

VIII. 2. 3. Chute d'élément d'une éolienne

VIII. 2. 3. 1. Zone d'effet

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un **disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor (75 m)**.

VIII. 2. 3. 2. Intensité

Pour le phénomène de chute d'élément, 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'élément d'une éolienne dans le cas du parc éolien de La Foye.

Comme précédemment, d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_e la zone d'effet R correspond au demi-diamètre du rotor ($R=75\text{ m}$) et LB la largeur de la base de la pale ($LB=3,28\text{ m}$).

Tableau 45 : Intensité du scénario « Chute d'éléments »

Chute d'élément d'une éolienne (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
$Z_i = R \times LB/2$	$Z_e = \pi \times (R)^2$	$d = Z_i / Z_e$	Exposition modérée
La zone d'impact est de 123 m^2 .	La zone d'effet est de $17\,955\text{ m}^2$.	$d = 0,69\%$	

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

VIII. 2. 3. 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 de chute d'élément, dans la zone de survol d'une éolienne :

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

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

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

Tableau 46 : Gravité du scénario « Chute d'élément »

Chute d'élément d'une éolienne (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. 3. 4. Probabilité

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4,47 x 10⁻⁴ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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'évènement.

VIII. 2. 3. 5. Acceptabilité

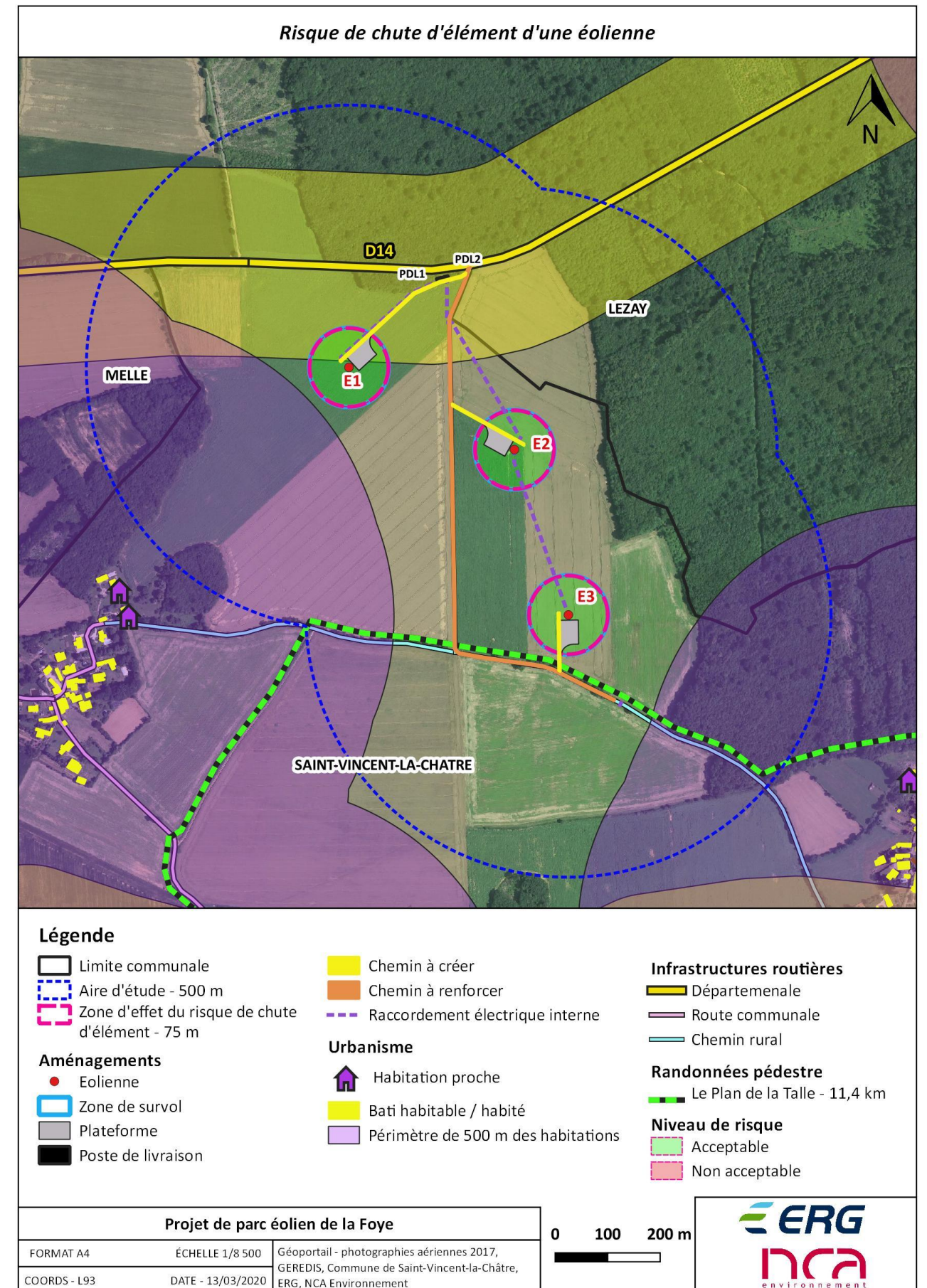
Avec une classe de probabilité C, le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 10 dans la zone d'effet.

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

Tableau 47 : Acceptabilité du scénario « Chute d'élément »

Chute d'élément d'une éolienne (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 d'élément d'une éolienne du projet de parc éolien de La Foye constitue un risque acceptable pour les personnes.



VIII. 2. 4. Projection de pale ou de fragments de pale

VIII. 2. 4. 1. Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en Annexe 4, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 m par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures. L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité, car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [3] (cf. Annexe 5).

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 m, en particulier les études [5] et [6] (cf. Annexe 7).

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.

VIII. 2. 4. 2. Intensité

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

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

Comme précédemment, d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_e la zone d'effet, R la longueur de la pale (R = 74 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 3,28 m).

Tableau 48 : Intensité du scénario « Projection de pale ou de fragments de pale »

Projection de pale ou de fragments de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
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 = R x LB/2	Z _e = π x 500 ²	d = Z _i / Z _e	Exposition modérée
La zone d'impact est de 121,35 m ² .	La zone d'effet est de 785 398 m ² .	d = 0,02%	

VIII. 2. 4. 3. Gravité

En fonction de cette intensité, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de chaque 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 projection et la gravité associée :

Tableau 49 : Gravité du scénario « Projection de pale ou de fragments de pale »

Projection de pale ou de fragments de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Total (personnes permanentes)	Gravité
E1	0,77 (terrains non aménagés)	0,92	Modérée
	0,15 (terrains aménagés peu fréquentés)		
E2	0,77(terrains non aménagés)	0,94	Modérée
	0,17 (terrains aménagés peu fréquentés)		
E3	0,77 (terrains non aménagés)	2,87	Sérieuse
	0,1 (terrains aménagés peu fréquentés)		
	2 (terrains aménagés peu fréquentés)		

VIII. 2. 4. 4. Probabilité

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

Tableau 50 : Valeurs de la littérature pour la probabilité de rupture de tout ou partie de pale

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment for a wind farm project [4]	1 x 10 ⁻⁶	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	1,1 x 10 ⁻³	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	6,1 x 10 ⁻⁴	Recherche internet des accidents entre 1996 et 2003

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C » (12 événements pour 15 667 années d'expérience, soit 7,66 x 10⁻⁴ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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'évènement.

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

- Les dispositions de la norme IEC 61400-1 ;
- Les dispositions des normes IEC 61400-24 et EN 62305-3 relatives à la foudre ;
- Système de détection des survitesses et un système redondant de freinage ;
- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations (un système adapté est installé en cas de risque cyclonique) ;
- Utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.).

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 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 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 ».

VIII. 2. 4. 5. Acceptabilité

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

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 51 : Acceptabilité du scénario « Projection de pale ou de fragments de pale »

Projection de pale ou de fragments de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Sérieuse	Acceptable

Le phénomène de projection de tout ou partie de pale d'une éolienne du parc éolien de La Foye constitue un risque acceptable pour les personnes.

