

Eléments



Rapport

Etude des risques du projet éolien sur un oléoduc

Site de la ferme des 4 chemins

Vanault-le-Châtel et Saint-Jean-sur-Moivre (51)



Rapport n°121668/version A – Février 2023

Projet suivi par Antonin ROLLAND



06.19.19.65.12 – antonin.rolland@anteagroup.fr

Fiche signalétique

Etude des risques du projet éolien sur un oléoduc
Site de la ferme des 4 chemins
Vanault-le-Château et Saint-Jean-sur-Moivre (51)

CLIENT	SITE
Eléments	Eléments
5 rue Anatole France 34000 Montpellier	Ferme des 4 chemins Vanault-le-Château et Saint-Jean-sur-Moivre (51)
Timothy KRUGER Chef de projets Tel : 06 29 19 46 33 timothy.kruger@elements.green	Timothy KRUGER Chef de projets Tel : 06 29 19 46 33 timothy.kruger@elements.green

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	CONSORTI Nicolas
Interlocuteur commercial	CONSORTI Nicolas
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation d'Aubagne 04.42.08.70.70 secretariat.marseille@anteagroup.fr
Rapport n°	121668
Version n°	Version A
Votre commande et date	Bon pour accord en date du 10 janvier 2023
Projet n°	CARP 220134

Rôle	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	ROLLAND Antonin	Ingénieur de projets	30 janvier 2023	
Approbation	Franck MALMASSON	Directeur de projet	06 février 2023	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
0	06 février 2023	40	0	Version provisoire pour relecture
A				Version finale

Sommaire

1.	Contexte et objet du rapport	6
2.	Présentation du projet de parc éolien.....	7
2.1.	Généralités	7
2.2.	Localisation du projet.....	8
2.3.	Eoliennes du projet	9
3.	Dangers liés à l'implantation du parc éolien	10
3.1.	Phénomènes dangereux génériques d'un parc éolien et phénomènes dangereux retenus dans le cadre de l'étude	10
3.2.	Mesures de prévention prévues par le porteur de projet	11
4.	Modélisation des phénomènes dangereux	12
4.1.	Hypothèses et modèles de modélisation	12
4.1.1.	PhD1/PhD5 : Projection de pale et de glace	12
4.1.2.	PhD2 : Effondrement de l'éolienne.....	15
4.1.3.	PhD3 : Chute d'éléments de l'éolienne.....	15
4.1.4.	PhD4 : Chute de glace	15
4.1.5.	Etude vibratoire	16
4.2.	Résultats des modélisations et calculs.....	17
4.2.1.	Effets de projection et de chute.....	17
4.2.2.	Effets des vibrations.....	25
4.3.	Evaluation de la probabilité d'atteinte de l'oléoduc.....	28
4.3.1.	Echelle de probabilité	28
4.3.2.	Méthodologie du calcul de la probabilité	28
4.3.3.	Calcul de la probabilité des phénomènes dangereux retenus	34
5.	Conclusion	38

Table des figures

Figure 1 : Schéma d'une éolienne	7
Figure 2 : Localisation du projet et de l'oléoduc	8
Figure 3 : Schéma de l'éolienne du projet.....	9
Figure 4 : Distances d'effets de projection de l'extrémité d'une pale	18
Figure 5 : Distances d'effets de projection d'un quart d'une pale.....	19
Figure 6 : Distances d'effets de projection d'une pale entière	20
Figure 7 : Distances d'effets de l'effondrement de l'éolienne	21
Figure 8 : Distances d'effets de chute d'éléments de l'éolienne ou de chute de glace.....	22
Figure 9 : Distances d'effets de projection de glace	23
Figure 10 : Distances jusqu'à laquelle un risque de vibration sur l'oléoduc est possible	26
Figure 11 : Rose des vents de la zone du projet (1998-2017)	30
Figure 12 : Illustration de la démarche de calcul de la probabilité	31

Table des tableaux

Tableau 1 : Distance éoliennes/oléoduc	8
Tableau 2 : Données d'entrées nécessaires à l'étude balistique	15
Tableau 3 : Résultats des modélisations - projection.....	17
Tableau 4 : Résultats des calculs - vibrations.....	25
Tableau 5 : Echelle de probabilité retenue pour l'analyse détaillée des risques.....	28
Tableau 6 : Répartition des vents de la zone du projet.....	30
Tableau 7 : Exemple de calcul de probabilité pour un angle d'étude.....	34
Tableau 8 : Résultats des calculs de probabilités pour le PhD1a – éolienne E1	35
Tableau 9 : Résultats des calculs de probabilités pour le PhD1a – éolienne E2	35
Tableau 10 : Résultats des calculs de probabilités pour le PhD1a – éolienne E3	36
Tableau 11 : Probabilité pour le PhD1b	36
Tableau 12 : Résultats des calculs de probabilités pour le PhD2	37

1. Contexte et objet du rapport

La société Eléments, en partenariat avec Noria, développe un projet de 3 éoliennes sur une zone d'étude située autour de la ferme des 4 chemins entre les communes de Vanault-le-Châtel et St-Jean-sur-Moivre, dans la Marne (51).

Cette zone d'étude est située à proximité d'un oléoduc souterrain. Conformément aux prescriptions du gestionnaire de l'oléoduc, aucune éolienne n'est implantée de manière à ce que la distance entre l'oléoduc et l'éolienne soit inférieure à 2 fois la hauteur totale des éoliennes. La distance du projet par rapport à l'oléoduc est ici comprise entre 2 et 4 hauteurs d'éolienne. Dans ce contexte, le gestionnaire de l'oléoduc impose à ce qu'une étude spécifique soit réalisée pour montrer que le risque du projet éolien est acceptable.

L'objet de ce rapport est d'évaluer les différents accidents pouvant avoir lieu au niveau du parc éolien projeté et de vérifier ses impacts sur l'oléoduc voisin. Une évaluation des distances d'effets et de la probabilité de ces accidents sera réalisée.

2. Présentation du projet de parc éolien

2.1. Généralités

Une éolienne transforme l'énergie cinétique du vent en énergie électrique par une génératrice selon 3 étapes :

- Transformation de l'énergie par les pales mettant en mouvement le rotor ;
- Production d'électricité par le générateur ;
- Traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur avant d'être injectée dans le réseau.

Les éoliennes peuvent être connectées au réseau électrique ou fournir de l'énergie à des sites isolés.

Une éolienne se compose de 3 éléments principaux :

- Le rotor qui est composé de trois pales réunies au niveau du moyeu ;
- Le mât ;
- La nacelle qui abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - le générateur qui transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - le système de freinage mécanique ;
 - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
 - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

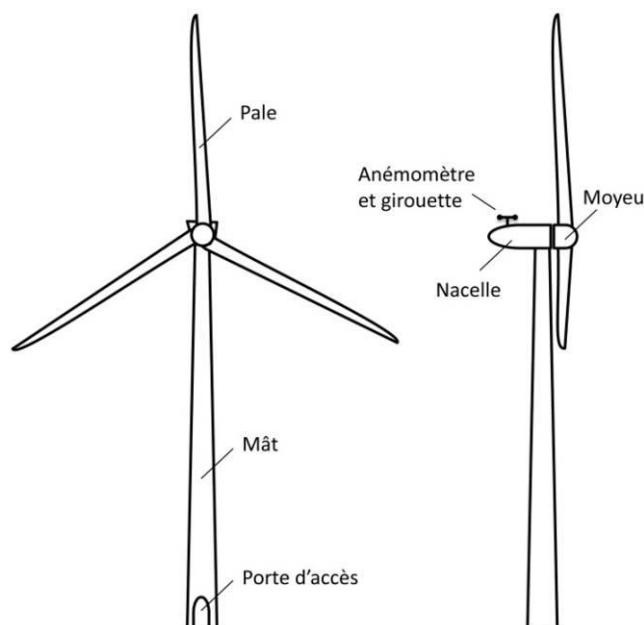


Figure 1 : Schéma d'une éolienne

2.2. Localisation du projet

Le projet de parc éolien prévoit l'implantation de 3 éoliennes sur les communes de Vanault-le-Château et St-Jean-sur-Moivre (51).

La localisation du projet avec le positionnement de l'oléoduc (tracé en rouge) sont présentés sur la figure ci-dessous.

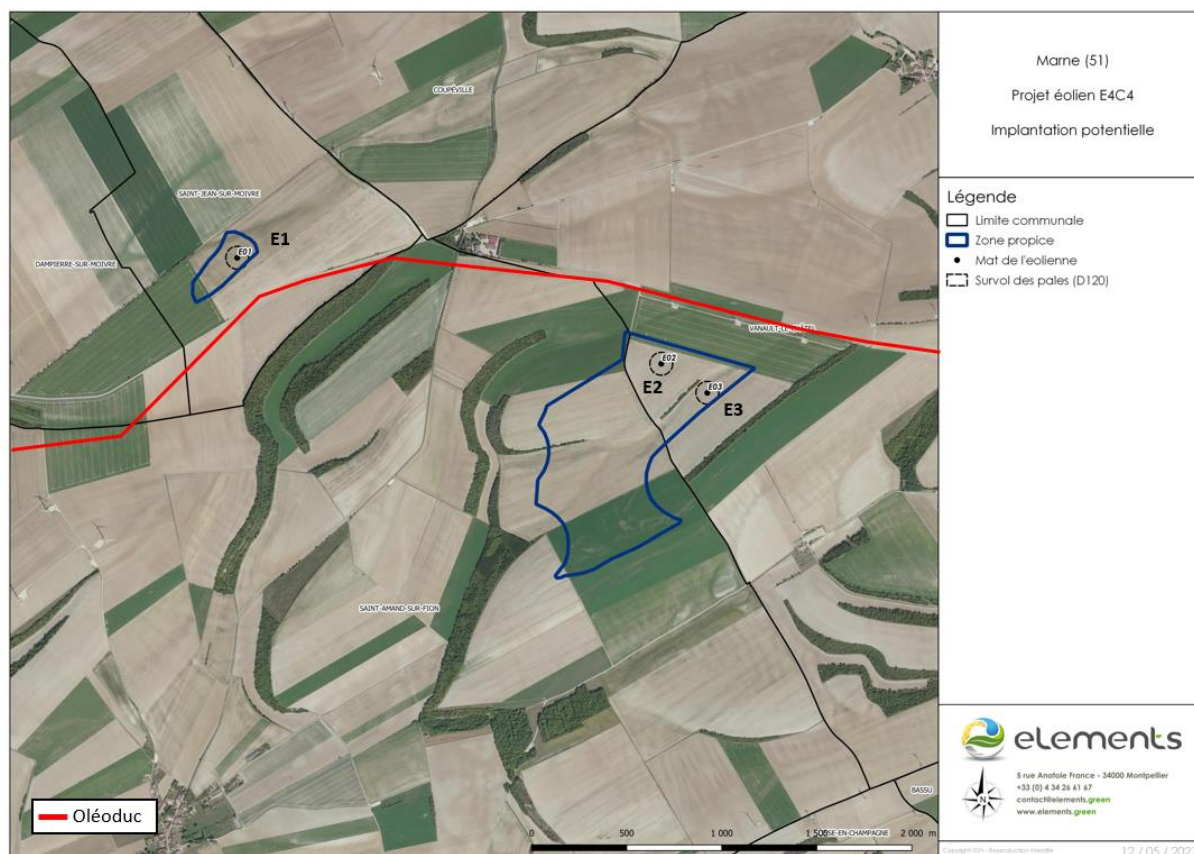


Figure 2 : Localisation du projet et de l'oléoduc

Plan Eléments

Les distances d'éloignement de chaque éolienne du parc éolien projeté vis-à-vis de l'oléoduc souterrain sont reprises dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Distance éoliennes/oléoduc

Eolienne	Hauteur totale en bout de pale	Distance à l'oléoduc par rapport au centre de l'éolienne	Ratio par rapport à la hauteur des éoliennes en bout de pale
E1	150 m	315 m	2,10
E2	150 m	355 m	2,36
E3	150 m	445 m	2,96

La distance éolienne/oléoduc souterrain est bien comprise entre 2 et 4 hauteurs d'éolienne.

2.3. Eoliennes du projet

Les éoliennes étudiées dans le cadre du projet sont des éoliennes terrestres à axe horizontal d'une puissance nominale de 3,6 MW relevant de la classe IEC II.

Il s'agit d'éoliennes de la marque NORDEX commercialisées sous le nom de de N117/3600.

Les caractéristiques principales de ce type d'éoliennes sont détaillées dans le tableau et la figure ci-dessous

Hauteur totale (H)	150 m
Hauteur du mât au moyeu (M)	91 m
Diamètre du rotor (D)	116 m
Longueur de pale (P)	58 m
Diamètre moyen du mât (d)	4,3 m
Largeur à la base de la pale (B)	3,5 m
Longueur du moyeu (hm)	1 m
Nombre de pales	3
Poids d'une pale	11,7 t
Poids de la nacelle	51 t
Poids du mât	185 t
Poids total de l'éolienne	320 t

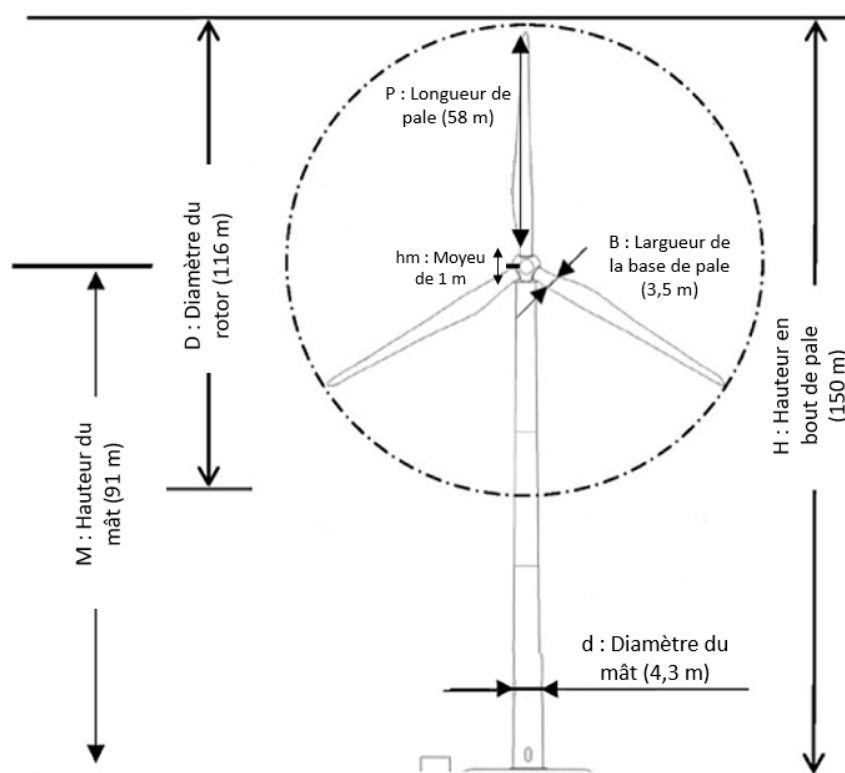


Figure 3 : Schéma de l'éolienne du projet

3. Dangers liés à l'implantation du parc éolien

3.1. Phénomènes dangereux génériques d'un parc éolien et phénomènes dangereux retenus dans le cadre de l'étude

Un guide technique de l'INERIS de mai 2012 indique la démarche à suivre pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens.

Ce guide déroule les différentes étapes de l'étude et synthétise les risques et dangers liés à des installations d'éoliennes.

Suite à une analyse des accidents ayant eu lieu en France et à l'étranger et suite à une analyse de risque, ce guide technique retient 5 phénomènes dangereux pouvant avoir lieu sur ce type d'installation :

- PhD1 : Projection de tout ou une partie de pale ;
- PhD2 : Effondrement de l'éolienne ;
- PhD3 : Chute d'éléments de l'éolienne ;
- PhD4 : Chute de glace ;
- PhD5 : Projection de glace.

Ce guide technique donne des distances d'effets forfaitaires pour ces 5 phénomènes dangereux.

Or ici, le projet est situé à une distance d'un oléoduc comprise entre 2 et 4 hauteurs d'éolienne.

Une analyse plus fine est donc menée. Certaines distances forfaitaires présentée dans le guide seront revues et des phénomènes dangereux seront approfondis.

Les phénomènes dangereux revus sont les suivants :

- PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale ;
- PhD1b : Projection d'un quart d'une pale ;
- PhD1c : Projection d'une pale entière ;
- PhD5 : Projection de glace.

De plus, une étude vibratoire sera réalisée. En effet, la projection ou la chute d'éléments lourd pourrait entraîner un ébranlement du sol et un risque d'altération de l'oléoduc.

3.2. Mesures de prévention prévues par le porteur de projet

Des mesures de prévention sont mises en place pour éviter l'occurrence de ces accidents :

- Eoliennes certifié IEC :

Cette certification fixe des prescriptions relatives à la sécurité de la structure de l'éolienne, de ses parties mécaniques et électriques et de son système de commande. Ces prescriptions concernent la conception, la fabrication, l'installation et la maintenance de la machine.

La norme définit les "classes" d'éoliennes, fonction des vents qu'une machine est en mesure de supporter. Les différentes classes sont les suivantes :

- classe I : 50 m/s ;
- classe II : 42,5 m/s ;
- classe III : 37,5 m/s.

Ici les éoliennes sont de classe II. Elles résistent donc à des vents supérieurs à 153 km/h.

- Dispositifs de surveillance et de sécurité des installations :

Les éoliennes seront équipées de différents dispositifs de surveillance, de contrôle et de sécurité afin de pouvoir stopper le fonctionnement de l'éolienne en toute sécurité suite à la détection de dysfonctionnements.

- Procédures pour les fondations des éoliennes :

Des études géotechniques seront réalisées afin de valider le dimensionnement des fondations de chaque éolienne (sondages carottés à une profondeur supérieure à celle des fondations, essais pressiométriques, essais en laboratoire, ...)

A partir des résultats géotechniques et des données des constructeurs, un bureau d'études technique définira les caractéristiques des fondations. Les résultats seront ensuite validés par le constructeur d'éoliennes puis par un organisme de contrôle agréé.

Durant la phase de travaux, une société externe vérifiera que la réalisation des fondations se fait d'une manière conforme aux plans d'exécution validés par l'organisme de contrôle.

Notons que les travaux d'enfouissement des câbles électriques tiendront compte de la présence de l'oléoduc de façon à ne générer aucun risque pour l'ouvrage.

4. Modélisation des phénomènes dangereux

4.1. Hypothèses et modèles de modélisation

4.1.1. PhD1/PhD5 : Projection de pale et de glace

Pour les projections de pale, d'après le guide technique de l'INERIS, une distance d'effet forfaitaire de 500 mètres est considérée comme distance raisonnable pour la prise en compte des projections de pales ou de fragments de pales.

Pour les projections de glace, d'après le guide technique de l'INERIS une distance d'effet égale à 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor) est prise en compte.

Cette valeur est jugée conservatrice 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. Dans tous les cas ce phénomène est difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens.

Cependant ces distances forfaitaires et globales ne sont pas suffisamment précises dans le cadre de cette étude. **Une étude balistique spécifique sera donc réalisée.** Les hypothèses prises en compte sont présentées ci-dessous :

- La trajectoire décrite par le projectile est caractérisée à partir de l'équation fondamentale du mouvement appliquée à la balistique (équations classiques de la balistique). La trajectoire du projectile est assimilée à celle de son centre de gravité ;
- La vitesse initiale du projectile est calculée à partir de la vitesse de rotation de l'éolienne au moment de la rupture et de la position du centre de gravité du projectile (partie qui se détache) sur la pale ;
- Pour la prise en compte des effets de frottements (résistance de l'air qui s'oppose au mouvement) sur le projectile, il est retenu les hypothèses suivantes :
 - un coefficient de traînée est pris égal à 1 pour le projectile perpendiculaire au sens de l'écoulement (entre dans la déviation),
 - l'effet de portance aérodynamique est négligé (le projectile n'ayant pas de trajectoire stable au cours de sa chute),
 - la dérive aérodynamique due à la portance est négligée ;
- Le modèle utilisé est celui retenu dans le cadre d'évaluation des effets suite à des explosions d'équipements (bacs, silos, etc.) entraînant la projection d'éléments. Ces équations ont servi de base et ont été intégrées par la suite dans une application interne. Cette application permet de faire varier les données et les hypothèses d'entrée pour aboutir aux estimations des distances des faits, des durées et des vitesses de projection et les graphiques correspondent à la trajectoire de projection d'éléments ;
- La trajectoire des projectiles est décrite selon un plan OXZ ; la direction selon Y n'est pas considérée ;

- Les équations différentielles du mouvement du projectile selon les directions X et Z sont ainsi :

$$\frac{dV_x}{dt} = -\frac{\rho_{air} \cdot S \cdot C_D}{2 \cdot m} \cdot V_x \cdot \sqrt{V_x^2 + V_z^2}$$

$$\frac{dV_z}{dt} = -\frac{\rho_{air} \cdot S \cdot C_D}{2 \cdot m} \cdot V_z \cdot \sqrt{V_x^2 + V_z^2} - m \cdot g$$

Avec :

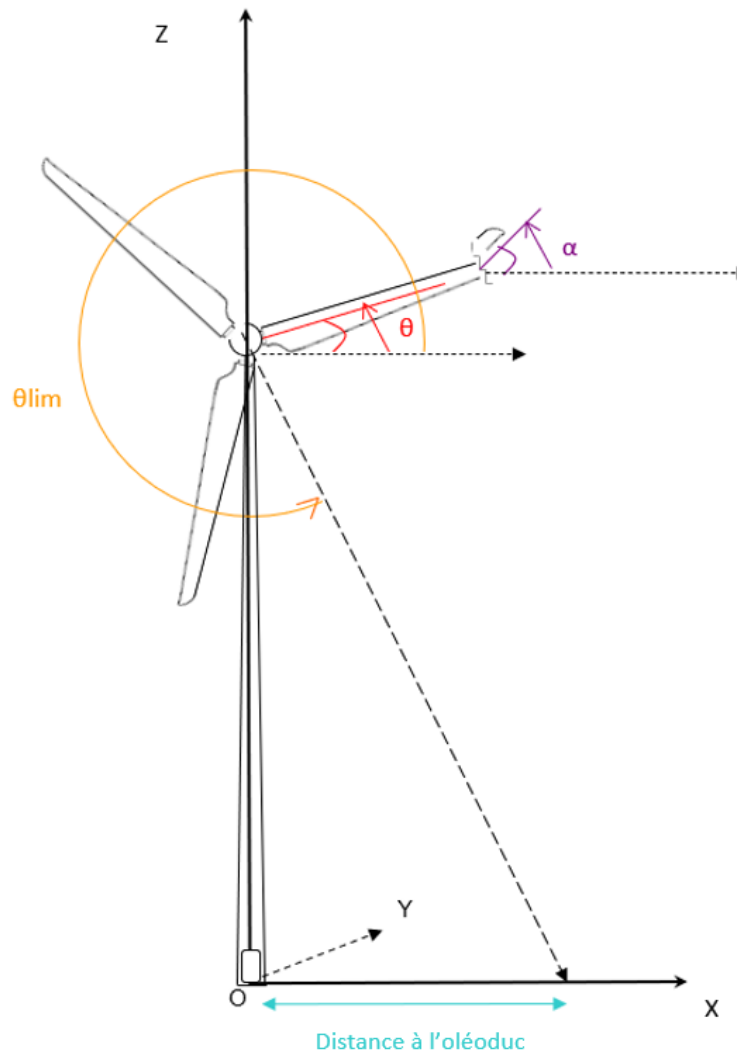
- V_x : Vitesse selon l'axe OX (m/s)
- V_z : Vitesse selon l'axe OZ (m/s)
- m : masse du projectile (kg),
- ρ_{air} : masse volumique de l'air (kg/m³)
- C_D : coefficient de traînée du projectile (-)
- S : surface de la face projectile perpendiculaire à la trajectoire (m²).

- Ces équations différentielles du mouvement selon les directions X et Z sont résolues numériquement par la méthode de Runge-Kutta classique d'ordre quatre (RK4).
- Les calculs de projection d'éléments d'éoliennes ont été réalisés en prenant en compte 3 types de projectiles sur la base du retour d'expérience et des points de moindre résistance dus au mode d'assemblage de l'éolienne :
 - la pale entière (bien que peu fréquent),
 - un quart d'extrémité de pale,
 - une extrémité de pale de faible dimension ;
- La position du centre de gravité de ces 3 types de projectiles est la suivante :
 - pour la pale entière : 25 % de la longueur de la pale,
 - pour le quart d'extrémité de pale : 40 % de la longueur du fragment,
 - pour l'extrémité de pale de faible dimension : 50 % de la longueur du fragment ;
- Les calculs de projection de la plaque de givre ont été réalisés en prenant les hypothèses suivantes :
 - masse : 1 kg,
 - vitesse de projection et coefficient de traînée et maître-couple identiques à celles de l'extrémité de pale ;
- Le pas de temps pour le calcul de la projection (Δt) est de 0,01 s (à chaque pas de temps, un calcul de la trajectoire est réalisé) ;
- L'effet de rebond (et la dispersion des débris dans toutes les directions) n'a pas été intégré au calcul ;
- Le projectile est considéré comme un objet au niveau duquel toutes les forces agissent au niveau de son centre de gravité (position estimée de façon à être représentative des données de conception) ;
- La vitesse du vent n'est pas prise en compte.

- La trajectoire du projectile et les distances maximales seront calculées en faisant varier :
 - l'angle θ dont les limites sont :
 - lorsque la pale est à la verticale ($\theta = 90^\circ$),
 - lorsque le prolongement de l'axe de la pale atteint la limite du site ($\theta = \theta_{lim}$) ;
 - l'angle de projection α entre 0 et 90° et entre 270° et 360° pour chaque position de pale ;

Note : tous les angles sont exprimés entre l'horizontale et la position donnée, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Le schéma des données d'entrée est présenté ci-après :



Les données d'entrées nécessaires à ces modélisations balistiques sont les suivantes.

Les données en **noir** sont celle issues du constructeur.

Les données en **bleu** sont issues du retour d'expérience d'Antea Group et prises comme hypothèses.

Tableau 2 : Données d'entrées nécessaires à l'étude balistique

Données d'entrées	Marque NORDEX N117/3600			
Vitesse nominale de rotation	18 rpm (rotations par minute) Soit 1,89 rad/s			
Vitesse maximale (provoquant normalement le déclenchement d'arrêt par survitesse)	18 rpm (rotations par minute) Soit 1,89 rad/s			
Vitesse lors du freinage mécanique (Vitesse nominale x 1,25)	22,5 rpm (rotations par minute) Soit 2,36 rad/s			
Hauteur du mât	91 m			
	Pale entière	¼ pale extrême	Extrémité pale	Plaque de glace
Masse du projectile	11 700 kg	700 kg	58 kg	5 kg
Longueur du projectile	58 m = Longueur pale	14,5 m = Longueur pale / 4	2 m	2 m
Surface de maître-couple du projectile retenu dans l'axe de la trajectoire (dans le plan parallèle à la trajectoire)	3,7 m ²	0,63 m ²	0,14 m ²	0,14 m ²
Position du centre de gravité du projectile	Positionné à 14,5 m de la base de la pale	Positionné à 38,2 m de la base de la pale	Positionné à 57 m de la base de la pale	Positionné à 57 m de la base de la pale

4.1.2. PhD2 : Effondrement de l'éolienne

D'après le guide technique de l'INERIS, 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.

4.1.3. PhD3 : Chute d'éléments de l'éolienne

D'après le guide technique de l'INERIS, la chute d'éléments 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.

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.

4.1.4. PhD4 : Chute de glace

D'après le guide technique de l'INERIS, 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.

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

4.1.5. Etude vibratoire

La projection de pale ou de morceaux de pales, la projection d'un bloc de glace ou l'effondrement d'une éolienne ou d'un mât de mesure de vents pourrait entraîner un ébranlement du sol et un risque d'altération de l'oléoduc.

Cet ébranlement est quantifié par une valeur caractéristique de ce genre de perturbation, **la vitesse particulière du sol**. Le choc produit par la projection de l'objet produira une vibration dans le sol qui sera induite jusqu'à l'oléoduc. La vitesse particulière décrit la vitesse d'une particule dans le sol lors de ces oscillations autour de sa position d'origine.

La vitesse particulière peut être estimée à l'aide du modèle de Mayne, défini par la formule suivante :

$$V_p = 70 \cdot \left(\frac{\sqrt{m \cdot h}}{d} \right)^{1,4}$$

m : masse de l'objet en chute (en tonnes)

h : hauteur de l'objet en chute (en mètres)

d : distance entre le point d'impact au sol et le point de calcul de l'ébranlement (en m)

4.2. Résultats des modélisations et calculs

4.2.1. Effets de projection et de chute

4.2.1.1. Résultats des modélisations

Les résultats des modélisations pour les phénomènes dangereux PhD1 et PhD5 et les résultats issus du guide technique de l'INERIS pour les phénomènes dangereux PhD2, PhD3 et PhD4 sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Résultats des modélisations - projection

N°	Phénomène dangereux	Cas particulier	Distance d'effets	Commentaires
PhD1a	Projection de l'extrémité d'une pale	A la vitesse nominale	675 m	Angle α de l'étude balistique : 33 °
		En cas de freinage mécanique	809 m	Angle α de l'étude balistique : 33 °
PhD1b	Projection d'un quart d'une pale	A la vitesse nominale	554 m	Angle α de l'étude balistique : 37 °
		En cas de freinage mécanique	738 m	Angle α de l'étude balistique : 38 °
PhD1c	Projection d'une pale entière	A la vitesse nominale	154 m	Angle α de l'étude balistique : 28 °
		En cas de freinage mécanique	202 m	Angle α de l'étude balistique : 31 °
PhD2	Effondrement de l'éolienne	/	150 m	Distance égale à la hauteur en bout de pale
PhD3	Chute d'éléments de l'éolienne	/	58 m	Distance égale au demi-diamètre de rotor
PhD4	Chute de glace	/	58 m	Distance égale au demi-diamètre de rotor
PhD5	Projection de glace	A la vitesse nominale	199 m	Angle α de l'étude balistique : 12 °
		En cas de freinage mécanique	212 m	Angle α de l'étude balistique : 12 °

D'après les calculs balistiques et ceux issues du guide technique de l'INERIS, les distances maximales atteintes pour les différents projectiles sont de :

- PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale : 809 m ;
- PhD1b : Projection d'un quart d'une pale : 738 m ;
- PhD1c : Projection d'une pale entière : 202 m ;
- PhD2 : Effondrement de l'éolienne : 150 m ;
- PhD3 : Chute d'éléments de l'éolienne : 58 m ;
- PhD4 : Chute de glace : 58 m ;
- PhD5 : Projection de glace : 212 m.

4.2.1.2. Cartographies des zones d'effets de projection et de chute

Ces distances sont reportées sur les plans suivants.

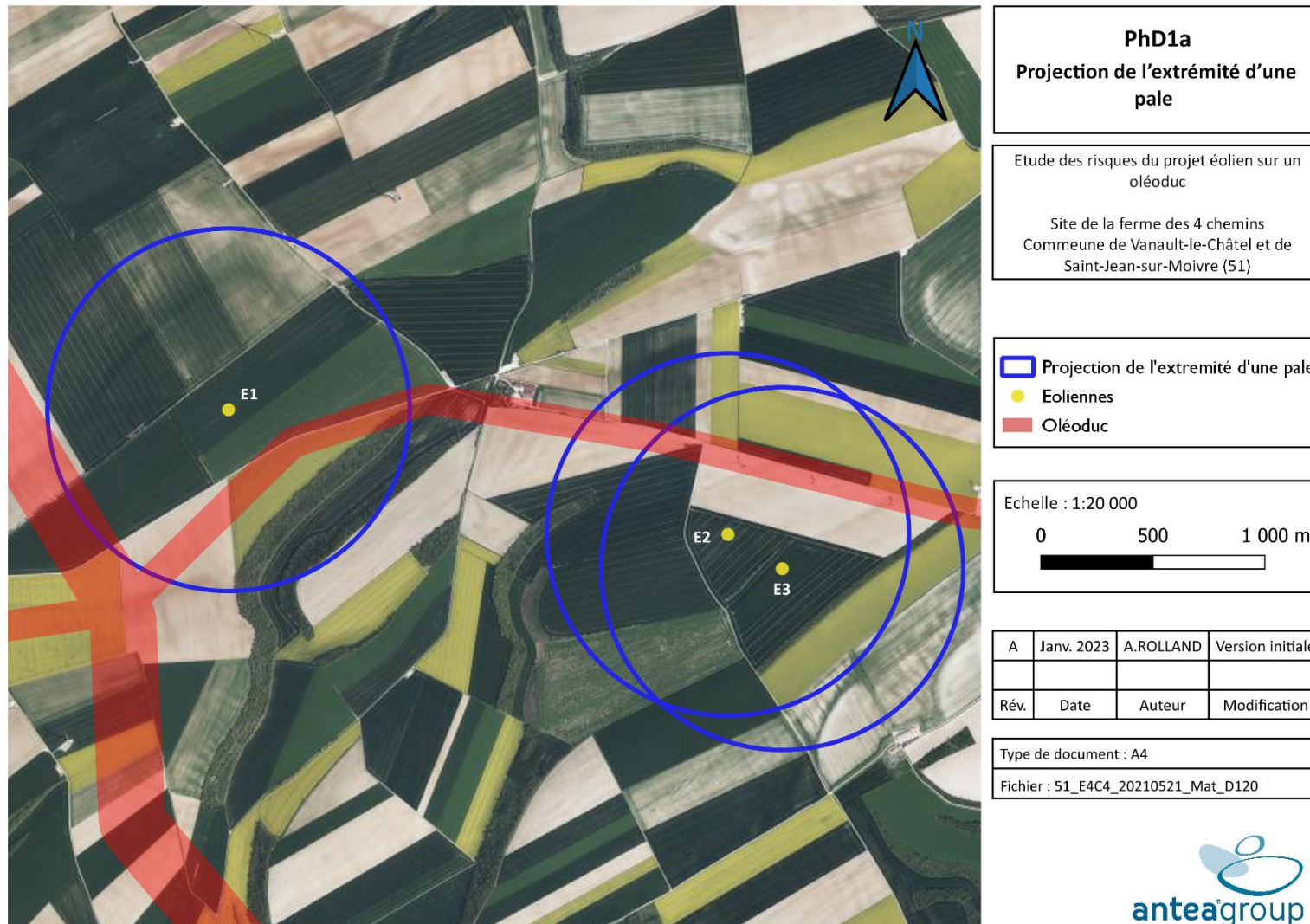


Figure 4 : Distances d'effets de projection de l'extrémité d'une pale

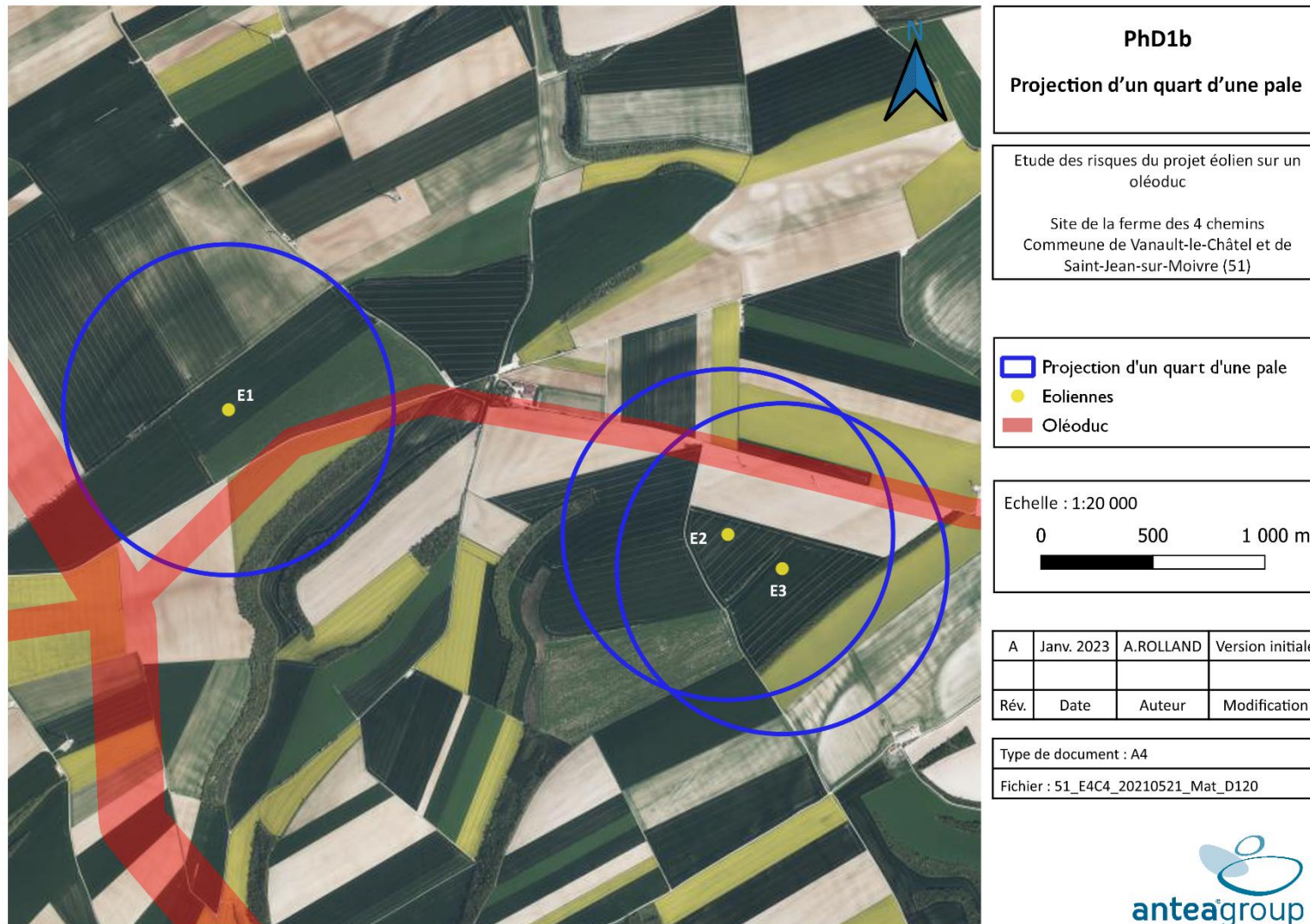


Figure 5 : Distances d'effets de projection d'un quart d'une pale



Figure 6 : Distances d'effets de projection d'une pale entière

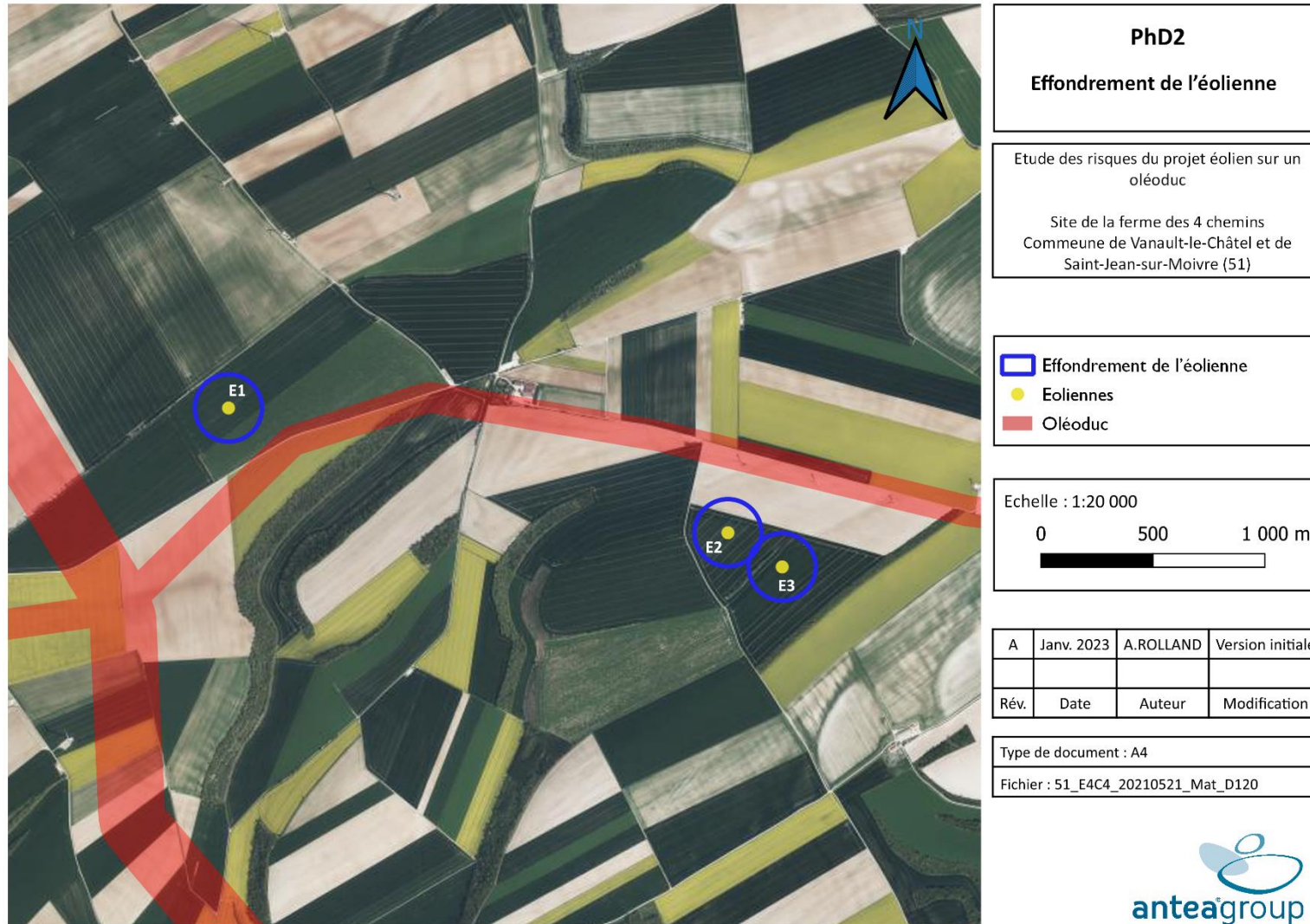


Figure 7 : Distances d'effets de l'effondrement de l'éolienne



Figure 8 : Distances d'effets de chute d'éléments de l'éolienne ou de chute de glace



Figure 9 : Distances d'effets de projection de glace

Ces cartographies mettent en évidence que seuls 2 phénomènes dangereux sont susceptibles d'atteindre le tracé de l'oléoduc. Il s'agit du :

- PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale ;
- PhD1b : Projection d'un quart d'une pale.

Ces 2 phénomènes dangereux feront l'objet d'une étude de leur probabilité d'occurrence.

Notons que l'oléoduc souterrain localisé à l'ouest de l'éolienne E1 est situé à 840 m de cette éolienne. Cela donne un ratio hauteur éolienne/distance à l'oléoduc de 5,6. Une étude spécifique n'est donc pas requise pour cette partie du tracé de l'oléoduc.

4.2.2. Effets des vibrations

4.2.2.1. Résultats des modélisations

Les données et caractéristiques générales des canalisations de gaz et de leurs caractéristiques ont permis de montrer que la vitesse particulaire V_p ne doit pas dépasser un seuil de 50 mm/s sous peine de la possibilité d'une altération des installations.

Au delà d'une distance dite de sécurité, on peut assurer que la vitesse particulaire V_p est inférieure à 50 mm/s, c'est-à-dire que le niveau de vibration est acceptable. En revanche, en dessous de cette distance, il y a un risque de dépasser 50 mm/s.

Ainsi grâce au poids des éléments de l'éolienne (m) et de la hauteur de chute (h), il est possible de déterminer la distance entre le point d'impact et l'oléoduc (d) de sorte à avoir une vitesse particulaire inférieure à 50 mm/s.

Ensuite, grâce aux données calculées ci-avant sur les distances des effets de projections, il sera possible de définir la distance jusqu'à laquelle une vitesse particulaire de 50 mm/s est possible.

Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

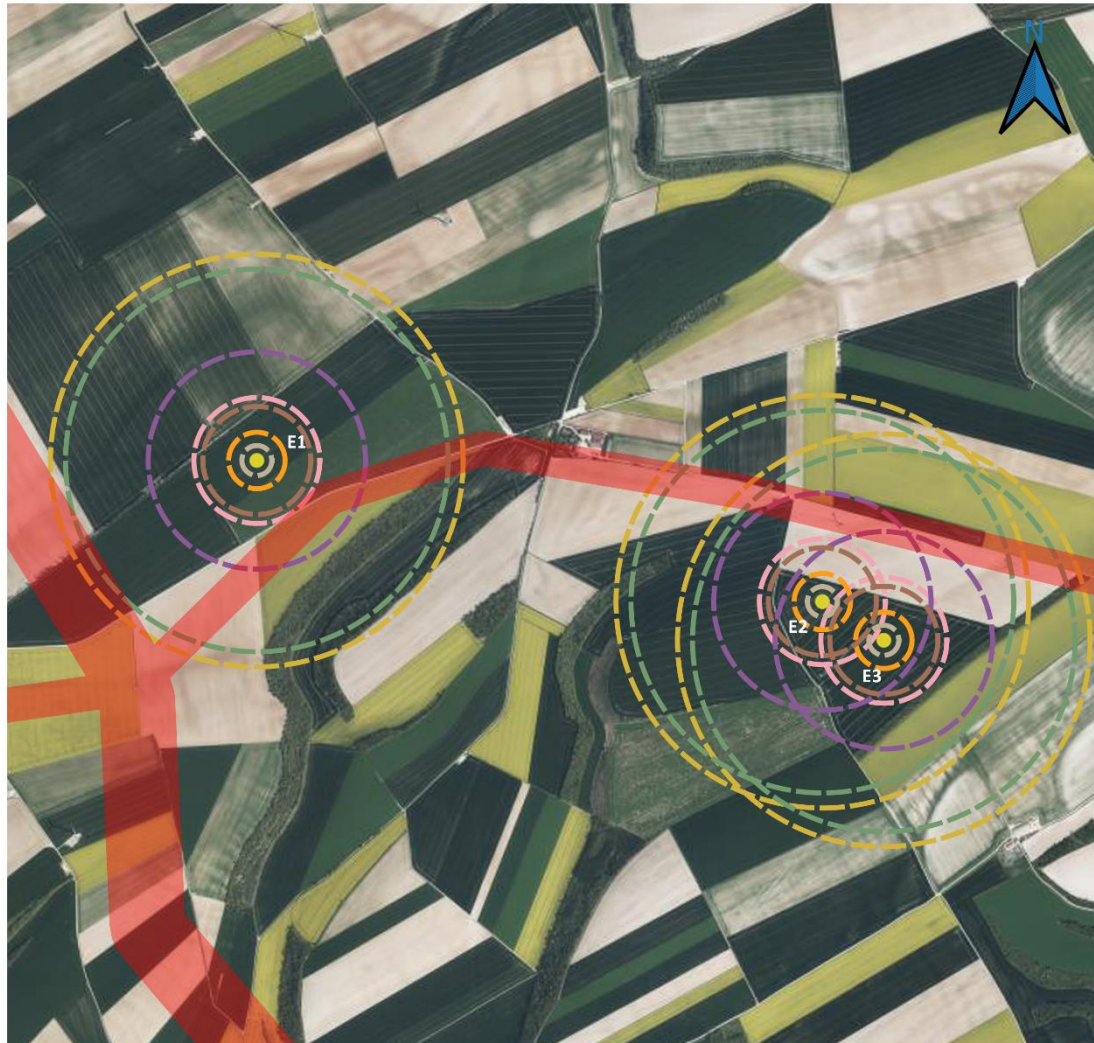
Tableau 4 : Résultats des calculs - vibrations

N°	Phénomène dangereux	Poids (m)	Hauteur de chute (h) ¹	Distance oléoduc-point d'impact pour avoir une vitesse particulaire $V_p < 50$ mm/s (d)	Distance maximale du point de chute des différents projectiles ou éléments (cf. tableau du § précédent)	Distance jusqu'à laquelle une vitesse particulaire de 50 mm/s est possible (engendrant un risque potentiel sur l'oléoduc)
PhD1a	Projection de l'extrémité d'une pale	0,058 t	264 m	5,0 m	809 m	814,0 m
PhD1b	Projection d'un quart d'une pale	0,7 t	243 m	16,6 m	738 m	754,6 m
PhD1c	Projection d'une pale entière	11,7 t	114 m	46,4 m	202 m	248,4 m
PhD2	Effondrement de l'éolienne	320 t	150 m	278,6 m	150 m	428,6 m
PhD3	Chute d'éléments de l'éolienne	11,7 t	150 m	53,3 m	58 m	111,3 m
PhD4	Chute de glace	0,005 t	150 m	1,1 m	58 m	59,1 m
PhD5	Projection de glace	0,005 t	114 m	1,0 m	212 m	213,0 m

4.2.2.2. Cartographies des zones jusqu'à laquelle un risque de vibration sur l'oléoduc est possible

Les distances jusqu'à laquelle une vitesse particulaire de 50 mm/s est possible (vitesse qui peut engendrer un risque de vibration sur l'oléoduc) sont reportées sur les plans suivants.

¹ L'étude balistique donne des hauteurs maximales atteintes par le projectile. Dans le cas contraire il sera pris la hauteur maximale dans laquelle l'élément peut se retrouver.













Etude vibratoire			
Etude des risques du projet éolien sur un oléoduc			
Site de la ferme des 4 chemins Commune de Vanault-le-Châtel et de Saint-Jean-sur-Moivre (51)			
	Projection de l'extrémité d'une pale		
	Projection d'un quart d'une pale		
	Projection d'une pale entière		
	Effondrement de l'éolienne		
	Chute d'éléments de l'éolienne		
	Chute de glace		
	Projection de glace		
	Eoliennes		
	Oléoduc		
Echelle : 1:20 000			
0 500 1 000 m			
			
A	Janv. 2023	A.ROLLAND	Version initiale
Rév.	Date	Auteur	Modification
Type de document : A4			
Fichier : 51_E4C4_20210521_Mat_D120			

Figure 10 : Distances jusqu'à laquelle un risque de vibration sur l'oléoduc est possible

Pour rappel les distances éolienne/oléoduc sont les suivantes :

- E1 ; 315 m ;
- E2 : 355 m ;
- E3 : 445 m.

Ces cartographies mettent en évidence que 3 phénomènes dangereux sont susceptibles d'affecter indirectement l'oléoduc via des vibrations dans le sol. Il s'agit du :

- PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale ;
- PhD1b : Projection d'un quart d'une pale ;
- PhD2 : Effondrement de l'éolienne.

Les 2 premiers phénomènes dangereux avaient déjà des effets directs sur l'oléoduc par projection. Le PhD2 fera lui aussi l'objet d'une étude de sa probabilité d'occurrence au regard uniquement de l'impact indirect induit par des effets de vibrations

Notons que la distance jusqu'à laquelle un risque de vibration sur l'oléoduc est possible en cas d'effondrement de l'éolienne E3 (PhD2) est de 428,6 m. Or l'éolienne E3 est située à 445 m de l'oléoduc. De façon sécuritaire il est pris une distance de + ou – 50 m de part et d'autre de l'oléoduc. Ainsi, ce cas est conservé comme étant possible.

Pour rappel, l'oléoduc souterrain localisé à l'ouest de l'éolienne E1 est situé à 840 m de cette éolienne. Cela donne un ratio hauteur éolienne/distance à l'oléoduc de 5,6. Une étude spécifique n'est donc pas requise pour cette partie du tracé de l'oléoduc.

4.3. Evaluation de la probabilité d'atteinte de l'oléoduc

4.3.1. Echelle de probabilité

Les niveaux de probabilité sont ceux définis dans l'échelle de probabilité quantitative présentée en Annexe 1 de l'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 des dangers des installations classées soumises à autorisation ».

Ces niveaux de probabilité sont repris dans le guide technique de l'INERIS sur les études de dangers des parcs éolien.

Cette échelle est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Echelle de probabilité retenue pour l'analyse détaillée des risques

Echelle de probabilité	E	D	C	B	A
Appréciation qualitative	« événement possible mais extrêmement peu probable » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	« événement très improbable » : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	« événement improbable » : un 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.	« événement probable » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	« événement 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.
Appréciation quantitative (par unité et par an)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	

4.3.2. Méthodologie du calcul de la probabilité

La probabilité d'atteinte de l'oléoduc par un scénario accidentel sur une éolienne est la multiplication de trois probabilités :

- La probabilité de l'évènement (projection d'un élément de pale, effondrement, ...) ;
- La probabilité que l'éolienne soit orientée de façon à ce que le projectile soit projeté dans la direction de l'oléoduc ;
- La probabilité que le projectile soit envoyé à une distance pouvant impacter l'oléoduc.

Notons que pour le cas de l'effondrement (PhD2), l'impact est seulement indirect et est induit par des effets de vibrations.

4.3.2.1. Cas des effets de projection d'un élément de pale (PhD1a et PhD1b)

➤ **Probabilité générique de l'événement**

D'après le guide technique de l'INERIS, les valeurs retenues dans la littérature pour une rupture de tout ou partie de pale sont détaillées dans le tableau suivant :

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

Ces valeurs correspondent à des classes de probabilité « B », « C » ou « E » selon l'échelle de probabilité définie plus haut.

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

- les dispositions de la norme IEC 61 400-1,
- les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre,
- les systèmes de détection des survitesses et un système redondant de freinage,
- les systèmes 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,
- l'utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.).

Il est ainsi considéré que la classe de probabilité « D » est la plus pertinente. Il s'agit donc d'un événement très improbable qui « s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité ».

La probabilité de projection de l'élément est notée $P_{\text{Projection}}$ et sera donc égale à 10^{-4} .

➤ **Probabilité que l'éolienne soit orientée de façon à ce que le projectile soit projeté dans la direction de l'oléoduc**

On définit l'**angle menaçant** comme l'angle entre les deux orientations limites des pales de l'éolienne pouvant impacter l'oléoduc (angle avec comme point d'origine 0° = Nord).

Pour plus de précisions, cet angle menaçant sera découpé de 10° en 10°.

Cet angle de 10° est nommé **angle d'étude** (angle avec comme point d'origine 0° = Nord).

Pour chaque angle d'étude, la probabilité d'orientation menaçante de l'éolienne est calculée avec la rose des vents de la zone d'étude (angle avec comme point d'origine 0° = Nord).

En effet, pour un angle d'étude donné impactant l'oléoduc, les vents faisant fonctionner l'éolienne doivent provenir perpendiculairement à cet angle d'étude, 2 directions de vents sont ainsi possibles. Deux **secteurs de vent S1 (-90°) et S2 (+90°)** sont donc définis (+ ou - 90° par rapport l'angle d'étude). Deux probabilités, **P_{S1} et P_{S2}**, sont associées à ces secteurs de vent.

La rose des vents enregistrée sur le site Merra-2, Quatre Chemins entre 1998 et 2017 est la suivante :

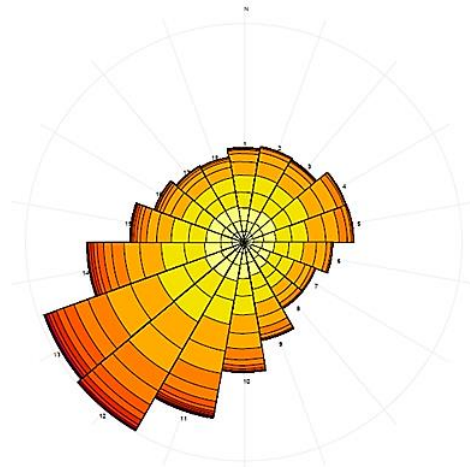


Figure 11 : Rose des vents de la zone du projet (1998-2017)

La répartition des vents selon la direction du vent est la suivante :

Tableau 6 : Répartition des vents de la zone du projet

Direction du vent (°)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180
Fréquence des vents à 60 m (%)	6	6	5,6	6,6	8,8	4,2	3,4	4,5	5,5
Direction du vent (°)	180-200	200-220	220-240	240-260	260-280	280-300	300-320	320-340	340-360
Fréquence des vents à 60 m (%)	6,9	8	8,5	7,6	4,9	3,1	3,2	3,3	3,9

Note : Ici les données de répartition de la direction des vents sont faites par des angles de 20°. Il sera considéré une répartition homogène des vents dans chaque tranche de 10° composant une tranche de 20°.

➤ **Probabilité que le projectile soit envoyé à une distance pouvant impacter l'oléoduc**

On considère de manière arbitraire et majorante que l'oléoduc sera impacté si le projectile atteint une zone de 50 m de part et d'autre de cet oléoduc. Cette zone est nommée **secteur sécuritaire de l'oléoduc**. Cela permet une approche sécuritaire en termes de distance d'impact.

On détermine la probabilité d'atteinte de cette zone $P_{\text{atteinte_secteur}}$ par la modélisation balistique avec un calcul du nombre d'angles de projection et de position de pale, permettant au projectile d'atteindre une distance comprise entre D1 et D2. Avec D1, la distance minimale entre l'éolienne et le secteur sécuritaire de l'oléoduc amont et D2 la distance maximale.

➤ **Calcul final de la probabilité**

Ainsi pour chaque angle d'étude, la probabilité d'atteinte de l'oléoduc est :

$$P_{\text{atteinte_angle } x} = P_{\text{Projection}} \times (P_{S1} + P_{S2}) \times P_{\text{atteinte_secteur}}$$

La probabilité finale d'atteinte de l'oléoduc est la somme des probabilités obtenues pour chaque angle d'étude.

$$P_{\text{atteinte}} = P_{\text{atteinte_angle } 1} + P_{\text{atteinte_angle } 2} + P_{\text{atteinte_angle } 3} + \dots$$

Un schéma d'illustration est fourni dans la figure suivante.

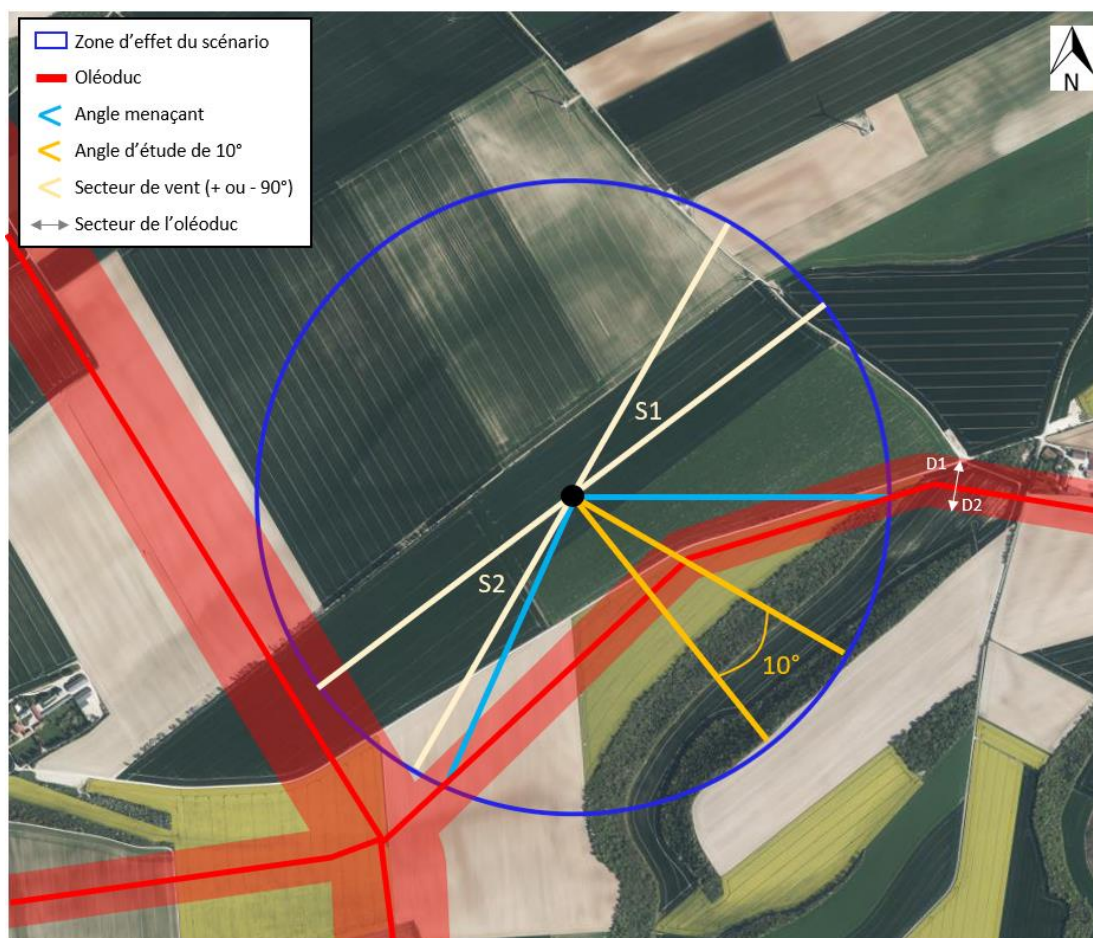


Figure 12 : Illustration de la démarche de calcul de la probabilité

4.3.2.2. Cas des effets de l'effondrement de l'éolienne (PhD2)

Pour rappel, pour le cas de l'effondrement, l'impact est indirect et est induit par des effets de vibrations. En cas d'effondrement, l'éolienne ne va pas toucher la zone de l'oléoduc.

➤ Probabilité générique de l'événement

D'après le guide technique de l'INERIS, les valeurs retenues dans la littérature pour l'effondrement d'une éolienne sont détaillées dans le tableau suivant :

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

Ces valeurs correspondent à une classe de probabilité « C » selon l'échelle de probabilité définie plus haut.

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 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,
- 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.

Il est ainsi considéré que la classe de probabilité « D » est la plus pertinente. Il s'agit donc d'un événement très improbable qui « s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité ».

La probabilité de projection de l'élément est notée $P_{\text{Effondrement}}$ et sera donc égale à 10^{-4} .

➤ Probabilité que l'éolienne soit orientée de façon à ce que le projectile soit projeté dans la direction de l'oléoduc

Contrairement aux phénomènes de projection, l'effondrement de l'éolienne ne se fait dans une direction préférentielle associée à des secteurs de vent. L'effondrement peut donc avoir lieu à probabilité égale dans les 360° autour de l'éolienne.

Le sens du vent ne joue pas de rôle dans la probabilité globale du scénario.

➤ **Probabilité que le projectile soit envoyé à une distance pouvant impacter l'oléoduc**

On définit également l'**angle menaçant** comme l'angle entre les deux orientations limites de l'effondrement de l'éolienne pouvant impacter indirectement l'oléoduc par des effets de vibrations (angle avec comme point d'origine 0° = Nord).

On considère également les distances D1 et D2 formant le **secteur sécuritaire de l'oléoduc**. Cela permet une approche sécuritaire en termes de distance d'impact.

Par contre la probabilité d'atteinte de cette zone $P_{\text{atteinte_secteur}}$ est définie comme le ratio entre l'angle menaçant et la somme de tous les angles soit 360° (probabilité d'effondrement équivalente dans toutes les directions).

➤ **Calcul final de la probabilité**

Ainsi, la probabilité d'atteinte indirecte de l'oléoduc est :

$$P_{\text{atteinte}} = P_{\text{Effondrement}} \times P_{\text{atteinte_secteur}}$$

4.3.3. Calcul de la probabilité des phénomènes dangereux retenus

4.3.3.1. PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale

➤ Eolienne E1

Pour ce scénario et cette éolienne l'angle menaçant pouvant affecter l'oléoduc est compris entre 90° et 220°. Le nombre d'angle d'étude est donc de 13.

A titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente le calcul réalisé sur l'angle d'étude 130°-140° correspondant à l'angle impactant le plus de linéaire de l'oléoduc.

Tableau 7 : Exemple de calcul de probabilité pour un angle d'étude

Paramètres	Angle d'étude 130°-140°
Probabilité de l'événement	
Probabilité de projection : $P_{\text{projection}}$	10^{-4}
Probabilité liée à l'orientation de l'éolienne	
Secteur S1 (-90° par rapport à l'angle d'étude) de la rose des vents permettant une orientation des pales de l'éolienne vers le secteur d'étude	40°-50°
Fréquence du vent associée, au regard de la rose des vents (Fréquence de la tranche 40-60° divisé par 2)	2,8 %
Probabilité associée (P_{S1})	$2,80 \cdot 10^{-2}$
Secteur S2 (+90° par rapport à l'angle d'étude) de la rose des vents permettant une orientation des pales de l'éolienne vers le secteur d'étude	220°-230°
Fréquence du vent associée, au regard de la rose des vents (Fréquence de la tranche 40-60° divisé par 2)	4,25 %
Probabilité associée (P_{S2})	$4,25 \cdot 10^{-2}$
Probabilité que l'éolienne soit orientée vers l'angle d'étude : $P_{S1} + P_{S2}$	$7,05 \cdot 10^{-2}$
Probabilité liée à la distance d'effet de l'événement	
Distance de l'oléoduc par rapport à l'éolienne dans l'angle d'étude (D éol.) (avec + ou - 50 m pour définir D1 et D2)	D1 = 265 m D éol. = 315 m D2 = 365 m
Nombre d'angles de projection tels que $D1 < \text{distance de projection} < D2$	11
Nombre total d'angles étudiés (angle α variant de -89 à + 89 °C)	180
Probabilité que la distance de projection soit comprise entre D1 et D2 : $P_{\text{atteinte_secteur}}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$
Probabilité globale d'atteinte de l'oléoduc pour cet angle d'étude	
La probabilité globale est : $P_{\text{atteinte_angle}} \times P_{\text{projection}} \times (P_{S1} + P_{S2}) \times P_{\text{atteinte_secteur}}$	$4,30 \cdot 10^{-7}$

Ces calculs sont réitérés pour les 12 autres angles d'étude. Le tableau ci-dessous synthétise ces résultats.

Tableau 8 : Résultats des calculs de probabilités pour le PHD1a – éolienne E1

Angle d'étude (°)	Probabilité d'atteinte de l'oléoduc pour cet angle d'étude
90-100	5,48E-07
100-110	5,02E-07
110-120	4,30E-07
120-130	4,28E-07
130-140	4,67E-07
140-150	4,70E-07
150-160	4,31E-07
160-170	4,34E-07
170-180	4,34E-07
180-190	3,81E-07
190-200	4,19E-07
200-210	2,23E-07
210-220	3,04E-07

La probabilité globale est de $5,47.10^{-6}$ ce qui équivaut à une classe de fréquence de E.

Notons que ce calcul couvre le cas d'un impact direct par projection et d'un impact indirect via les vibrations.

➤ **Eolienne E2**

Pour ce scénario et cette éolienne l'angle menaçant pouvant affecter l'oléoduc est compris entre 320° et 80°. Le nombre d'angle d'étude est donc de 13.

Les calculs de probabilités ont été réalisés sur ces 13 angles d'étude. Le tableau ci-dessous synthétise ces résultats.

Tableau 9 : Résultats des calculs de probabilités pour le PHD1a – éolienne E2

Angle d'étude (°)	Probabilité d'atteinte de l'oléoduc pour cet angle d'étude
320	6,66E-07
330	4,70E-07
340	4,73E-07
350	4,34E-07
360	4,57E-07
10	4,57E-07
20	2,43E-07
30	2,43E-07
40	1,83E-07
50	2,02E-07
60	2,38E-07
70	2,60E-07
80	3,66E-07

La probabilité globale est de $4,69.10^{-6}$ ce qui équivaut à une classe de fréquence de E.

Notons que ce calcul couvre le cas d'un impact direct par projection et d'un impact indirect via les vibrations.

➤ **Eolienne E3**

Pour ce scénario et cette éolienne l'angle menaçant pouvant affecter l'oléoduc est compris entre 330° et 80°. Le nombre d'angle d'étude est donc de 12.

Les calculs de probabilités ont été réalisés sur ces 12 angles d'étude. Le tableau ci-dessous synthétise ces résultats.

Tableau 10 : Résultats des calculs de probabilités pour le PhD1a – éolienne E3

Angle d'étude (°)	Probabilité d'atteinte de l'oléoduc pour cet angle d'étude
330	4,31E-07
340	4,73E-07
350	4,73E-07
360	4,57E-07
10	4,57E-07
20	2,43E-07
30	2,43E-07
40	1,83E-07
50	1,83E-07
60	2,60E-07
70	3,25E-07
80	6,53E-07

La probabilité globale est de $4,38 \cdot 10^{-6}$ ce qui équivaut à une classe de fréquence de E.

Notons que ce calcul couvre le cas d'un impact direct par projection et d'un impact indirect via les vibrations.

4.3.3.2. PhD1b : Projection d'un quart d'une pale

La distance d'effet de projection d'un quart de pale (738 m) est plus faible que la distance d'effet de projection d'une extrémité de pale présenté au paragraphe précédent (809 m).

Ainsi, les angles menaçant pour chaque éolienne et les longueurs des tronçons d'oléoduc présents dans le rayon de projection seront inférieurs pour le cas de la projection d'un quart de pale par rapport à la projection d'une extrémité de pale.

Ainsi, les probabilités calculées pour le PhD1a (extrémité de pale) seront majorantes. Ces probabilités sont reprises de façon majorante pour ce scénario :

Tableau 11 : Probabilité pour le PhD1b

Eolienne	Probabilité du PhD1b : Projection d'un quart d'une pale	Classe de fréquence associée
E1	$5,47 \cdot 10^{-6}$	E
E2	$4,69 \cdot 10^{-6}$	E
E3	$4,38 \cdot 10^{-6}$	E

Notons que ces calculs couvrent le cas d'un impact direct par projection et d'un impact indirect via les vibrations.

4.3.3.3. PhD2 : Effondrement de l'éolienne

Pour rappel, seule la probabilité d'occurrence au regard de l'impact indirect induit par des effets de vibrations est étudiée pour les 3 éoliennes. Pour ce scénario les angles menaçants conduisant à un impact indirect sur l'oléoduc les suivants :

- Eolienne E1 : entre 110° et 200 ° ;
- Eolienne E2 : entre 340° et 70 ° ;
- Eolienne E3 : entre 0° et 50 °.

Ces angles menaçants sont obtenus à l'aide de la cartographie de la Figure 10 présentant la distance jusqu'à laquelle une vitesse particulière de 50 mm/s induite par l'effondrement de l'éolienne soit possible.

Le tableau ci-dessous synthétise les calculs de probabilités :

Tableau 12 : Résultats des calculs de probabilités pour le PhD2

Paramètres	Eolienne E1	Eolienne E2	Eolienne E3
Probabilité de l'événement			
Probabilité de l'effondrement : $P_{\text{Effondrement}}$	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
Probabilité liée à l'orientation de l'éolienne			
L'effondrement de l'éolienne ne se fait dans une direction préférentielle associée à des secteurs de vent. Cette probabilité est donc sans objet.	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Probabilité liée à l'orientation de l'éolienne			
Distance de l'oléoduc par rapport à l'éolienne (D éol.) (avec + ou - 50 m pour définir D1 et D2)	D1 = 265 m D éol. = 315 m D2 = 365 m	D1 = 305 m D éol. = 355 m D2 = 405 m	D1 = 395 m D éol. = 445 m D2 = 495 m
Mesure de l'angle menaçant (tels que $D1 < \text{distance effondrement} < D2$)	90	90	50
Nombre total d'angles étudiés (toutes les directions possibles)	360	360	360
Probabilité que la distance de projection soit comprise entre D1 et D2 : $P_{\text{atteinte_secteur}}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$
Probabilité globale d'atteinte de l'oléoduc			
La probabilité globale est : $P_{\text{atteinte}} = P_{\text{Effondrement}} \times P_{\text{atteinte_secteur}}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$

Les probabilités globales sont de l'ordre 1,3 à $2,5 \cdot 10^{-5}$ ce qui équivaut à une classe de fréquence de D.

5. Conclusion

La société Eléments, en partenariat avec Noria, développe un projet de 3 éoliennes sur une zone d'étude située autour de la ferme des 4 chemins entre les communes de Vanault-le-Château et St-Jean-sur-Moivre, dans la Marne (51).

Le projet est situé à une distance comprise entre 2 et 4 hauteurs d'éolienne par rapport à un oléoduc souterrain. Le gestionnaire de cet oléoduc impose à ce qu'une étude spécifique soit réalisée pour montrer que le risque du projet éolien est acceptable.

Selon le guide technique de l'INERIS de mai 2012 sur l'élaboration des études de dangers dans le cadre des parcs éoliens, 5 phénomènes dangereux majeurs sont à retenir.

Dans le cadre de cette étude, une analyse plus fine a été menée. Certains de ces scénarios ont été détaillés et une étude balistique spécifique aux effets de projection a été réalisée.

Au final, les phénomènes dangereux retenus sont les suivants :

- PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale ;
- PhD1b : Projection d'un quart d'une pale ;
- PhD1c : Projection d'une pale entière ;
- PhD2 : Effondrement de l'éolienne ;
- PhD3 : Chute d'éléments de l'éolienne ;
- PhD4 : Chute de glace ;
- PhD5 : Projection de glace.

De plus, il a été pris en compte les effets indirects sur l'oléoduc pouvant être causés par les vibrations de la chute d'un élément de l'éoliennes.

Les modélisations ont mis en évidence que :

- les PhD1a et PhD1b sont susceptibles d'atteindre directement le tracé de l'oléoduc par projection ;
- les PhD1a, PhD1b et PhD2 sont susceptibles d'atteindre indirectement le tracé de l'oléoduc par des effets de vibrations du sol.

Une étude de la probabilité de ces phénomènes dangereux a donc été réalisée.

Phénomène dangereux	Eolienne	Probabilité d'atteinte direct de l'oléoduc par projection Classe de fréquence associée	Probabilité d'atteinte indirect de l'oléoduc par vibration Classe de fréquence associée
PhD1a : Projection de l'extrémité d'une pale	E1	$5,47.10^{-6}$ E	$5,47.10^{-6}$ E
	E2	$4,69.10^{-6}$ E	$4,69.10^{-6}$ E
	E3	$4,38.10^{-6}$ E	$4,38.10^{-6}$ E
PhD1b : Projection d'un quart d'une pale	E1	$5,47.10^{-6}$ E	$5,47.10^{-6}$ E
	E2	$4,69.10^{-6}$ E	$4,69.10^{-6}$ E
	E3	$4,38.10^{-6}$ E	$4,38.10^{-6}$ E
PhD2 : Effondrement de l'éolienne	E1	/	$2,5.10^{-5}$ D
	E2	/	$2,5.10^{-5}$ D
	E3	/	$1,3.10^{-5}$ D

Les probabilités obtenues sont de classe de fréquence :

- « E ». Il s'agit d'événement possible mais extrêmement peu probable non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations ;
- « D ». Il s'agit d'un événement très improbable qui s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais qui a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.

Les événements de probabilité « D » sont uniquement des effets indirects par vibrations sur l'oléoduc.

Notons également que dans ces calculs de probabilité, une distance de sécurité de 50 m a été prise de part et d'autre de l'oléoduc.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>

Le changement climatique n'implique pas seulement un monde plus chaud, il annonce un monde qui change.



Notre métier, vous accompagner pour gérer ces enjeux.



Siège social : ZAC du Moulin, 803 Boulevard Duhamel du Monceau, CS 30602, 45166 OLIVET CEDEX –
Antea France – SAS au capital de 4 700 000 € - SIREN 393 206 735 – Code APE 7112 B

Références :



Portées
communiquées
sur demande