

- Des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 septembre 2005.

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

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

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

Avec :

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

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

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

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

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

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

Le parc éolien de la Foye sera composé de 3 aérogénérateurs et de 2 postes de livraison. Tous les aérogénérateurs ont **une hauteur au moyeu de 111,5 m** ainsi qu'un **diamètre de rotor de 150 m maximum**, soit **une hauteur totale maximale en bout de pale de 180 m**.

Le modèle de machine définitif n'a pas encore été arrêté, ERG DÉVELOPPEMENT FRANCE se laissant le choix, au dernier moment, de définir le modèle qui convient le mieux. Dans tous les cas, la machine, d'une puissance unitaire maximale de 5,6 MW, sera conforme aux dispositions de la norme NF EN 61400-1. La puissance totale du parc éolien sera donc de **16,8 MW**.

L'analyse détaillée des risques se base donc sur les dimensions maximisantes des éoliennes, présentées au Paragraphe IV. 1. 1 Caractéristiques générales d'un parc éolien en page 27. Cela permet de connaître les risques les plus importants avec les dimensions les plus grandes d'un aérogénérateur. Avec des dimensions moins importantes, les risques sont équivalents ou inférieurs à ceux présentés ci-après.

VIII. 2. Caractérisation des scénarios retenus

VIII. 2. 1. Effondrement d'une éolienne

VIII. 2. 1. 1. Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une **surface circulaire** de rayon égal à la **hauteur totale de l'éolienne en bout de pale**, soit **180 m maximum** dans le cas des éoliennes du parc éolien de la Foye.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6] ; cf. *Annexe 7*). 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.

VIII. 2. 1. 2. 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 projet de parc éolien de la Foye.

Les données utilisées sont les suivantes :

R	=	longueur de pale	=	74 m
H	=	hauteur du mât	=	109
Hm	=	hauteur de moyeu	=	111,5 m
L	=	largeur de la base du mât	=	10 m
LB	=	largeur de la base de la pale	=	3,28 m

Tableau 38 : Intensité du scénario « Effondrement de l'éolienne »

Effondrement d'une éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale : 180 m)			
Zone d'impact Z_i (m ²)	Zone d'effet (Z_E) du phénomène étudié (m ²)	Degré d'exposition (d) du phénomène étudié (%)	Intensité
$Z_i = H \times L + 3 \times R \times LB/2$ La zone d'impact est de 1494 m ² .	$Z_E = \pi \times (H + R)^2$ La zone d'effet est de 109 272 m ²	$d = Z_i / Z_E$ $d = 1,36\%$	Exposition importante

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

VIII. 2. 1. 3. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (cf. *paragraphe VIII. 1. 3*), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées : « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées : « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées : « Important »

- Au plus 10 personnes exposées : « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » : « Modéré »

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

Tableau 39 : Gravité du scénario « Effondrement de l'éolienne »

Effondrement d'une éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale : 180 m)			
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Total (personnes permanentes)	Gravité
E1	0,099 (terrains non aménagés)	0,13	Modérée
	0,03 (terrains aménagés peu fréquentés)		
E2	0,098 (terrains non aménagés)	0,14	Modérée
	0,04 (terrains aménagés peu fréquentés)		
E3	0,1 (terrains non aménagés)	0,68	Modérée
	0,02 (terrains aménagés peu fréquentés)		
	0,56 (chemin de randonnée)		

Pour rappel, la méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en Annexe 3. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

VIII. 2. 1. 4. Probabilité

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

Tableau 40 : Valeurs de la littérature pour la probabilité d'effondrement d'une éolienne

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	4,5 x 10 ⁻⁴	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	1,8 x 10 ⁻⁴ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

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

A fin 2011, le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience, soit une probabilité de 4,47 x 10⁻⁴ par éolienne et par an.

A fin 2019, il a été recensé 3 effondrements pour des éoliennes de plus de 1 MW soit un total de 10 événements depuis 2000. Cela correspond ainsi à 56 256 années d'expérience, soit une probabilité de 1,8 x 10⁻⁴ par éolienne et par an soit de fois moins qu'en 2011.

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C », à savoir : « Évènement 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 61400-1 ;
- Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages ;
- Système de détection des survitesses et un système redondant de freinage ;
- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations (un système adapté est installé en cas de risque cyclonique).

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 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 ».

VIII. 2. 1. 5. Acceptabilité

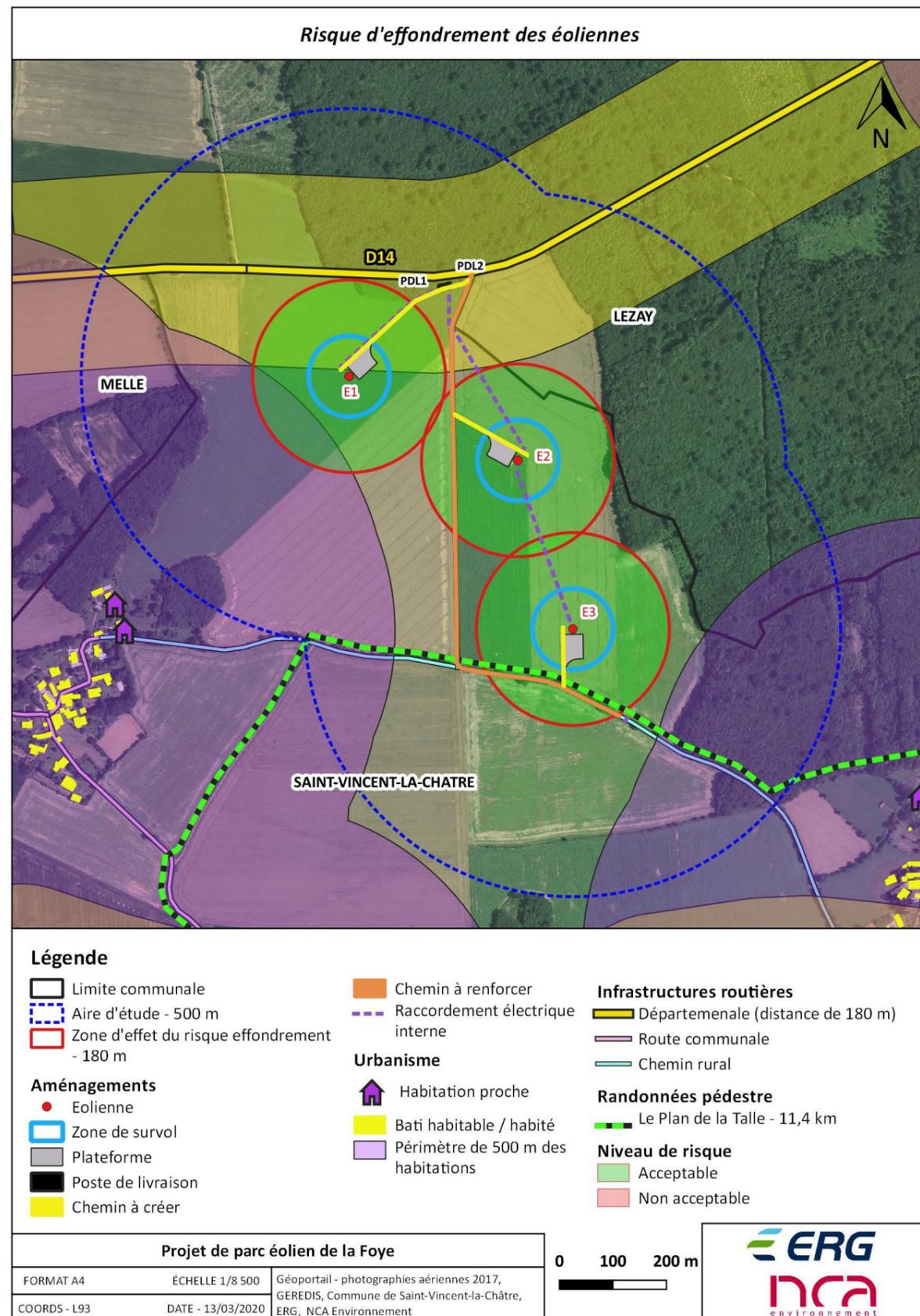
Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées de technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on peut conclure à l'acceptabilité du phénomène d'effondrement si moins de 10 personnes sont exposées.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet de parc éolien de La Foye, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 41 : Acceptabilité du scénario « Effondrement de l'éolienne »

Effondrement d'une éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale : 180 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Le phénomène d'effondrement d'éoliennes du projet de parc éolien de La Foye constitue un risque acceptable pour les personnes.



VIII. 2. 2. Chute de glace

VIII. 2. 2. 1. Considérations générales

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

Selon l'étude WECO [15], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes 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, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l'éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

La température annuelle moyenne sur le secteur de Niort (79) est de 12,5°C. On compte plus de 39 jours de gel en moyenne par an (5,2 avec une température inférieure à -5°C).

VIII. 2. 2. 2. Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit près d'un disque de **rayon égal à un demi-diamètre de rotor** autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de La Foye, **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.

VIII. 2. 2. 3. 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 projet de parc éolien de La Foye.

Comme précédemment, Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R correspond au demi-diamètre du rotor ($R= 75\text{ m}$) et SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG= 1\text{ m}^2$).

Tableau 42 : Intensité du scénario « Chute de glace »

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à un demi-diamètre de rotor en bout de pale : $D/2= 75\text{ m}$)			
Zone d'impact Z_I (m^2)	Zone d'effet (Z_E) du phénomène étudié (m^2)	Degré d'exposition (d) du phénomène étudié (%)	Intensité
$Z_I = SG$ La zone d'impact est de 1 m^2 .	$Z_E = \pi \times R^2$ La zone d'effet est de $17\ 671\text{ m}^2$.	$d = Z_I / Z_E$ $d = 0,0057\%$	Exposition modérée

L'intensité du phénomène de chute de glace est nulle au-delà de la zone de survol.

VIII. 2. 2. 4. **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (cf. *paragraphe VIII. 1. 3*), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 1 000 personnes exposées : « Désastreux »
- Entre 100 et 1 000 personnes exposées : « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées : « Important »
- Moins de 10 personnes exposées : « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à une personne : « Modéré »

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

Tableau 43 : Gravité du scénario « Chute de glace »

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à un demi-diamètre de rotor en bout de pale : D/2= 75 m)			
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Total (personnes permanentes)	Gravité
E1	0,02 (terrains non aménagés)	0,04	Modérée
	0,02 (terrains aménagés peu fréquentés)		
E2	0,02 (terrains non aménagés)	0,04	Modérée
	0,02 (terrains aménagés peu fréquentés)		
E3	0,02 (terrains non aménagés)	0,04	Modérée
	0,02 (terrains aménagés peu fréquentés)		

VIII. 2. 2. 5. **Probabilité**

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

VIII. 2. 2. 6. **Acceptabilité**

Avec une classe de probabilité A, le risque de chute de glace pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'une gravité « modérée » qui correspond pour cet événement à un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 1.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet de parc éolien de La Foye, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 44 : Acceptabilité du scénario « Chute de glace »

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à un demi-diamètre de rotor en bout de pale : D/2= 75 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Le phénomène de chute de glace d'une éolienne du parc éolien de La Foye constitue un risque acceptable pour les personnes.

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation modifiée par l'arrêté du 22 juin 2020, 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.