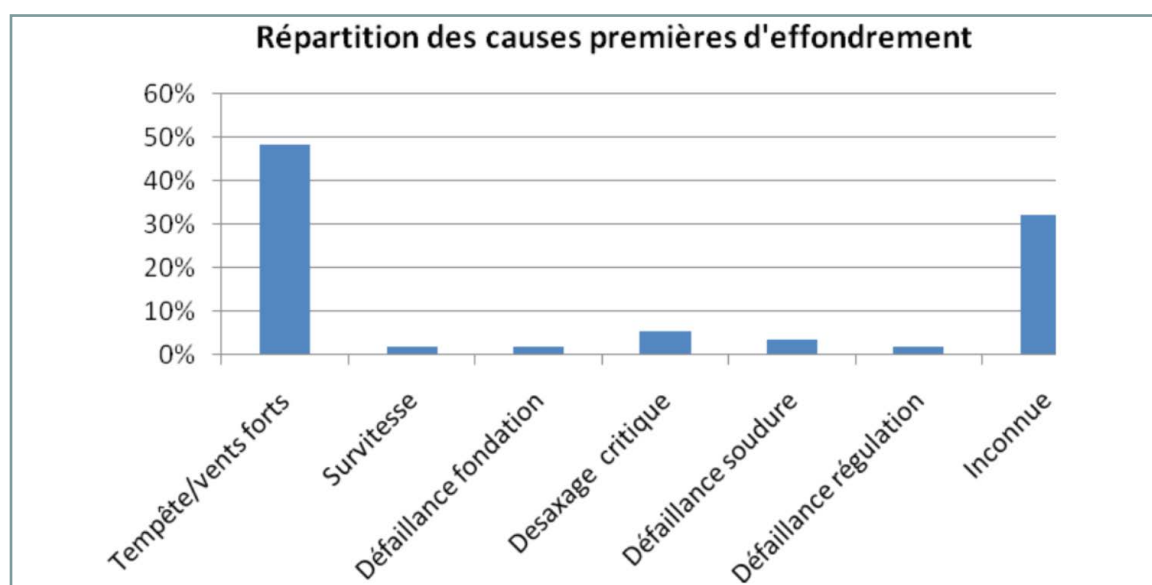


FIGURE 33: Répartition des causes premières d'effondrement



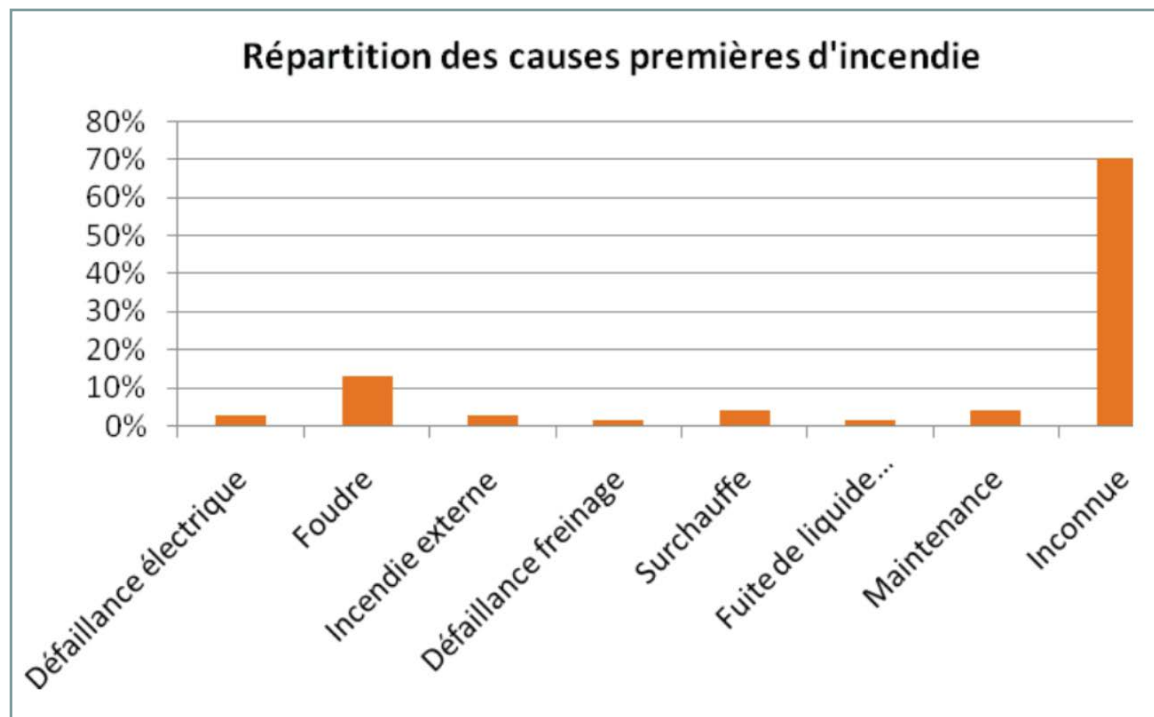


FIGURE 34: Répartition des causes premières d'incendie

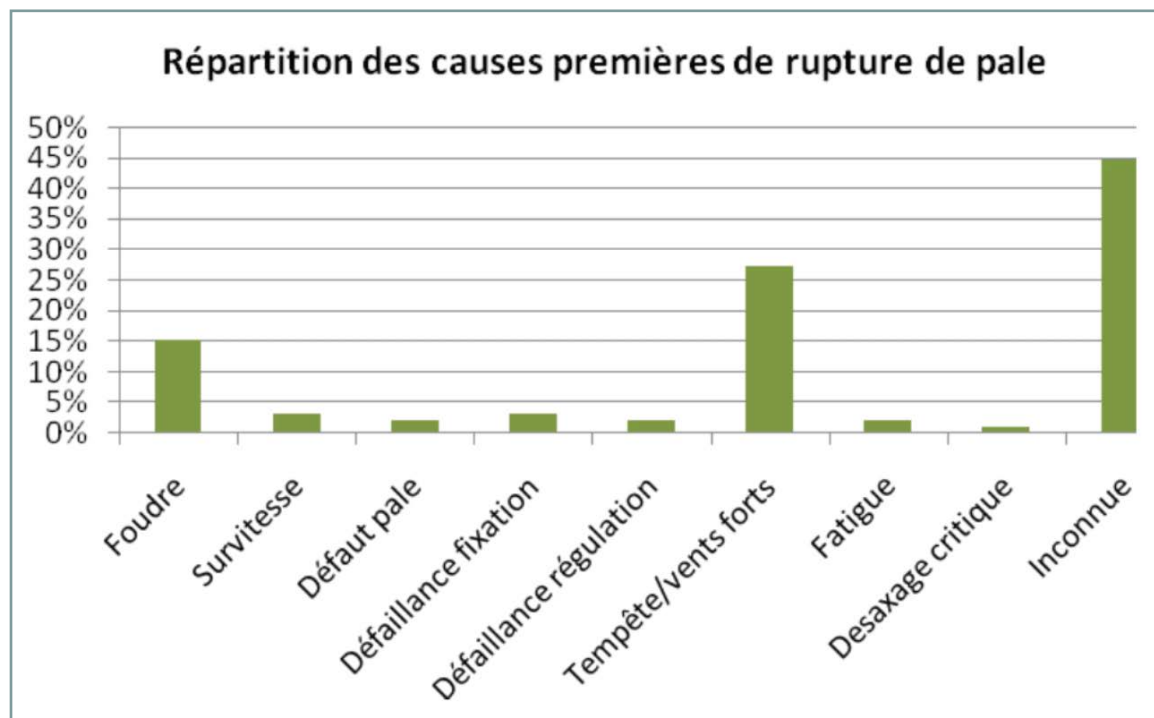


FIGURE 35: Répartition des causes premières de rupture de pale



5.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

5.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

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

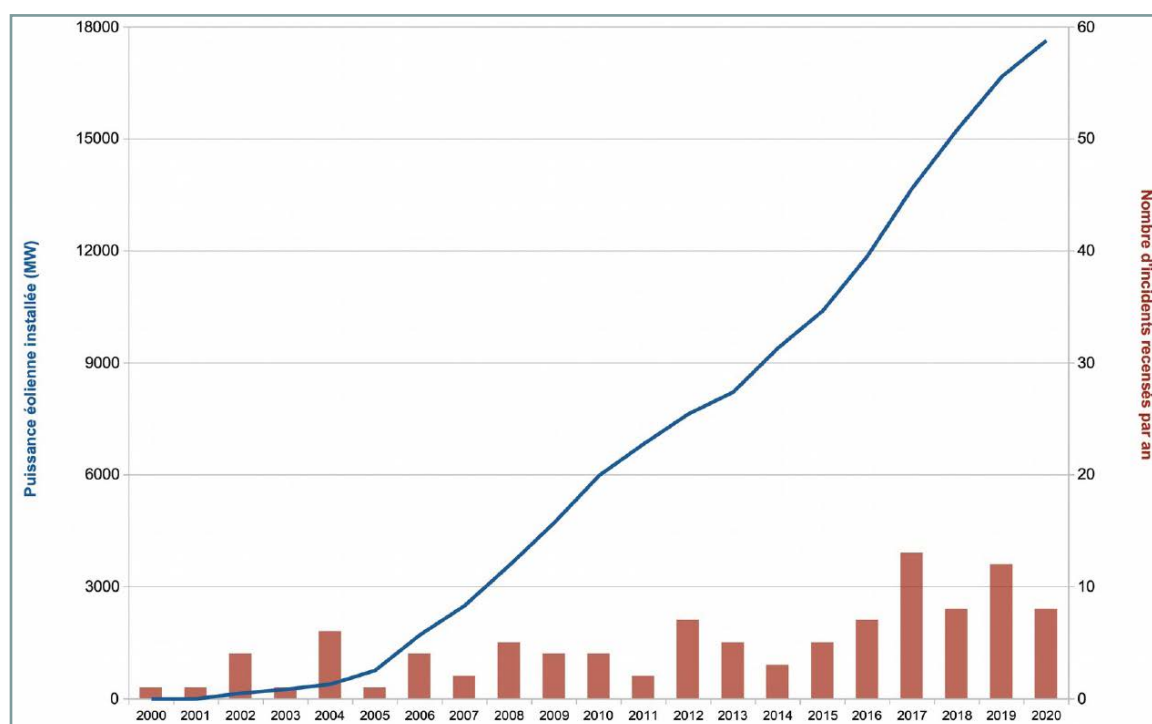


FIGURE 36: Évolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées
Source : Guide technique, ARIA

5.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

5.3.3. Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

- La non-exhaustivité des événements : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace ;
- La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les éoliennes observées n'ont pas été construites 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 ont mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents.

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





Sixième partie

Analyse préliminaire des risques

6. Analyse préliminaire des risques

6.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accidents majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

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

6.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques

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

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

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



Le risque de suraccident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas 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.

6.3. Recensement des agressions externes potentielles

6.3.1. Agression externe liée aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre (m)	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Énergie cinétique des véhicules et flux thermique	100	Distance minimale entre une éolienne du projet et la route communale 350 m
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Énergie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000	Non concerné Infrastructure au-delà du périmètre de 2 km
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200	Non concerné Absence de lignes THT dans le périmètre
Autres aérogénérateur	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Énergie cinétique des éléments projetés	500	Distance minimale entre les éoliennes 540 m

FIGURE 37: Agressions externes liées aux activités humaines



6.3.2. Agression externe liée aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Fonction
Séisme	Zone de sismicité 2 : Faible
Vents et tempête	Les relevés météorologiques effectués à la station de Civray à 18 km ont enregistré une rafale maximale à 34 m/s soit 122,4 km/h, en février 2009.
Inondations	Zone de projet située dans l'Atlas des zones inondables mais la commune de Payroux n'est pas soumise à un Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI).
Foudre	Le niveau kéraunique est inférieur à 25 jours par an, ce qui qualifie la zone de peu orageuse. D'autre part, les éoliennes retenues respecteront la norme IEC 61 400-24 et seront en outre équipées d'un dispositif agréé reliant les pales à la terre. Ce dispositif permet de réduire considérablement les risques d'atteinte grave de l'éolienne en cas de foudre.
Glissement de sols Affaissement minier	Zone d'aléa retrait-gonflement d'argiles fort, aucune cavité n'est recensée dans un rayon de 500 m autour des éoliennes.

FIGURE 38: Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

6.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et des phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

Le tableau ci-après présente une proposition d'analyse générique des risques.



Celui-ci est construit de la manière suivante :

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

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

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

Les différents scénarios listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événements redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience du groupe de travail INERIS/SER France Renouvelables (« 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 et « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).



N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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	Condition climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de 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 Programmation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électri	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute / projection d'éléments enflammés Programmation 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 de la survitesse (N°4)	Chute / projection d'éléments enflammés Programmation 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 Programmation 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



N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Écoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement	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
C02	Défaillance de 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)	Impact sur cible	2
E01	Effets domino autres installations	Agression externe et fragilisation de la 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



N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation de la 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 de la 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 de la structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragment et chute de mât	2
E08	Vents forts	Défaillance de la 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°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abatage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection / chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance du 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

FIGURE 39: Analyse générique des risques



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

6.5. Effets domino

Lors d'un accident majeur sur une éolienne, une possibilité est que les effets de cet accident endommagent d'autres installations. Ces dommages peuvent conduire à un autre accident. Par exemple, la projection de pale impactant les canalisations d'une usine à proximité peut conduire à des fuites de canalisations de substances dangereuses. Ce phénomène est appelé « effet domino ».

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

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets domino sur d'autres installations, le paragraphe 1.2.2 de la circulaire du 10 mai 2010 précise : « [...] seuls les effets domino générés par les fragments sur des installations et équipements proches ont vocation à être pris en compte dans les études de dangers [...]. Pour les effets de projection à une distance plus lointaine, l'état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l'action publique ».

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE n'est évaluée que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

Il n'y a pas d'installations ICPE dans ce périmètre d'étude de 100m. Les effets domino ne sont pas étudiés dans la présente étude.

Le parc photovoltaïque autorisé, non construit au jour de la rédaction de ce document, n'entraînera pas de risque supplémentaire par l'effet domino.

6.6. Mise en place des mesures de sécurité

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes du parc éolien de Quinsac. Les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement 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.
- **Mesure de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présents (détection + traitement de l'information + action).



- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance (« oui » ou « non »)** : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse (en secondes ou en minutes)** : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. 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 éoliennes, 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 de 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.
- **Efficacité (100% ou 0%)** : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests / essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Note 1 : Pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Il convient alors de renseigner le critère correspondant avec l'acronyme « NA » (Non applicable).

Note 2 : Certaines mesures de maîtrise des risques ne remplissent pas les critères « efficacité » ou « indépendance » : Elles ont une fiabilité plus faible que d'autres mesures de maîtrise des risques. Celles-ci peuvent néanmoins être décrites dans le tableau ci-dessous dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.



Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité 1-a
Mesure de sécurité	Système de déduction de la formation de glace.	
Description	Ce système déduit la formation de glace sur les pales à partir des données de températures et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système SCADA permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est ensuite effectuée de manière automatique ou manuelle, selon le type de contrat. Le redémarrage pourra ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min), conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'article 19 de l'arrêté du 22 juin 2020	
Efficacité	100%	
Test	NA	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

FIGURE 40: Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité 1-b
Mesure de sécurité	Système de détection de glace sur la nacelle	
Description	Ce système est composé d'une sonde vibratoire installée sur la nacelle, permettant d'alerter les opérateurs dès que l'accumulation de glace dépasse un certain niveau. Ce dispositif détecte la formation de glace sur la nacelle, et donc par déduction sur les pales. Lorsqu'il y a détection, la mise à l'arrêt de la turbine est automatique ou manuelle, après vérification de la glace formée, selon le type de configuration demandé.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min), conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'article 19 de l'arrêté du 22 juin 2020	
Efficacité	100%	
Test	NA	
Maintenance	Le système de détection est supervisé par les contrôleurs de la machine. Un warning est envoyé via le SCADA en cas de défaut => maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement	

FIGURE 41: Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace



Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité 2
Mesure de sécurité	Signalisation du risque en pied de machine. Éloignement des zones habitées et fréquentées.	
Description	Mise en place de panneaux de signalisation en pied de machine informant du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021).	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100%. Nous considérerons que, compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.	
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.	

FIGURE 42: Mesures de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace

Fonction de sécurité	Prévenir de l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité 3
Mesure de sécurité	Sondes de température sur les pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.	
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine < 1 min	
Efficacité	100%	
Test	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.	
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. 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 par l'arrêté du 10 décembre 2021.	

FIGURE 43: Mesures de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques



Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité 4-a
Mesure de sécurité	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.	
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 25 m/s. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85° à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'inclinaison des pales « PitchSystem».	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine <1 min. L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021.	
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 par arrêté du 10 décembre 2021. Test à chaque maintenance préventive.	
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

FIGURE 44: Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité 4-b
Mesure de sécurité	Détection de survitesse du générateur.	
Description	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine <1 min. L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021.	
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 par arrêté du 10 décembre 2021. Test à chaque maintenance préventive.	
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

FIGURE 45: Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse



Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité 4-c
Mesure de sécurité	Système de prévention de survitesse.	
Description	En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent (automate totalement indépendant de l'automate de conduite utilisé pour la fonction 4-b), et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 17 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins). En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du VOG), l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de maintenance avant de relancer l'éolienne.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection <1 min. Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi 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 à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.	
Efficacité	100%	
Test	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance. Ces vérifications sont consignées dans un document spécifique. Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.	

FIGURE 46: Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse



Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité 5
Mesure de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transformateur et armoires électriques).	
Description	Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles (qui abritent les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc électrique. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie. Le fonctionnement de ces détecteurs commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquittement manuel du défaut.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.	
Efficacité	100%	
Test	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.	
Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé. Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans le manuel de maintenance préventive.	

FIGURE 47: Mesures de sécurité pour prévenir les courts-circuits



Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité 6
Mesure de sécurité	Système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.	
Description	Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU - Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille. En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif.	
Efficacité	100%	
Test	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.	
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021.	

FIGURE 48: Mesures de sécurité pour prévenir les effets de la foudre



Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité 7
Mesure de sécurité	1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme. 2. Système de détection incendie.	
Description	1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor. 2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffement tels que : ● La chambre du transformateur ; ● Le générateur ; ● La cellule haute tension ; ● Le convertisseur ; ● Les armoires électriques principales ; ● Le système de freinage. En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « Emergency stop » et un 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. Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secours (UPS). Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgences compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.	
Efficacité	100%	
Test	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.	
Maintenance	Contrôle tous les ans du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021. Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé. Maintenance prédictive sur les capteurs de température.	

FIGURE 49: Mesures de sécurité pour protéger et intervenir en cas d'incendie



Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité 8
Mesure de sécurité	1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression. 2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation). 3. Procédure d'urgence. 4. Kit antipollution. 5. Bacs de rétention.	
Description	1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale. La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne. Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique déclenche une alarme et conduit à l'arrêt de l'éolienne. 2. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne. 3. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. 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. Une procédure en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs. 4. 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 d'arrêter la propagation de la pollution ; - D'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools, etc.) et de produits chimiques (acides, bases, solvants, etc.) - De récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, l'exploitant se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates. 5. Des bacs de rétention empêchent l'huile ou la graisse de couler le long du mât et de s'infiltrer dans le sol. Les principaux bacs de rétention sont équipés de capteurs de niveau d'huile afin d'informer les équipes de maintenance via les alertes en cas de fuite importante. De plus, la plateforme supérieure de la tour a les bords relevés et a des jointures étanches entre les plaques d'acier. Cette plateforme fait office de bac de rétention de secours en cas de fuite importante dans la nacelle.	



Indépendance	Oui
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine <1 min.
Efficacité	100%
Test	Test des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance. Ces vérifications sont consignées dans un document dédié. Dépendant du débit de fuite.
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié. Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.

FIGURE 50: Mesures de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)	N° de la fonction de sécurité 9
Mesure de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différents assemblages de structure (ex : brides, joints, etc.). Procédures et contrôle qualité.	
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Chaque constructeur remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61 400-1 (édition 2005). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. De plus, les organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation. L'article R.111-38 du Code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air selon la norme ISO9223.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100%	
Test	NA	
Maintenance	Le plan de maintenance prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.	

FIGURE 51: Mesures de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité et d'assemblage de l'éolienne



Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité 10
Mesure de sécurité	Procédure de maintenance.	
Description	Préconisation du manuel de maintenance. Formation du personnel.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100%	
Test	Traçabilité : rapport de service.	
Maintenance	NA	

FIGURE 52: Mesures de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité 11
Mesure de sécurité	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présents dans les éoliennes. 3. Condition Monitoring System (CMS).	
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présents dans les éoliennes est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de dégradation d'alarmes sont en amélioration continue. 3. Présence d'un Condition Monitoring System (CMS) qui permet de suivre, par une analyse vibratoire continue, l'état des éléments roulants de la chaîne cinématique du rotor, de l'arbre lent, du multiplicateur, de la génératrice et de leur environnement.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation.	
Efficacité	NA	
Test	Traçabilité : rapport de service.	
Maintenance	NA	

FIGURE 53: Mesures de sécurité pour prévenir la dégradation de l'état des équipements



Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité 12
Mesure de sécurité	1. Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. 2. Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle. 3. Option « Yaw backup System ».	
Description	1. En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme IEC 61 400-1. Les éoliennes sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine. 2. Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale 22,5 m/s. 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 ». 3. En fonction de l'intensité attendue des vents, il est possible d'ajouter en option le « Yaw backup System ». Ce système maintient la turbine face au vent même en cas de coupure du réseau électrique. Préciser si l'option a été choisie pour les éoliennes de ce parc.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en drapeau des pales < 1 min.	
Efficacité	100%	
Test	Pitch System testé tous les ans lors des maintenances préventives.	
Maintenance	Tous les ans.	

FIGURE 54: Mesures de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021.

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



6.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

À l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers précise quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenues que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât, les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 [1] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques, sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

FIGURE 55: Scénarios en dehors de l'analyse préliminaire

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

- Projection de toute ou une partie de pale ;
- Effondrement de l'éolienne ;
- Chute d'éléments de l'éolienne ;
- Chute de glace ;
- Projection de glace.

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





Septième partie

Étude détaillée des risques

7. Étude détaillée des risques

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, de cinétique, d'intensité et de gravité. Son objectif est donc de préciser le risque généré par l'installation et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques lors de sa mise en œuvre [8]. L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

7.1. Rappel des définitions

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2025.

Cet arrêté ne prévoit de détermination et de la gravité que pour des effets toxiques, de surpression ou de rayonnement thermique.

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

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

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

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

Cette première partie de l'étude détaillée des risques consiste donc à rappeler les définitions de chacun de ces paramètres, en lien avec les références réglementaires correspondantes [9].

Ainsi, l'étude de dangers doit caractériser chaque scénario d'accident majeur potentiel retenu dans l'étude détaillée des risques en fonction des paramètres suivants :

- Cinétique ;
- Intensité ;
- Gravité ;
- Probabilité.

L'étude porte en effet sur la probabilité que l'accident se produise, la vitesse avec laquelle il produit des effets et à laquelle les secours sont en mesure d'intervenir (cinétique), l'effet qu'il aura s'il se produit (intensité) et le nombre de personnes exposées (gravité).



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

7.1.1. Cinétique

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

Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [2], la cinétique peut être qualifiée de « lente » ou de « rapide ». Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri à la suite de l'intervention des services de secours. Dans le cas contraire, la cinétique est considérée comme rapide.

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

7.1.2. 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 [2] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

- 5% d'exposition : seuil d'exposition très forte ;
- 1% d'exposition : seuil d'exposition forte.

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



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

FIGURE 56: Degré d'exposition et intensité

7.1.3. Gravité

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

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

FIGURE 57: Niveaux de gravité

Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) : compter 1 personne par tranche de 100 hectares.

Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage...) : compter 1 personne par tranche de 10 hectares.



7.1.4. Probabilité

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

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

FIGURE 58: Niveaux de probabilités

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 décembre 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 décembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement.



Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté. La probabilité d'accident est en effet le produit de plusieurs probabilités :

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

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

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

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

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

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

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

7.1.5. Acceptabilité

En croissant les données précédentes, on obtient le tableau suivant :

- Risque très faible (vert) : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables au regard de leur rapport intensité / probabilité ;
- Risque faible (jaune) : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
- Risque important (rouge) : niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

Gravité Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					

* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute

FIGURE 59: Niveaux d'acceptabilité



7.1.6. Rappel des caractéristiques des éoliennes du parc

Conformément au guide de l'INERIS, des dimensions standardisées sont retenues dans le cadre des calculs pour les différents scénarios étudiés. Il est ainsi considéré qu'une longueur de pale est égale à un demi-diamètre de rotor, et que la hauteur totale de l'éolienne correspond à la longueur d'une pale additionnée de la hauteur du mât de l'éolienne.

Un gabarit est étudié dans le cadre du projet éolien de Quinsac. Le gabarit retenu pour les éoliennes possède un diamètre de rotor de 150 m (soit une longueur de pale considérée de 73,7 m) avec une hauteur de mât de 156,3 m portant la hauteur totale de l'éolienne à 230 m (correspond à l'éolienne V-150 6,0 MW de Vestas).

Les dimensions suivantes sont utilisées pour les calculs des différents scénarios étudiés :

Caractéristiques	Gabarit (m)
Hauteur mat H	156,3
Diamètre du rotor D	150
Longueur d'une pale R	73,7
Hauteur au moyeu Hm	155
Largeur à la base du mât L	6,3
Largeur maximale à la base de la pale LB	2,595

FIGURE 60: Caractéristiques du gabarit



7.2. Caractérisation des scénarios retenus

7.2.1. Effondrement de l'éolienne

A. Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à la hauteur du mât plus la longueur d'une pale, soit 230 m de hauteur totale pour le projet éolien de Quinsac. Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

B. Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Quinsac. R est la longueur de pale, H la hauteur au moyeu, L la largeur du mât et LB la largeur de la base de la pale.

Effondrement de l'éolienne Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (soit 230 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$ZI = H \cdot L + 3 \cdot R \cdot LB / 2$	$ZE = \pi \cdot (H + R)^2$	$ZI / ZE \cdot 100$	
1 272	166 190	0,77%	Exposition Modérée

FIGURE 61: Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Le degré d'exposition est inférieur à 1 %, l'exposition est donc considérée comme « Modérée ».

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

C. Gravité

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



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

FIGURE 63: Niveaux de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

La détermination du nombre de personnes permanentes présentes dans chacune des zones d'effet se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

La zone d'effet du phénomène est de 16,62 hectares et est principalement constituée de terrains non aménagés.

Éolienne	Type	Surface (ha)	Règle de calcul	Nombre de personnes permanentes	Nombre de personnes permanentes cumulées
EOL 1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	16,062	1 pers / 100ha	0,16	0,22
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,557	1 pers / 10ha	0,06	
EOL 2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	16,105	1 pers / 100ha	0,16	0,21
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,514	1 pers / 10ha	0,05	

FIGURE 62: Évaluation du nombre de personnes exposées pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Pour les 2 éoliennes du projet, le nombre de personnes permanentes est : inférieur à « une personne »

La gravité associée est « Modérée ».



D. Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Guide pour un zonage des éoliennes basé sur les risques	$4,5 \cdot 10^{-4}$	Retour d'expérience
Spécification des distances minimales	$1,8 \cdot 10^{-4}$ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

FIGURE 64: Niveau de probabilité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

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

Le retour d'expérience française montre une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience, soit une probabilité de $4,47 \cdot 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

Ces mesures de sécurité sont notamment :

- Respect intégral des dispositions de la norme IEC 61 400-1 ;
- Contrôle régulier des fondations et des différentes pièces d'assemblage ;
- Système de détection des survitesse et un système redondant de freinage ;
- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations, un système adapté est installé en cas de risque cyclonique.

Dans le retour d'expérience français, aucun effondrement n'a lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

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



E. Acceptabilité

En croissant les données précédentes, on obtient les résultats suivants :

Effondrement de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale) (soit 230 m)					
Gravité Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré		Eol 1 et 2			

* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute

FIGURE 65: Niveau de risque pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Ainsi, pour le parc éolien de Quinsac, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes. Si le parc photovoltaïque vient à être construit, ce dernier ne remettra pas en cause l'acceptabilité de ce risque.



FIGURE 66: Cartographie du risque d'effondrement

7.2.2. Chute de glace

A. Considérations générales

Les périodes de gel et d'humidité de l'air peuvent entraîner, dans des conditions de températures et d'humidité de l'air bien particulières, une formation de givre ou de glace sur l'éolienne, ce qui induit des risques de chute de glace [10].

Selon l'étude WECO [11], une grande partie du territoire français (hors zones de montagnes) est concernée par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire, comme les zones côtières, affichent des moyennes qui varient entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

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

B. Zone d'effet

Selon la méthodologie établie par l'INERIS dans le cadre du guide de l'étude de danger des parcs éoliens, le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien à Quinsac, la zone d'effet a donc un rayon de 75 m. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

C. Intensité

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol). Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien à Quinsac. Zi est la zone d'impact, ZE est la zone d'effet, R est la longueur de pale, SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$).

Chute de glace Dans un rayon inférieur ou égal à $D / 2 =$ zone de survol (soit 75 m)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$ZI = SG$	$ZE = \pi \cdot R^2$	$ZI / ZE \cdot 100$	
1	17 064	0,01%	

FIGURE 67: Niveau d'intensité pour le scénario de chute de glace

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



D. Gravité

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
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
« Important »	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
« Sérieux »	Aucune personne exposée	Au plus de 1 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées
« Modéré »	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

FIGURE 68: Niveaux de gravité pour le scénario chute de glace

La détermination du nombre de personnes permanentes présentes dans chacune des zones d'effet se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

La zone d'effet du phénomène est de 1,71 hectares et est principalement constituée de terrains non aménagés.

Éolienne	Type	Surface (ha)	Règle de calcul	Nombre de personnes permanentes	Nombre de personnes permanentes cumulées
EOL 1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,357	1 pers / 100ha	0,014	0,049
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,350	1 pers / 10ha	0,035	
EOL 2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,357	1 pers / 100ha	0,014	0,049
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,350	1 pers / 10ha	0,035	

FIGURE 69: Évaluation du nombre de personnes exposées pour le scénario chute de glace

Pour les 2 éoliennes du projet, le nombre de personnes permanentes est : inférieur à « une personne ».

La gravité associée est « Modérée ».



E. Probabilité

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

F. Acceptabilité

En croissant les données précédentes, on obtient les résultats suivants :

Chute de glace Dans un rayon inférieur ou égal à $D / 2$ = Zone de survol (soit 75 m)					
Gravité Traduit l'intensité et le nombre de personne exposées	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					Eol 1 et 2
* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute					

FIGURE 70: Niveau de risque pour le scénario chute de glace

Ainsi, pour le parc éolien de Quinsac, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations éoliennes soumises à l'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.

7.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne

A. Zone d'effet

Selon la méthodologie établie par l'INERIS dans le cadre du guide de l'étude de dangers des parcs éoliens, la chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pale ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée de risques pour représenter toutes les chutes d'éléments. Le risque de chute d'éléments est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un risque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale. Pour le parc éolien de Quinsac, la zone d'effet a donc un rayon de 75 m.



B. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Quinsac. ZI est la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R la longueur de pale et LB la largeur de la base de la pale.

Chute d'éléments de l'éolienne Dans un rayon inférieur ou égal à $D / 2$ = zone de survol (soit 75 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$ZI = R \cdot LB / 2$	$ZE = \pi \cdot R^2$	$ZI / ZE \cdot 100$	
95,63	17 064	0,56%	Exposition Modérée

FIGURE 71: Niveau d'intensité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

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

C. Gravité

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
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
« Important »	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
« Sérieux »	Aucune personne exposée	Au plus de 1 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées
« Modéré »	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

FIGURE 72: Niveaux de gravité pour le scénario chute d'éléments de l'éolienne

La détermination du nombre de personnes permanentes présentes dans chacune des zones d'effet se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de danger et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

La zone d'effet du phénomène est de 1,71 hectares et est principalement constituée de terrains non aménagés.



Éolienne	Type	Surface (ha)	Règle de calcul	Nombre de personnes permanentes	Nombre de personnes permanentes cumulées
EOL 1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,357	1 pers / 100ha	0,014	0,049
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,350	1 pers / 10ha	0,035	
EOL 2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,357	1 pers / 100ha	0,014	0,049
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,350	1 pers / 10ha	0,035	

FIGURE 73 : Évaluation du nombre de personnes exposées pour le scénario chute d'éléments de l'éolienne
Le nombre de personnes permanentes est de : inférieur à « une personne ».

La gravité associée est « Modérée ».

D. Probabilité

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit $4,47 \cdot 10^{-4}$ 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.

E. Acceptabilité

En croissant les données précédentes, on obtient les résultats suivants :

Chute d'éléments de l'éolienne Dans un rayon inférieur ou égal à $D / 2$ = zone de survol (soit 75 m)					
Gravité Traduit l'intensité et le nombre de personne exposées	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré			Eol 1 et 2		
* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute					

FIGURE 74 : Niveau de risque pour le scénario chute d'éléments de l'éolienne



Ainsi, pour le parc éolien de Quinsac, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.



FIGURE 75: Cartographie du risque de chute de glace et d'éléments de l'éolienne

7.2.4. Projection de pale ou de fragments de pale

A. Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures. L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité, car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne. L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

- 1 300 m rapportés pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- 1 000 m rapportés 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 et FR 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 m, en particulier les études [12], [13], [14] et [15].

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

B. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le parc éolien de Quinsac. ZI est la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R la longueur de pale et LB la largeur de la base de la pale.

Projection de pale ou de fragments de pale Zone de 500 m autour de chaque éolienne			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$ZI = R \cdot LB / 2$	$ZE = \pi \cdot 500^2$	$ZI / ZE \cdot 100$	
95,63	785 398	0,012%	Exposition Modérée

FIGURE 76: Niveau d'intensité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

C. Gravité

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

FIGURE 77: Niveaux de gravité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale



La détermination du nombre de personnes permanentes présentes dans chacune des zones d'effet se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

La zone d'effet du phénomène est de 78,54 hectares et est principalement constituée de terrains non aménagés.

Le nombre de personnes permanentes est de : Moins de 10 personnes.

La gravité associée est « Sérieuse ».

Éolienne	Type	Surface (ha)	Règle de calcul	Nombre de personnes permanentes	Nombre de personnes permanentes cumulées
EOL 1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,036	1 pers / 100ha	0,77	0,92
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,504	1 pers / 10ha	0,15	
EOL 2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,981	1 pers / 100ha	0,77	0,93
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,559	1 pers / 10ha	0,16	

FIGURE 78: Évaluation du nombre de personnes exposées pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

D. Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Évaluation des risques spécifiques du site pour un projet de parc éolien	$1 \cdot 10^{-6}$	Respect de l'Eurocode EN 1990 - Basis of structural design
Guide pour un zonage des éoliennes basé sur les risques	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1989-2001)
Spécification des distances minimales	$6,1 \cdot 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

FIGURE 79: Niveau de probabilité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

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

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

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



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

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement. Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur.

Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place :

- 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 vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations - un système adapté est installé en cas de risque cyclonique ;
- Utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.).

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

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

E. Acceptabilité

En croissant les données précédentes, on obtient les résultats suivants :

Projection de pale ou de fragments de pale Zone de 500 m autour de chaque éolienne					
Gravité Traduit l'intensité et le nombre de personne exposées	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Eol 1 et 2			
Modéré					
* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute					

FIGURE 80: Niveau de risque pour le scénario projection de pale ou de fragment de pale

Ainsi, pour le parc éolien de Quinsac, le phénomène de projection de pale des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.





FIGURE 81: Cartographie du risque de projection de pale ou de fragment de pale

7.2.5. Projection de morceaux de glace

A. Zone d'effet

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens. En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectile, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. Une référence [11] propose une distance d'effet en fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

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

Dans le cadre du projet éolien de Quinsac, cette distance d'effet est de 458 m de rayon.

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [16]. À défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour la projection de glace.

B. 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 1m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Quinsac. ZI est la zone d'impact, ZE la zone d'effet, D le diamètre du rotor, H la hauteur au moyeu et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace Dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \cdot (H+2R)$ autour de l'éolienne (soit 458 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI = SG	$ZE = \pi \cdot (1,5 \cdot (H+2R))^2$	$ZI / ZE \cdot 100$	
1	657 555	0,0002%	Exposition Modérée

FIGURE 82: Niveau d'intensité pour le scénario de projection de morceaux de glace

C. Gravité

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
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
« Important »	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
« Sérieux »	Aucune personne exposée	Au plus de 1 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées
« Modéré »	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

FIGURE 83: Niveaux de gravité pour le scénario de projection de morceaux de glace

La détermination du nombre de personnes permanentes présentes dans chacune des zones d'effet se base sur la friche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1. Il a été observé dans la littérature disponible [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale.

La zone d'effet du phénomène est de 65,75 hectares et est principalement constituée de terrains non aménagés.

Le nombre de personnes permanentes est de : « Moins de 10 personnes ».

La gravité associée est « Sérieuse ».



Éolienne	Type	Surface (ha)	Règle de calcul	Nombre de personnes permanentes	Nombre de personnes permanentes cumulées
EOL 1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	64,581	1 pers / 100ha	0,65	0,76
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,175	1 pers / 10ha	0,12	
EOL 2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	64,504	1 pers / 100ha	0,65	0,77
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,252	1 pers / 10ha	0,13	

FIGURE 84: Évaluation du nombre de personnes exposées pour le scénario de projection de morceaux de glace

D. Probabilité

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience sur cet événement et considérant les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 et le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace, une probabilité forfaitaire « B » : « S'est produit et / ou peut se produire pendant la durée de vie des installations. » est proposée pour cet événement.

E. Acceptabilité

En croissant les données précédentes, on obtient les résultats suivants :

Projection de morceaux de glace Dans un rayon de $R_{PG}=1,5*(H+2R)$ autour de l'éolienne (soit 458 m)					
Gravité Traduit l'intensité et le nombre de personne exposées	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux				Eol 1 et 2	
Modéré					

* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute

FIGURE 85: Niveau de risque pour le scénario projection de morceaux de glace

Ainsi, pour le parc éolien de Quinsac, le phénomène de projection de morceaux de glace constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.





FIGURE 86: Cartographie du risque de projection de morceaux de glace

7.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques

7.3.1. Tableaux de synthèses des scénarios étudiés

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Niveau de gravité	Niveau de risque
Effondrement de l'éolienne	Disques dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (230 m)	Rapide	Exposition Modérée	D	Modéré	Très faible
Chute de glace	Zone de survol des pales (75 m)	Rapide	Exposition Modérée	A	Modéré	Faible
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol des pales (75 m)	Rapide	Exposition Modérée	C	Modéré	Très faible

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Niveau de gravité	Niveau de risque
Projection de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition Modérée	D	Sérieux	Très faible
Projection de glace	Disque dont le rayon est égal à $1,5 \cdot (H+2R)$ (458 m)	Rapide	Exposition Modérée	B	Sérieux	Faible

FIGURE 87: Synthèse des scénarios étudiés

7.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

La légende suivante permettra d'apprécier l'acceptabilité des risques pour chacun des événements accidentels redoutés.

Récapitulatif					
Gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité (Sens croissant de E vers A)*				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection de pale		Projection de glace	
Modéré		Effondrement	Chute d'éléments		Chute de glace

* De la plus faible occurrence (probabilité) à la plus haute

FIGURE 88: Synthèse des acceptabilités

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- Certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que des fonctions de sécurité sont mises en place.



7.3.3. Synthèse cartographique des risques



FIGURE 89: Carte de synthèse des zonages dits à risques



Huitième partie

Conclusion

8. Conclusion

Après la description de l'installation et de son environnement, il ressort que les potentiels de danger d'un parc éolien sont relatifs :

à des causes externes :

- Présence d'ouvrage (voie de communications, réseaux) ;
- Risques naturels (vents violents, foudre, mouvements de terrain, tremblements de terre, inondations).

à des causes internes liées au fonctionnement des machines et aux produits utilisés :

- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipement, pale, etc.) ;
- Projection d'éléments (morceaux de pale, morceaux de glace, etc.) ;
- Échauffement de pièces mécaniques ;
- Courts-circuits électriques (arégénérateur ou poste de livraison).

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée, basée d'une part sur l'accidentologie permettant d'identifier les accidents les plus courants et basée d'autre part sur une identification des scénarios d'accidents.

Pour chaque scénario d'accident, l'étude a procédé à une analyse systématique des mesures de maîtrise des risques.

Cinq catégories de scénarios sont ressorties de l'analyse préliminaire et font l'objet d'une étude détaillée des risques :

- Effondrement de l'éolienne ;
- Chute d'éléments de l'éolienne ;
- Chute de glace ;
- Projection de glace ;
- Projection de toute ou une partie de pale.

Ces scénarios regroupent plusieurs causes et séquences d'accident. Une cotation en intensité, probabilité, gravité et cinétique de ces événements permet de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

Une recherche d'enjeux humains vulnérables a été réalisée dans chaque périmètre d'effet des cinq scénarios d'accident, permettant de repérer les interactions possibles entre les risques et les enjeux.

La cotation en gravité et probabilité pour chacune des éoliennes permet de classer le risque de chaque scénario selon la grille de criticité employée et inspirée de la circulaire du 10 mai 2010.

Après analyse détaillée des risques, selon la méthodologie de la circulaire du 10 mai 2010, il apparaît que tous les scénarios étudiés sont acceptables.



L'exploitant a mis en œuvre des mesures adaptées pour maîtriser les risques :

- L'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées ;
- L'exploitant respecte les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 et l'arrêté du 10 décembre 2021 ;
- Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs sont adaptés aux risques.

Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 4 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.

Le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques actuelles.







Neuvième partie

Annexes

9. Annexes

9.1. Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet se base 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 dans chacune des zones d'effet des phénomènes dangereux identifiés.

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, cette méthode permet tout d'abord, au stade de la description de l'environnement de l'installation, de comptabiliser les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation [18], zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces, etc.) situés dans l'aire d'étude détaillée des risques.

9.1.1. Terrains non bâtis

Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais, etc.) : compter 1 personne par tranche de 100 ha.

Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage, etc.) : compter 1 personne par tranche de 10 hectares.

Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport (sans gradin néanmoins, etc.) : compter la capacité du terrain et a minima 10 personnes à l'hectare.

9.1.2. Voies de circulation

Les voies de circulation n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes. En effet, les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicules / jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

A. Voies de circulation automobiles

Dans le cas général, on comptera 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour. Exemple : 20 000 véhicules/jour sur une zone de 500 m = $0,4 \times 0,5 \times 20\,000/100 = 40$ personnes.



Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic											
		Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Trafic (en véhicules/jour)	2000	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8
	3000	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12
	4000	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16
	5000	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	7500	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	10000	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	20000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	30000	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
	40000	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
	50000	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
	60000	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
	70000	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280
	80000	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320
	90000	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360
	100000	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400

FIGURE 90: Voies de circulation et méthode de comptage

B. Voies ferroviaires

Train de voyageurs : compter 1 train équivalent à 100 véhicules (soit 0,4 personne exposée en permanence par kilomètre et par train), en comptant le nombre réel de trains circulant quotidiennement sur la voie.

C. Voies navigables

Compter 0,1 personne permanente par kilomètre exposé et par péniche/jour.

D. Chemins et voies piétonnes

Les chemins et voies piétonnes ne sont pas à prendre en compte, sauf pour les chemins de randonnée, car les personnes les fréquentant sont généralement déjà comptées comme habitants ou salariés exposés.

Pour les chemins de promenade, de randonnée : compter 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

9.1.3. Logements

Pour les logements : compter la moyenne INSEE par logement (par défaut : 2,5 personnes), sauf si les données locales indiquent un autre chiffre.

9.1.4. Établissements recevant du public (ERP)

Compter les ERP (bâtiments d'enseignement, de service public, de soins, de loisir, religieux, grands centres commerciaux, etc.) en fonction de leur capacité d'accueil (au sens des catégories du Code de la construction et de l'habitation), le cas échéant sans compter leurs routes d'accès (cf. paragraphe sur les voies de circulation automobile).

Les commerces et ERP de catégorie 5 dont la capacité n'est pas définie peuvent être traités de la façon suivante :

- Compter 10 personnes par magasin de détail de proximité (boulangerie et autre alimentation, presse et coiffeur) ;
- Compter 15 personnes pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes et bureaux de poste.



Les chiffres précédents peuvent être remplacés par des chiffres issus du retour d'expérience local pour peu qu'ils restent représentatifs du maximum de personnes présentes et que la source du chiffre soit soigneusement justifiée.

Une distance d'éloignement de 500 m aux habitations est imposée par la loi. La présence d'habitations ou d'ERP se rencontrera peu en pratique.

9.1.5. Zones d'activités

Zones d'activités (industries et autres activités ne recevant pas habituellement de public) : prendre le nombre de salariés (ou le nombre maximal de personnes présentes simultanément dans le cas de travail en équipes), le cas échéant sans compter leurs routes d'accès.

9.2. Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI de la trame type de l'étude de dangers.



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0.5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête à la suite de la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours à la suite de la tempête)	-
Rupture de pale	2001	Salèles-Limousis	Aude	0.75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0.4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle - Sigean	Aude	0.66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Nébian - Grande Garrigue	Aude	0.85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	-
Rupture de pale	25/02/2002	Salèles-Limousis	Aude	0.75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Salèles-Limousis	Aude	0.75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel - Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0.75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage - Port de Dunkerque	Nord	0.3	996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0.3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1.5 et 2.5 m à 50 m, mât intact	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0.3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1.5 et 2.5 m à 50 m, mât intact	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escalles - Conilhac Montjoyer - Rochefort	Aude	0.75	2003	Non	Bris de trois pales	Information peu précise
Rupture de pale	22/12/2004	Wormhout	Drôme	0.75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	-
Rupture de pale	2005	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Nord	0.4	1997	Non	Bris de pale	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0.3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	-
Incendie	18/11/2006	Roquetallade	Aude	0.66	2001	Oui	Acte de malveillance : explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0.08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1.5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0.66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1.3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	-
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0.3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne, mais pas de bris de pale	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraft (Ile d'Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale	-

FIGURE 91: Tableaux de l'accidentologie française (1/5)



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardeche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port-la-Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballlement de deux éoliennes et incendie des nacelles	-
Maintenance	15/12/2010	Pouille-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau. Aucun blessé	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	-	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	-	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.	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widernhem	Pas-de-Calais	0,75	2000	-	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	-
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	-	-	-	Opération de maintenance dans la nacelle - un arc électrique (690V) blesse deux sous-traitants brouillés au visage et aux mains	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	-	-	-	Projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m due à l'impact de foudre sur l'éolienne	-
Chute de pale	18/05/2012	Fresnay l'Évêque	Eure-et-Loir	-	-	-	Chute d'une pale au pied d'une éolienne et rupture du roulement qui raccordait la pale au moyeu	-
Effondrement	30/05/2012	Port-la-Nouvelle	Aude	-	-	Non	Chute d'une éolienne liée à des rafales de vent de 130 km/h - Éolienne de 1991, mât treillis, 200 kW	-
Rupture de pale	01/11/2012	Viellesperse	Cantal	-	-	-	Projection d'un élément de la pale à 70 m du mât pour une éolienne de 2,5 MW	-
Incendie - Chute de pale	05/11/2012	Sigean	Aude	-	-	-	Feu sur une éolienne de 660 kW entraînant une chute de pale et enflammant 80 m² de garrigue environnante	-
Chute de pale	06/03/2013	Conihac-de-la-Montagne	Aude	-	-	-	Chute d'une pale liée à un problème de fixation entraînant un arrêt automatique de l'éolienne (détection d'échauffement + vitesse de rotation excessive)	-
Incendie - Chute de pale	17/03/2013	Euivy	Marne	-	-	-	Incendie dans une nacelle conduisant à la chute d'une pale et une fuite de 450 L d'huile en provenance du multiplicateur. L'origine du feu est liée à une défaillance électrique. Le feu a été maîtrisé en 1 heure.	-
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	-	-	-	Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. Ses voies respiratoires ont également été atteintes lors de l'accident.	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Perte d'huile	03/08/2013	Moreac	Morbihan	-	-	-	Perte de 270 L d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice intervenant sur une éolienne - pollution du sol sur 80 m²	-
Incendie	09/01/2014	Anthény	Ardennes	-	-	-	Feu dans une nacelle au niveau de la partie génératrice	-
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	-	-	-	Chute d'une pale au pied de l'éolienne suite à un défaut de vibration	-
Chute de pale	14/11/2014	Saint-Cirques-en-Montagne	Ardeche	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-
Chute de pale	05/12/2014	Fitou	Aude	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-

FIGURE 92: Tableaux de l'accidentologie française (2/5)



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	-	-	-	Feu d'éolienne et intervention des pompiers au premier étage de l'éolienne	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Incendie	08/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	-	-	-	Incendie accidentel dans une armoire électrique en cours de maintenance par deux techniciens. Ces derniers éteignent le feu avec deux extincteurs.	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loir	2,3	2007	-	Incendie au niveau du moteur de l'éolienne situé à 90 m de hauteur. La nacelle étant trop haute pour la grande échelle des pompiers, ces derniers décident de laisser brûler le foyer sous surveillance. Les chemins menant à l'éolienne sont interdits à la circulation.	-
Chute d'élément	10/11/2015	Mesnil-la-Horgne	Meuse	-	-	-	Chute du rotor	-
Chute d'élément de l'éolienne	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de l'aérogénéateur d'une pale	-
Chute de pale	08/02/2016	Dinéault	Finistère	-	-	-	Chute d'une pale et déchirement d'une autre lors d'une tempête	-
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	-	-	-	Chute d'une pale	-
Fuite d'huile	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loir	-	-	-	Défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne entraînant une fuite d'huile. Les agents de maintenance mettent en place des absorbants et l'écoulement est récupéré avant d'avoir atteint le sol.	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'huile)
Incendie	18/08/2016	Dargies	Osse	-	-	-	Défaillance électrique à l'origine de l'incendie au niveau de l'armoire électrique ou du pupitre de commande (point de départ)	-
Rupture de pale	27/02/2017	Néausa-Lavallée	Meuse	2	2011	Oui	Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne	Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale.
Rupture de pale	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres	-	-	-	Plusieurs fragments des 7 derniers mètres d'une pale projetés jusqu'à 150 m du mât dus à un défaut de fabrication	-
Incendie	08/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir	-	-	-	Combustion de la nacelle, du rotor, d'une partie des pales et du haut du mât avec chute d'éléments au sol ainsi que coulure d'hydrocarbures sur le mât	-
Chute de pale	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais	-	-	-	Chute d'une pale à la verticale au pied du mât et débris projetés dans un rayon de 20m	-
Chute d'élément de l'éolienne	17/07/2017	Fécamp	Seine Maritime	-	-	-	Chute de l'aérogénéateur d'une éolienne au pied du mât due au desserrage d'une vis anti-rotation (vibrations ou problème de montage à l'origine)	-
Chute d'élément de l'éolienne	08/11/2017	Roman	Eure	-	-	-	Chute du carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages	-
Effondrement	01/01/2018	Bouin	Vendée	-	-	-	Défaillances multiples des systèmes de pitchs de plusieurs pales ainsi que du frein rotor entraînant une survitesse et la chute de l'éolienne lors d'une tempête.	-
Rupture de pale	04/01/2018	Nixéville-Blercourt	Meuse	2	-	-	Rupture et chute au sol d'un morceau de 20 m de l'extrémité d'une pale. Débris retrouvés jusqu'à 200 m.	-
Chute d'élément de l'éolienne	06/02/2018	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de l'aérogénéateur d'une pale d'éolienne	-
Chute de pale	10/04/2018	Dic-et-Valquières	Hérault	1	2006	-	Chute d'une pale d'éolienne suite à un orage et des vents violents (enregistrés entre 120 et 150 km/h)	-
Incendie	01/06/2018	Marsanne	Drôme	-	-	-	Acte de malveillance : incendie criminel au pied de deux éoliennes. L'incendie d'une des éoliennes se propage jusqu'à la nacelle ainsi que la base des pales. Le second feu est confiné à la base de l'éolienne.	-
Incendie	05/06/2018	Aumelas	Hérault	2	2014	Oui	Incendie de la nacelle et au niveau du convertisseur	-
Chute d'élément de l'éolienne	04/07/2018	Port-la-Nouvelle	Aude	-	-	-	Extrémités de deux pales disloquées avec projection d'éléments à 150 m du mât	-
Incendie	03/08/2018	Izenave	Ain	-	-	-	Acte de malveillance probable : feu au niveau de la nacelle et chute de deux pales	-
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn	-	-	-	Acte de malveillance : déclaration d'un feu au niveau de la nacelle avec chute d'éléments au sol et propagation du feu sur 2,5 ha de la végétation voisine	-

FIGURE 93: Tableaux de l'accidentologie française (3/5)



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Perte d'huile	17/10/2018	Fiers-sur-Noye	Somme	-	-	-	Fuite d'huile hydraulique (environ 50 L) depuis la nacelle. Impact d'une zone de 2 000 m².	-
Effondrement	06/11/2018	Guigneville	Loiret	-	-	-	Chute d'une éolienne de 140 m en bout de pale due à la panne du système de freinage	-
Chute d'élément de l'éolienne	18/11/2018	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de 3 aérofins en extrémité des pales d'une éolienne avec projection de débris dans un rayon de 150 m	-
Rupture de pale	19/11/2018	Olezy	Aisne	-	-	-	Rupture d'une pale d'éolienne	-
Incendie	03/01/2019	La Limouzinière	Loire-Atlantique	-	-	-	Incendie au niveau du moteur d'une éolienne sans déformation de la structure, mais quelques débris de plastiques au sol	-
Rupture de pale	17/01/2019	Bambidestroff	Moselle	-	-	-	Chute de deux morceaux d'une pale d'éolienne dont l'un de 5 m et l'autre de 28 m qui est projeté à 100 m de l'éolienne.	-
Incendie	20/01/2019	Roussas	Drôme	-	-	-	Incendie criminel sur deux éoliennes d'un parc éolien	-
Effondrement	23/01/2019	Boutavent	Osse	-	-	-	Le mât de 68 m se plie en son milieu. Des débris sont projetés dans un rayon de 300 m.	-
Chute de pale	30/01/2019	Roquetaillade	Aude	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-
Fuite d'huile	23/03/2019	Argentonnay	Deux-Sèvres	-	-	-	Fuite d'huile depuis le multiplicateur au niveau de la nacelle d'une éolienne. La majorité de l'huile est contenue dans la partie basse de la nacelle.	-
Impact de foudre	02/04/2019	Equancourt	Somme	-	-	-	Un impact de foudre a endommagé le revêtement d'une pale sur 5 000 cm². La pale est déposée pour réparation.	-
Maintenance	15/04/2019	Chailly-sur-Ornain	Côte-d'Or	-	-	-	Electrisation d'un technicien entraînant de légères blessures et un transport à l'hôpital.	-
Incendie	18/06/2019	Ouenoy-sur-Airaines	Somme	2,3	-	-	Incendie suite à un court-circuit sur un condensateur.	-
Incendie - Chute d'élément de l'éolienne	25/06/2019	Ambon	Morbihan	-	-	-	Incendie accidentel de la nacelle d'une éolienne provoquant la chute de celle-ci en partie	-
Chute d'élément de l'éolienne	27/06/2019	Charly-sur-Marne	Aisne	2	2009	-	Projection de deux morceaux d'une pale abîmée, l'un à 15 m et l'autre à 100 m.	-
Impact de foudre	03/07/2019	Corbières-Maritimes	Aude	0,66	2000	-	Impact de foudre sur le milieu de la pale et ouverture du bout de pale sur 2 m.	-
Chute d'élément de l'éolienne	04/09/2019	Escalles-Cornilliac	Aude	0,75	2003	-	Arrêt d'urgence brutal d'une éolienne, sans cause identifiée, entraînant la chute de 2 aérofins.	-
Chute d'élément de l'éolienne	28/11/2019	Hargest-en-Santerre	Somme	-	-	-	Le capot se situant à l'extrémité de la nacelle d'une éolienne s'est décroché et est tombé au sol.	-
Perte de contrôle	08/12/2019	Avelanges	Côte-d'Or	2,5	-	-	Au cours de la préparation à la mise en service de l'éolienne, mise en mouvement non contrôlée du rotor, due à une erreur de positionnement des angles des pales la veille de l'accident. Evacuation en urgence d'une équipe d'installation en cours de déquettage sur l'éolienne.	-
Rupture de pale	09/12/2019	Montjean-Thiel-Rabier	Charente	2	2016	Oui	Une pale s'est brisée, projetant des débris au sol. Les riverains ont entendu un bruit probablement dû au déséquilibre de la pale dans ses dernières rotations, puis un bang qui pourrait être associé au bris de la pale.	-
Incendie	16/12/2019	Poinville	Eure-et-Loir	2,3	2005	-	Combustion sans flamme des gaines protectrices des câbles de puissance sur 10 m de long.	-
Incendie	17/12/2019	Mont Gimont	Haute-Marne	2	2010	-	Incendie en partie basse d'une éolienne dont l'origine serait liée à une défaillance électrique.	-
Chute d'élément de l'éolienne	22/01/2020	Pays de Saint-Saïne	Côte-d'Or	2	-	Oui	Chute d'un joint de pale d'une éolienne. L'événement est causé par une défaillance du collier de serrage sous dimensionné par rapport aux contraintes dans le temps.	-
Rupture de pale	09/02/2020	Beausvoir	Aisne	2	2009	-	Rupture d'une pale lors de la tempête Clara. Des débris de pales en fibre de verre sont projetés dans les champs jusqu'à plusieurs centaines de mètres en raison des vents importants au moment de la rupture.	-
Endommagement d'élément	09/02/2020	Wancourt	Pas-de-Calais	2	2010	-	Domages visibles au niveau de l'aile de la nacelle d'une éolienne suite au passage de la tempête Clara.	-
Rupture de pale	26/02/2020	Montjean-Thiel-Rabier	Charente	2	2016	Oui	Une pale d'éolienne se rompt. L'hypothèse de rupture est liée à un défaut interne de la pale. Une pale d'une autre éolienne s'est brisée sur le même site 2 mois auparavant, provoquant l'arrêt du parc.	-

FIGURE 94: Tableaux de l'accidentologie française (4/5)



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	29/02/2020	Boisbergues	Somme	2	-	Oui	Pendant près d'un mois (ARIA 54810). Le contrôle visuel réalisé à la suite de cet événement sur l'ensemble du parc n'avait rien révélé sur la pale impliquée.	
Incendie	24/03/2020	La Bouleste	Aveyron	2	-	Oui	Vers 13h25, un feu se déclare au niveau du moteur d'une éolienne. L'incendie est probablement dû à une fuite d'huile.	
Chute d'élément de l'éolienne	30/04/2020	Plouarzel	Finistère	0,66	-	Non	Un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne.	
Chute d'élément de l'éolienne	27/06/2020	La Ferrière	Côtes d'Armor	2,5	2015	Oui	Une pale de 20 m de long d'une des 5 éoliennes d'un parc éolien présente une pilure. Le système de surveillance de l'éolienne n'a pas détecté les chocs de la pale sur le mât, ni de déséquilibre dans la rotation des pales. L'exploitant confirme que l'éolienne, âgée de 20 ans, n'est pas dotée de dispositif de balourd.	
Incendie	01/08/2020	Issanlas	Ardèche	-	-	-	Chute d'une pale de 50 m de long. La rupture d'adhérence est survenue de manière prématurée à la suite de l'accumulation de phénomènes de charge : vents violents, rafales, turbulences, changement de mode de production dû au bridage acoustique	-
Rupture de pale	12/01/2021	Vignes	Indre	-	-	-	Dégagement de fumée au niveau de la nacelle de l'éolienne résultant de l'échauffement des pièces de protection de la génératrice de l'éolienne. Défaut du détecteur de fumée.	-
Rupture de pale	12/02/2021	Osière	Aisne	-	-	-	Une pale d'éolienne s'est arrachée de son rotor et est tombée dans le champ.	-
Rupture de pale	13/02/2021	Vallée des Gommiers	Loiret	-	-	-	Casse d'une pale d'éolienne due à un défaut de réparation au niveau du bord de fuite.	-
Rupture de pale	02/04/2022	Lauragais	Haute-Garonne	-	2008	-	Arrachement de fibres de verre sur le bord de fuite de l'une des pales d'une éolienne. Des éléments d'une pale d'une des éoliennes se sont décomposés. Certains sont tombés au sol tandis que d'autres sont restés suspendus au-dessus du vide.	-

FIGURE 95: Tableaux de l'accidentologie française (5/5)



9.3. Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

Cette partie apporte un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarios étudiés par le groupe de travail technique dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques.

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques, présenté dans une partie précédente, peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de dangers.

La numérotation des scénarios ci-dessous reprend celle utilisée dans le tableau de l'analyse préliminaire des risques, avec un regroupement des scénarios par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience par le groupe de travail précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

9.3.1. Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)

A. Scénario G01

En cas de formation de glace, les systèmes de prévention intégrés stopperont le rotor. La chute de ces éléments interviendra donc dans l'aire surplombée par le rotor, le déport induit par le vent étant négligeable.

Plusieurs procédures/systèmes permettront de détecter la formation de glace :

- Système de détection de glace ;
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor ;
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

B. Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement simultanément à une défaillance des systèmes de détection de givre et de balourd. Aux faibles vitesses de vent (vitesse de démarrage ou « cut in »), les projections resteront limitées au surplomb de l'éolienne. À vitesse de rotation nominale, les éventuelles projections seront susceptibles d'atteindre des distances supérieures au surplomb de la machine.

9.3.2. Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)

Les éventuels incendies interviendront dans le cas où plusieurs conditions seraient réunies (Ex : Foudre + défaillance du système parafoudre = Incendie).

Le moyen de prévention des incendies consiste en un contrôle périodique des installations.

Dans l'analyse préliminaire des risques, seulement quelques exemples vous sont fournis. La méthodologie suivante pourra aider à déterminer l'ensemble des scénarios devant être regardés :



- Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;
- Déterminer à l'aide de mots-clés les différentes causes (cause 1, cause 2) d'incendie possibles.

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballement du rotor (survitesse). Plusieurs moyens sont mis en place en matière de prévention :

- Concernant le défaut de conception et fabrication : Contrôle qualité ;
- Concernant le non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant, Contrôle qualité (inspections) ;
- Concernant les causes externes dues à l'environnement : Mise en place de solutions techniques visant à réduire l'impact. Suivant les constructeurs, certains dispositifs sont de série ou en option. Le choix des options est effectué par l'exploitant en fonction des caractéristiques du site.

L'emballement peut notamment intervenir lors de pertes d'utilité. Ces pertes d'utilités peuvent être la conséquence de deux phénomènes :

- Perte de réseau électrique : l'alimentation électrique de l'installation est nécessaire pour assurer le fonctionnement des éoliennes (orientation, appareils de mesures et de contrôle, balisage, ...) ;
- Perte de communication : le système de communication entre le parc éolien et le superviseur à distance du parc peut être interrompu pendant une certaine durée.

Concernant la perte du réseau électrique, celle-ci peut être la conséquence d'un défaut sur le réseau d'alimentation du parc éolien au niveau du poste source. En fonction de leurs caractéristiques techniques, le comportement des éoliennes face à une perte d'utilité peut être différent (fonction du constructeur). Cependant, deux systèmes sont couramment rencontrés :

- Déclenchement au niveau du rotor du code de freinage d'urgence, entraînant l'arrêt des éoliennes ;
- Basculement automatique de l'alimentation principale sur l'alimentation de secours (batteries) pour arrêter les aérogénérateurs et assurer la communication vers le superviseur.

Concernant la perte de communication entre le parc éolien et le superviseur à distance, celle-ci n'entraîne pas d'action particulière en cas de perte de la communication pendant une courte durée.

En revanche, en cas de perte de communication pendant une longue durée, le superviseur du parc éolien concerné dispose de plusieurs alternatives, dont deux principales :

- Mise en place d'un réseau de communication alternatif temporaire (faisceau hertzien, agent technique local...) ;
- Mise en place d'un système autonome d'arrêt à distance du parc par le superviseur.

Les solutions aux pertes d'utilités étant diverses, les porteurs de projets pourront apporter dans leur étude de danger une description des protocoles qui seront mis en place en cas de pertes d'utilités.



9.3.3. Scénarios relatifs aux risques de fuite (F01 à F02)

Les fuites éventuelles interviendront en cas d'erreur humaine ou de défaillance matérielle.

Une attention particulière est à porter aux mesures préventives des parcs présents dans des zones protégées au niveau environnemental, notamment en cas de présence de périmètres de protection de captages d'eau potable (identifiés comme enjeux dans le descriptif de l'environnement de l'installation). Dans ce dernier cas, un hydrogéologue agréé devra se prononcer sur les mesures à prendre en compte pour préserver la ressource en eau, tant au niveau de l'étude d'impact que de l'étude de danger. Plusieurs mesures pourront être mises en place (photographie du fond de fouille des fondations pour montrer que la nappe phréatique n'a pas été atteinte, comblement des failles karstiques par des billes d'argile, utilisation de graisses végétales pour les engins, ...).

A. Scénario F01

En cas de rupture de flexible ou de perçage d'un contenant, il peut y avoir une fuite d'huile ou de graisse alors que l'éolienne est en fonctionnement. Les produits peuvent alors s'écouler hors de la nacelle, couler le long du mât et s'infiltrer dans le sol environnant l'éolienne.

Plusieurs procédures/actions permettront d'empêcher l'écoulement de ces produits dangereux :

- Vérification des niveaux d'huile lors des opérations de maintenance ;
- Détection des fuites potentielles par les opérateurs lors des maintenances ;
- Procédure de gestion des situations d'urgence.

Deux événements peuvent être aggravants :

- Écoulement de ces produits le long des pales de l'éolienne, surtout si celle-ci est en fonctionnement. Les produits seront alors projetés aux alentours ;
- Présence d'une forte pluie qui dispersa rapidement les produits dans le sol.

B. Scénario F02

Lors d'une maintenance, les opérateurs peuvent accidentellement renverser un bidon d'huile, une bouteille de solvant, un sac de graisse ... Ces produits dangereux pour l'environnement peuvent s'échapper de l'éolienne ou être renversés hors de cette dernière et infiltrer les sols environnants.

Plusieurs procédures/actions permettront d'empêcher le renversement et l'écoulement de ces produits :

- Kits anti-pollution associés à une procédure de gestion des situations d'urgence ;
- Sensibilisation des opérateurs aux bons gestes d'utilisation des produits.

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

Événement aggravant : fortes pluies qui disperseront rapidement les produits dans le sol.

9.3.4. Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)

Les scénarios de chutes concernent les éléments d'assemblage des aérogénérateurs : ces chutes sont déclenchées par la dégradation d'éléments (corrosion, fissures, ...) ou des défauts de maintenance (erreur humaine).



Les chutes sont limitées à un périmètre correspondant à l'aire de survol.

9.3.5. Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)

Les événements principaux susceptibles de conduire à la rupture totale ou partielle de la pale sont liés à 3 types de facteurs pouvant intervenir indépendamment ou conjointement :

- Défaut de conception et de fabrication ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance ;
- Causes externes dues à l'environnement : glace, tempête, foudre, etc.

Si la rupture totale ou partielle de la pale intervient lorsque l'éolienne est à l'arrêt, on considère que la zone d'effet sera limitée au surplomb de l'éolienne.

L'emballlement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballlement peut notamment être provoqué par la perte d'utilité.

A. Scénario P01

En cas de défaillance du système d'arrêt automatique de l'éolienne en cas de survitesse, les contraintes importantes exercées sur la pale (vent trop fort) pourraient engendrer la casse de la pale et sa projection.

B. Scénario P02

Les contraintes exercées sur les pales - contraintes mécaniques (vents violents, variation de la répartition de la masse due à la formation de givre...), conditions climatiques (averses violentes de grêle, foudre...) - peuvent entraîner la dégradation de l'état de surface et à terme l'apparition de fissures sur la pale.

Prévention : Maintenance préventive (inspections régulières des pales, réparations si nécessaire).

Facteur aggravant : Infiltration d'eau et formation de glace dans une fissure, vents violents, emballlement de l'éolienne.

C. Scénario P03

Un mauvais serrage de base ou le desserrage avec le temps des goujons des pales pourrait amener au décrochage total ou partiel de la pale, dans le cas de pales en plusieurs tronçons.

9.3.6. Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)

Les événements pouvant conduire à l'effondrement de l'éolienne sont liés à 3 types de facteurs pouvant intervenir indépendamment ou conjointement :

- Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant
- Causes externes dues à l'environnement : séisme, etc.



9.4. Probabilité d'atteinte et risque individuel

Le risque individuel encouru par un nouvel arrivant dans la zone d'effet d'un phénomène de projection ou de chute est appréhendé en utilisant la probabilité de l'atteinte par l'élément chutant ou projeté de la zone fréquentée par le nouvel arrivant. Cette probabilité est appelée probabilité d'accident.

Cette probabilité d'accident est le produit de plusieurs probabilités :

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

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

$P_{\text{orientation}}$ = 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

Par souci de simplification, la probabilité d'accident sera calculée en multipliant la borne supérieure de la classe de probabilité de l'événement redouté central par le degré d'exposition.

Celui-ci est défini comme le ratio entre la surface de l'objet chutant ou projeté et la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous récapitule les probabilités d'atteinte en fonction de l'événement redouté central.

Evènement redouté central	Borne supérieure de la classe de probabilité de l'ERC (pour les éoliennes récentes)	Degré d'exposition	Probabilité d'atteinte
Effondrement	10-4	10-2	10-6 (E)
Chute de glace	1	5* 10-2	5*10-2 (A)
Chute d'éléments	10-3	1,8* 10-2	1,8*10-5 (D)
Projection de tout ou partie de pale	10-4	10-2	10-6 (E)
Projection de morceaux de glace	10-2	1,8* 10-6	1,8*10-8 (E)

FIGURE 96: Récapitulatif des probabilités d'atteinte

Les seuls ERC pour lesquels la probabilité d'atteinte n'est pas de classe E sont ceux qui concernent les phénomènes de chutes de glace ou d'éléments dont la zone d'effet est limitée à la zone de survol des pales et où des panneaux sont mis en place pour alerter le public de ces risques.

De plus, les zones de survol sont comprises dans l'emprise des baux signés par l'exploitant avec le propriétaire du terrain ou, à défaut, dans l'emprise des autorisations de survol si la zone de survol s'étend sur plusieurs parcelles. La zone de survol ne peut donc pas faire l'objet de constructions nouvelles pendant l'exploitation de l'éolienne.



9.5. Glossaire

Les définitions ci-dessous sont reprises de la circulaire du 10 mai 2010. Ces définitions sont couramment utilisées dans le domaine de l'évaluation des risques en France.

Accident : Événement non désiré, tel qu'une émission de substance toxique, un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement qui entraîne des conséquences / dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement et de l'entreprise en général. C'est la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence d'enjeux vulnérables exposés aux effets de ce phénomène.

Aérogénérateur : Dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Cinétique : Vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables (cf. art. 5 à 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005). Dans le tableau APR proposé, la cinétique peut être lente ou rapide. Dans le cas d'une cinétique lente, les enjeux ont le temps d'être mis à l'abri. La cinétique est rapide dans le cas contraire.

Danger : Cette notion définit une propriété intrinsèque à une substance (butane, chlore, ect.), à un système technique (mise sous pression d'un gaz), à une disposition (élévation d'une charge), à un organisme (microbes), etc., de nature à entraîner un dommage sur un « élément vulnérable » (sont ainsi rattachées à la notion de « danger » les notions d'inflammabilité ou d'explosivité, de toxicité, de caractère infectieux, etc. inhérentes à un produit et celle d'énergie disponible [pneumatique ou potentielle] qui caractérisent le danger).

Efficacité (pour une mesure de maîtrise des risques) ou capacité de réalisation : Capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. En général, cette efficacité s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie. Ce pourcentage peut varier pendant la durée de sollicitation de la mesure de maîtrise des risques. Cette efficacité est évaluée par rapport aux principes de dimensionnement adapté et de résistance aux contraintes spécifiques.

Événement initiateur : Événement, courant ou anormal, interne ou externe au système, situé en amont de l'événement redouté central dans l'enchaînement causal et qui constitue une cause directe dans les cas simples ou une combinaison d'événements à l'origine de cette cause directe.

Événement redouté central : Événement conventionnellement défini, dans le cadre d'une analyse de risque, au centre de l'enchaînement accidentel. Généralement, il s'agit d'une perte de confinement pour les fluides et d'une perte d'intégrité physique pour les solides. Les événements situés en amont sont conventionnellement appelés « phase préaccidentelle » et les événements situés en aval « phase post-accidentelle ».

Fonction de sécurité : Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir d'éléments techniques de sécurité, de procédures organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux.



Gravité : On distingue l'intensité des effets d'un phénomène dangereux de la gravité des conséquences découlant de l'exposition d'enjeux de vulnérabilité donnés à ces effets. La gravité des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes, prises parmi les intérêts visés à l'article L. 511-1 du Code de l'environnement, résulte de la combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des enjeux potentiellement exposés.

Indépendance d'une mesure de maîtrise des risques : Faculté d'une mesure, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres mesures de maîtrise des risques, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.

Intensité des effets d'un phénomène dangereux : Mesure physique de l'intensité du phénomène (thermique, toxique, surpression, projections). Parfois appelée gravité potentielle du phénomène dangereux (mais cette expression est source d'erreur). Les échelles d'évaluation de l'intensité se réfèrent à des seuils d'effets moyens conventionnels sur des types d'éléments vulnérables [ou enjeux] tels que « homme », « structures ». Elles sont définies, pour les installations classées, dans l'arrêté du 29/09/2005. L'intensité ne tient pas compte de l'existence ou non d'enjeux exposés. Elle est cartographiée sous la forme de zones d'effets pour les différents seuils.

Mesure de maîtrise des risques (ou barrière de sécurité) : Ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On distingue parfois :

- les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux ;
- les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux ;
- les mesures (ou barrières) de protection : mesures visant à limiter les conséquences sur les enjeux potentiels par diminution de la vulnérabilité.

Phénomène dangereux : Libération d'énergie ou de substance produisant des effets, au sens de l'arrêté du 29 septembre 2005, susceptibles d'infliger un dommage à des enjeux (ou éléments vulnérables) vivants ou matériels, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « source potentielle de dommages ».

Potentiel de danger (ou « source de danger », ou « élément dangereux », ou « élément porteur de danger ») : Système (naturel ou créé par l'homme) ou disposition adoptée et comportant un (ou plusieurs) « danger(s) » ; dans le domaine des risques technologiques, un « potentiel de danger » correspond à un ensemble technique nécessaire au fonctionnement du processus envisagé.

Prévention : Mesures visant à prévenir un risque en réduisant la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux.

Protection : Mesures visant à limiter l'étendue ou/et la gravité des conséquences d'un accident sur les éléments vulnérables, sans modifier la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux correspondant.

Probabilité d'occurrence : Au sens de l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, la probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée. Elle est en général différente de la fréquence historique et peut s'écarter, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires.



Attention aux confusions possibles :

- 1. Assimilation entre probabilité d'un accident et celle du phénomène dangereux correspondant, la première intégrant déjà la probabilité conditionnelle d'exposition des enjeux. L'assimilation sous-entend que les enjeux sont effectivement exposés, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;
- 2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

Réduction du risque : Actions entreprises en vue de diminuer la probabilité, les conséquences négatives (ou dommages) associés à un risque, ou les deux. [FD ISO/CEI Guide 73]. Cela peut être fait par le biais de chacune des trois composantes du risque, la probabilité, l'intensité et la vulnérabilité :

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité : par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc ;
- réduction des dangers : la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation.
- La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source » ;
- Réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

Risque : « Combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences » (ISO/CEI 73), « Combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité » (ISO/ CEI 51).

Scénario d'accident (majeur) : Enchaînement d'événements conduisant d'un événement initiateur à un accident (majeur), dont la séquence et les liens logiques découlent de l'analyse de risque. En général, plusieurs scénarios peuvent mener à un même phénomène dangereux pouvant conduire à un accident (majeur) : on dénombre autant de scénarios qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant. Les scénarios d'accident obtenus dépendent du choix des méthodes d'analyse de risque utilisées et des éléments disponibles.

Temps de réponse (pour une mesure de maîtrise des risques) : Intervalle de temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la mission/fonction de sécurité. Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser.

Les définitions suivantes sont issues de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

Survitesse : Vitesse de rotation des parties tournantes (rotor constitué du moyeu et des pales ainsi que la ligne d'arbre jusqu'à la génératrice) supérieure à la valeur maximale indiquée par le constructeur.



Enfin, quelques sigles utiles employés dans le présent guide sont listés et explicités ci-dessous :

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Énergies Renouvelables

FEE / FR : France Énergie Eolienne : France Renouvelables depuis l'année 2023

INERIS : Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS

EDD : Étude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Établissement Recevant du Public



9.5.1. Bibliographie

- [1] Arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique.
- [2] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.
- [3] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 Juillet 2003.
- [4] Géorisques : <https://www.georisques.gouv.fr/>.
- [5] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006.
- [6] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteutrois J.-P. - juillet 2004.
- [7] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum.
- [8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005.
- [9] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011.
- [10] Alpine test site Gütisch: monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin *et al.*
- [11] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000.
- [12] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24.
- [13] 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.
- [14] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieursgesellschaft, 2004.
- [15] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006.
- [16] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003.
- [17] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005.
- [18] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne.



www.alterric-france.fr

