REGION LIMOUSIN
DEPARTEMENT DE LA CORREZE
COMMUNE DE SAINT-ANGEL

Maître d'ouvrage:

VSB énergies nouvelles
27, quai de la Fontaine
30900 NÎMES

SIGNATURE ET CACHET DU DEMANDEUR

PARC EOLIEN DE SAINT-ANGEL

Installation de cinq éoliennes et d'un poste de livraison

VOLUME 5 : ETUDE DE DANGERS

Autorisation Unique
Dossier final - Avril 2018

5.1 - RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

encis environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable

encis environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable

Novembre 2015

DEMANDE D'AUTORISATION UNIQUE DU PARC EOLIEN DE SAINT-ANGEL

5.1 RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

Département : Corrèze

Communes : Saint-Angel, Ussel et Valiergues

Lieux-dits : la Croix de Gireix, Puy Long, le Bois des Moines, les Baneaux et la Vergne Blanche

Maître d'ouvrage :

VSB énergies nouvelles
27, quai de la Fontaine . 30900 Nîmes
Tél. 04 66 21 78 43 . Fax 04 66 21 83 34

Réalisation de l'étude

ENCIS Environnement

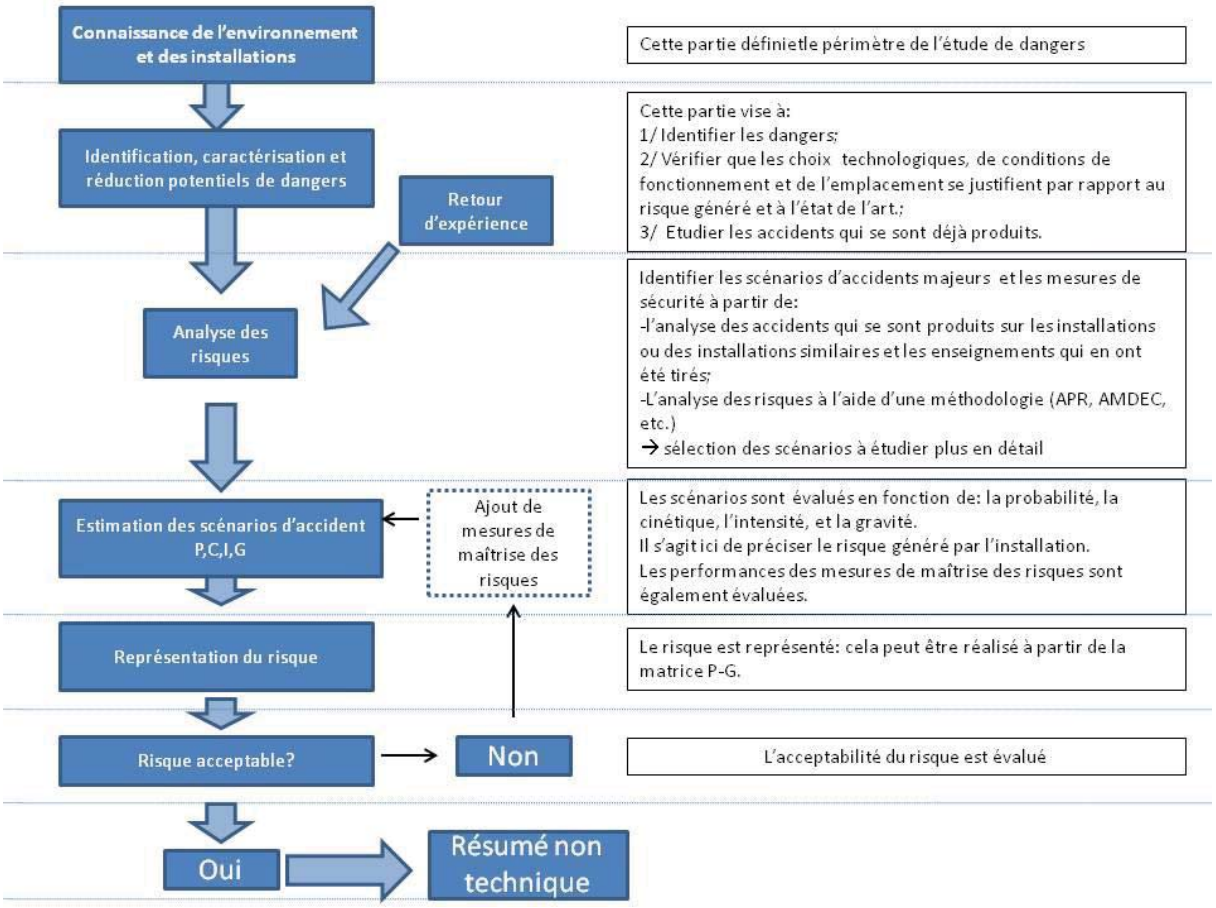
Rédacteur : Elisabeth GALLET-MILONE

SOMMAIRE

1. ETAPES ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DE DANGERS 4
2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION 4
2.1. Renseignements administratifs 4
2.2. Localisation du site 4
2.3. Définition de l'aire d'étude 7
3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION 8
3.1. Environnement 8
3.2. Cartographie de synthèse 9
4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION 13
4.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien 13
4.2. Composition de l'installation 14
4.3. Fonctionnement de l'installation 16
4.4. Réduction des potentiels de dangers à la source 16
5. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES 17
6. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES 17
6.1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés 17
6.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques 18
7. CONCLUSION 24
ANNEXES : DEFINITIONS 26

1. ETAPES ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DE DANGERS

Le graphique ci-dessous synthétise les différentes étapes et les objectifs de l'étude de dangers :



2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le porteur de projet du parc éolien de Saint-Angel est VSB Energies Nouvelles.

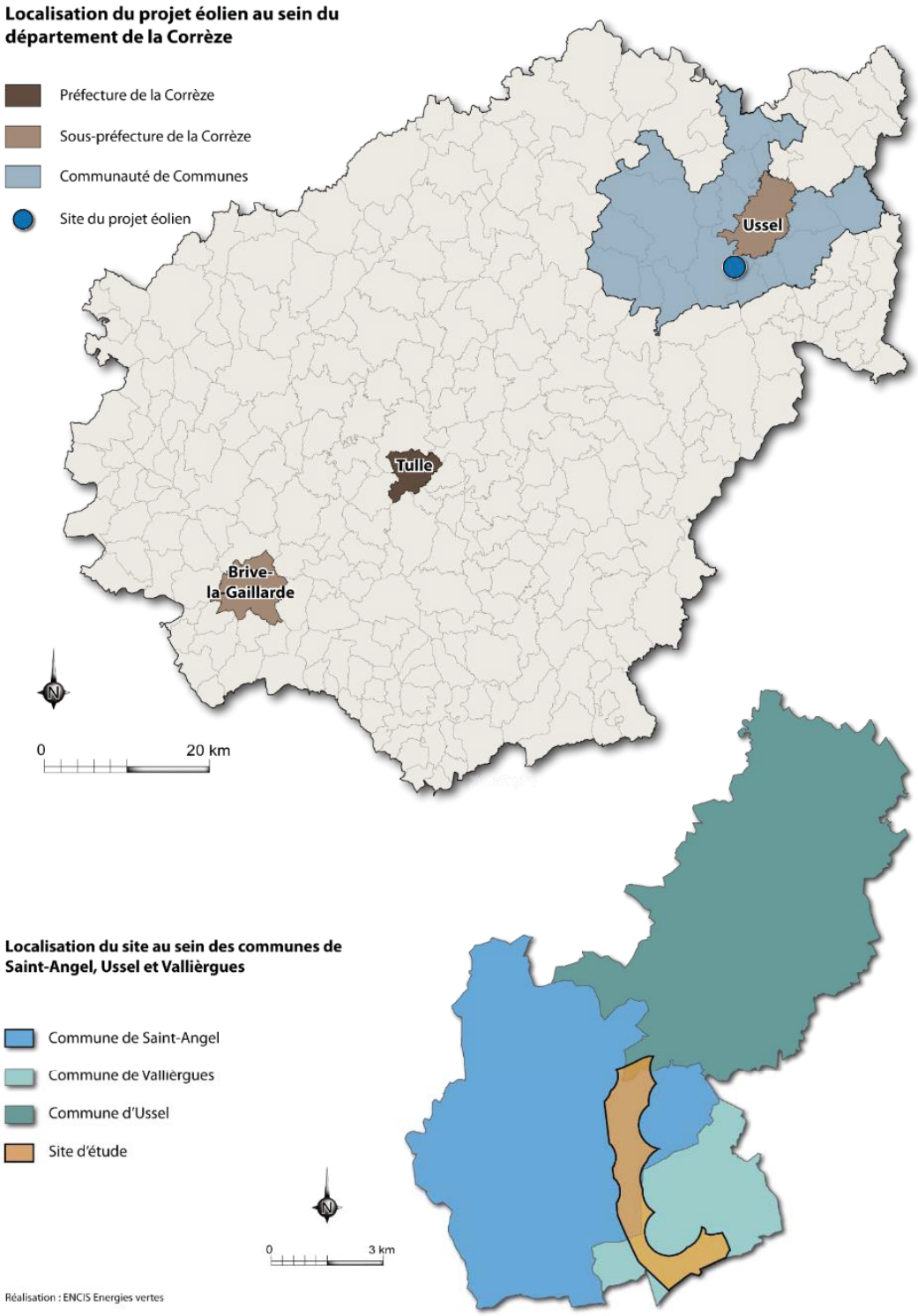
L'activité principale de VSB Energies Nouvelles est le développement de projets d'implantation de fermes éoliennes en France.

La réalisation de cette étude de dangers a été effectuée par Elisabeth GALLET-MILONE, d'ENCIS Environnement.

2.2. LOCALISATION DU SITE

Le parc éolien de Saint-Angel est localisé sur les communes de Saint-Angel, Ussel et Valiergues, dans le département de la Corrèze (19), en région Limousin.

Carte 1 : Localisation du site en France (Source : ENCIS Environnement)



Carte 2 : Localisation du site au sein du département et des communes (Source : ENCIS Environnement)

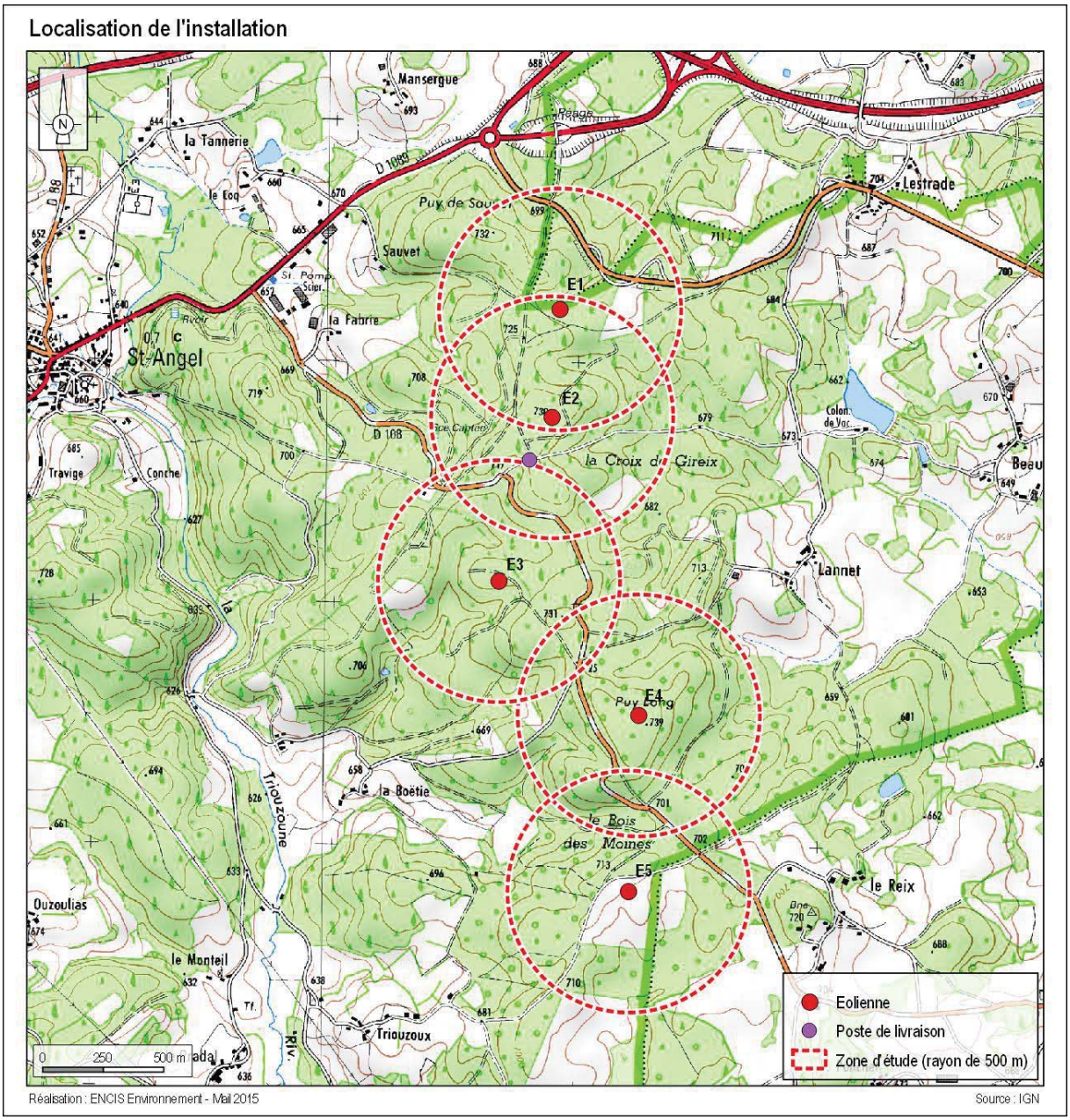
2.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne.

Chaque aire d'étude 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. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe 8.2.4 de l'étude de dangers.

La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui est néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

Seront appelées dans la suite du document « zone d'étude » les aires d'étude des éoliennes, définies par un cercle de rayon inférieur ou égal à 500 m.



Carte 3 : Carte de situation de l'installation (Source : ENCIS Environnement)

3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

3.1. ENVIRONNEMENT

- Environnement humain :

- Aucune habitation n'est présente dans la zone d'étude. Plusieurs hameaux sont toutefois situés de part et d'autre de cette zone. Les habitations les plus proches du projet – Le Reix – sont localisées à environ 720 mètres de l'éolienne E5.
- Aucun ERP n'est présent dans les limites de la zone d'étude.
- Il n'y a aucune Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) classée « SEVESO » sur la commune étudiée. Le site « SEVESO » seuil haut le plus proche est localisé à Brive (19) à plus de 60 km au sud-ouest ; le site « SEVESO » seuil bas le plus proche est à Tulle (19) à 45 km au sud-ouest.
- Il n'y a pas d'installation nucléaire dans la zone d'étude ou à proximité, la plus proche se localise à Civaux, à plus de 150 km.
- Un bâtiment est référencé au sein de la zone d'étude : à environ 500 m de l'éolienne E3. Il s'agit d'un réservoir d'eau. Selon Veolia, le gestionnaire, deux personnes maximum peuvent être présentes dans ce bâtiment, pour une fréquence de deux fois par semaine maximum.
- Un chemin de randonnée est également recensé dans la zone d'étude de 500 m autour des éoliennes : il s'agit du chemin « le Prieuré de Saint-Angel ».

- Environnement naturel :

✓ Contexte climatique :

- A la station de Mauriac, la température moyenne annuelle est de 10,4°C. L'amplitude thermique reste modérée, de l'ordre de 15°C. La température record minimale a été enregistrée le 9 février 2012 et était de -15,3° ; le record maximal a été de 37,4° (le 12 juillet 2003).
- Les précipitations enregistrées à la station de Mauriac sont de 1200 mm/an.
- D'après l'analyse de la rose des vents du mât implanté sur site, les vents dominants suivent principalement un axe sud-sud-ouest et nord-nord-est.

✓ Risques naturels :

- D'après les décrets n°2010-1254 et n°2010-1255, le site d'étude est en zone de sismicité 1 soit une probabilité d'occurrence des séismes très faible.
- D'après la base de données du site www.bdmvt.net qui recense tous les mouvements de terrain, le risque de mouvement de terrain existe en Corrèze. 363 mouvements de terrain ont été recensés dans ce département. Aucun mouvement de terrain n'a été recensé dans les 2 km.
  Etant donné les caractéristiques du sous-sol, du sol et de la topographie du site de Saint-Angel, le risque d'un tel événement est très réduit.
- De plus, le site à l'étude n'est pas concerné par les cavités souterraines (source www.bdmvt.net).
- La zone d'implantation des éoliennes est concernée par un risque « retrait-gonflement des argiles » faible (source : www.argiles.fr).
- Le nombre moyen d'impacts de foudre au sol par km² et par an est compris entre 1 et 2 pour la zone d'étude. La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,57 arcs/km²/an.
- La station de Mauriac a enregistré des vitesses de vent maximales de 34 m/s le 27 décembre 1999.
- La commune de Saint-Angel n'est pas concernée par le risque incendie. Néanmoins, il est nécessaire de suivre les recommandations du SDIS Corrèze.
- Le site est éloigné de plus de 4 km des zones inondables et se localise en net surplomb par rapport au cours d'eau.
- D'après le BRGM, le risque de remontée de nappe dans le sédimentaire est nul, mais le risque de remontée de nappe dans le socle varie de très faible à des zones de nappe sub-affleurante.

- Environnement matériel :
- Deux routes départementales – RD 108 et RD 979 - sont présentes au sein de la zone d'étude de 500 m. Des routes communales et des chemins sont également recensés.
- Le site n'est pas concerné par le type de servitude ferroviaire, la voie ferrée la plus proche est à plus de 5 km au nord-est du site.
- Aucun cours d'eau navigable, aucun canal et écluse ne sont présents sur la zone d'étude.
- Le projet éolien est en dehors des servitudes aéronautiques de dégagements et de couloirs aériens militaires.
- Les éoliennes se situent en dehors de zone de protection de radar.
- Aucune zone de vol privée ne se situe dans un périmètre de 2 km autour du site.
- La zone d'étude n'est pas concernée par les lignes Haute Tension (la plus proche est à 1,4 km de E5). Aucune ligne moyenne tension n'est identifiée.
- Aucune canalisation de transport de gaz, d'hydrocarbures liquides ou de produits toxiques n'est incluse dans la zone d'étude.
- Aucune station d'épuration n'est présente sur et aux alentours de la zone d'étude.
- Aucune éolienne ne sera implantée dans un périmètre de protection de captage.
- Il est probable que des réseaux d'adduction en eau potable soient présents à proximité de l'aire d'étude, le long des routes.
- Aucun autre ouvrage public n'est situé dans la zone d'étude.

3.2. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, la cartographie suivante (carte 4) permet d'identifier **dans la zone d'étude globale (500 m) puis dans les autres zones d'études**[1] les enjeux humains exposés ainsi que la localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

Biens, infrastructures et autres établissements

Dans la zone d'étude, nous avons recensé en tant qu'infrastructures :

- Les chemins d'exploitation et plateformes des éoliennes ;
- Les chemins ;
- Les routes communales et les routes départementale D 979 et D 108 ;
- Le chemin de randonnée ;
- Le réservoir d'eau géré par Veolia.

Enjeux humains

La méthode de comptage des enjeux humains est basée sur la fiche n°1 de la Circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Elle permet d'estimer le nombre de personnes susceptibles d'être rencontrées suivants les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) présents dans la zone d'étude. Elle permettra ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques.

Les enjeux pris en compte pour les routes départementales traversant la zone d'étude ont été estimés en fonction des données de comptage routier journalier du conseil général de la Corrèze. Ces statistiques sont de 2014 et sont représentatives de la fréquentation des routes. Le chiffre du comptage routier pour la RD 979 est de 3 696 véhicules/jour. Cette route est donc considérée comme structurante (fréquentation > à 2 000 véhicules / jour).

La RD 108 possède un trafic faible et la fiche n°1 de la Circulaire du 10 mai 2010 précise que les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicules / jour) sont comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

[1] Voir parties 7 et 8 de l'étude de danger pour la définition des scenarios et des zones d'étude

Pour le chemin de promenade de randonnée, nous compterons 2 personnes pour 1 km, en considérant que ces chemins sont peu fréquentés (moins de 100 promeneurs/jour en moyenne).

Dans la zone d'étude, nous recensons donc des terrains non bâtis de plusieurs types :

- terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts...), où l'on comptera 1 personne exposée par tranche de 100 ha,
- terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes telles que la RD 108 et les routes communales, chemins, plateformes de stockage) où l'on comptera 1 personne par tranche de 10 ha.

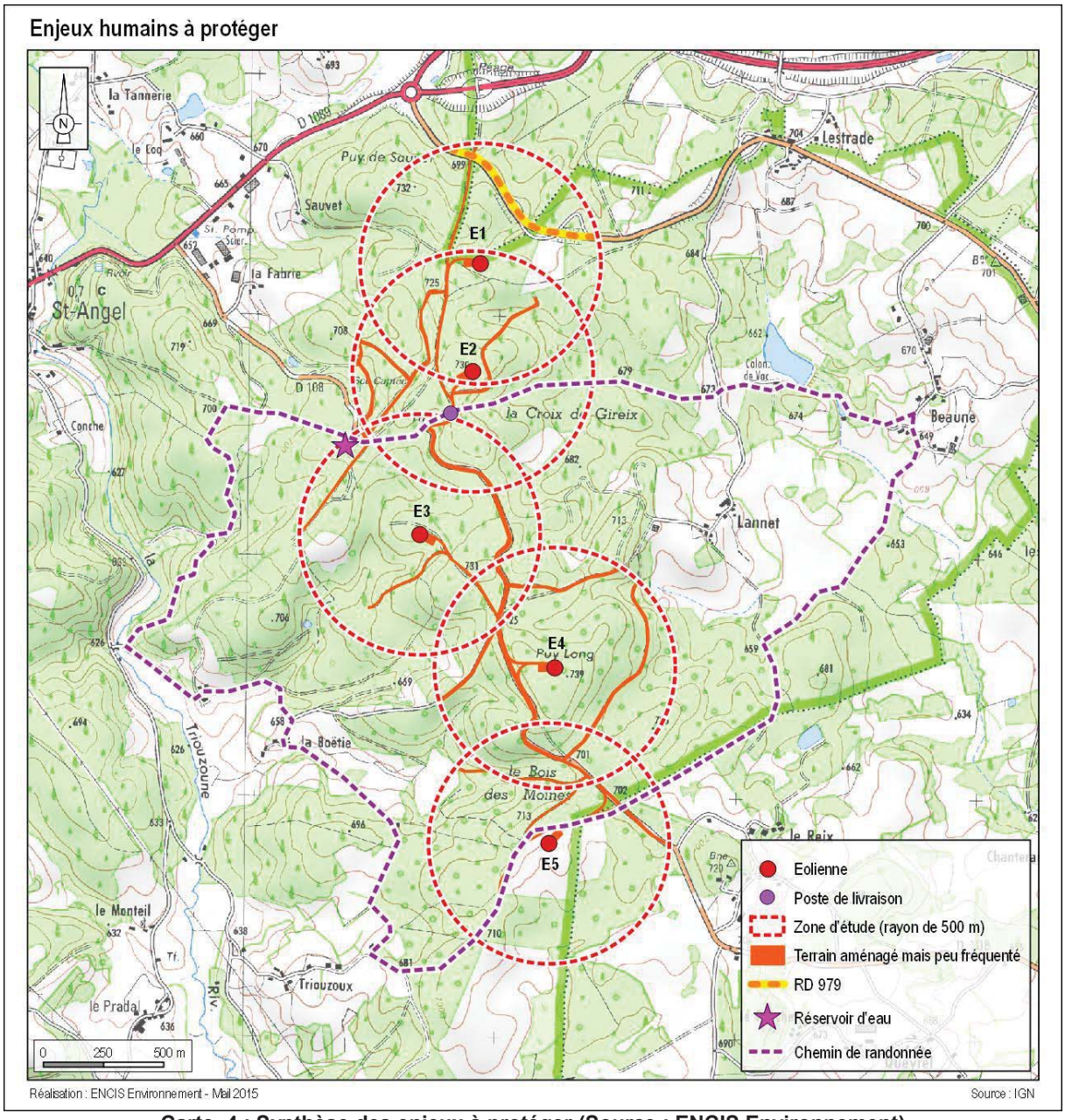
Les enjeux humains pour les bâtiments non habités ont été évalués après prise de renseignement auprès de la mairie de Saint-Angel et de Veolia, gestionnaire eau potable. Deux personnes au maximum peuvent être présentes dans ce bâtiment.

Les surfaces ont été calculées en utilisant un logiciel de SIG[2], tout en s'appuyant sur la cartographie au 1 : 25 000, le site géoportail pour les photos aériennes et le plan de masse fourni par le client. Ces données ont permis de calculer à un instant t les différentes répartitions des terrains non bâtis (dont les chemins empruntés par les véhicules agricoles). Des évolutions dans le futur peuvent avoir lieu et ne sont donc pas prises en compte.

[2] SIG : Système d'Information Géographique / logiciel utilisé : Qgis

Zone d'étude de 500 m	*Ensemble homogène*	*Surface (ha) ou Linéaire (km)*	*Règle de calcul*	*Enjeux humains (EH)*	*Enjeux humains totaux*
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,6548	1 pers/100 ha	0,766548	12,340676
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,9784	1 pers/10 ha	0,19784	
	Réseau structurant (RD 979)	0,7695	0,4 pers/km par tranche de 100 véhicules/jour	11,37	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	74,0486	1 pers/100 ha	0,740486	3,118946
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	4,5846	1 pers/10 ha	0,45846	
	Chemin de randonnée	0,960	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	1,92	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	75,4643	1 pers/100 ha	0,754643	3,915533
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	3,1689	1 pers/10 ha	0,31689	
	Chemin de randonnée	0,422	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,844	
	Bâtiment	-	Nombre de personnes max.	2	
E4	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	74,5098	1 pers/100 ha	0,745098	1,157438
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	4,1234	1 pers/10 ha	0,41234	
E5	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,0923	1 pers/100 ha	0,760923	3,143013
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,5409	1 pers/10 ha	0,25409	
	Chemin de randonnée	1,064	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,128	

Tableau 1 : Enjeux humains par éolienne



Carte 4 : Synthèse des enjeux à protéger (Source : ENCIS Environnement)

4. 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 décrite précédemment.

4.1. CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN

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 (plateformes, raccordement électrique inter-éolienne, poste de livraison et chemins d'accès).

❖ Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
    - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
    - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
    - 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.

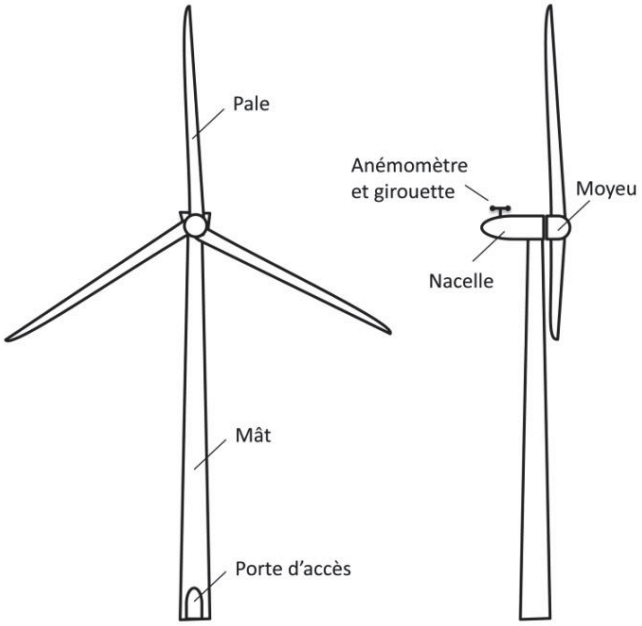


Figure 1 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

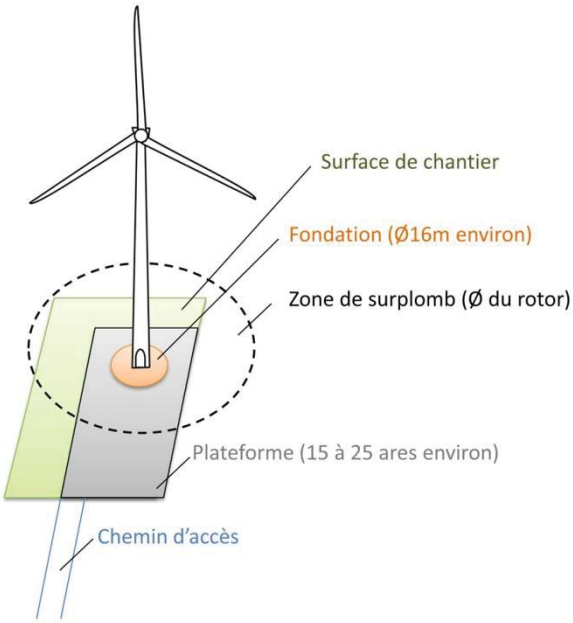


Figure 2 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

(Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150 m de hauteur totale)

❖ Chemins 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 constructions 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 existants ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles.

4.2. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien de Saint-Angel est composé de 5 aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur, de type N117, a une hauteur de moyeu de 120 mètres et un diamètre de rotor de 116,8 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 178,4 mètres.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison.

Projet éolien de Saint-Angel (19)							
EOLIENNE	**Commune**	**Section**	**N° parcelle**	**Altitude au sol**	**Hauteur**	**Altitude haut construction**	**Lambert 93**
E1	Saint-Angel	AS	24-26	722	178,4	900,4	X: 642121 Y: 6489857
E2	Saint-Angel	AS	88	730	178,4	908,4	X: 642089 Y: 6489409
E3	Saint-Angel	AY	9	720	178,4	898,4	X: 641869 Y: 6488732
E4	Saint-Angel	AW	79	739	178,4	917,4	X: 642430 Y: 6488178
E5	Saint-Angel	AY	40	710	178,4	888,4	X: 642405 Y: 6487449
PDL	Saint-Angel	AS	19	728	2,4	730,4	X: 641997 Y: 6489236

Tableau 2 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison (Source : VSB Energies Nouvelles)

Carte 5 : Plan détaillé du parc éolien de Saint-Angel (Source : VSB Energies Nouvelles)

4.3. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

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, le rotor se positionnera pour être continuellement face au vent.

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit «lent» transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide» tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite «nominale».

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2 500 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;
- le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

4.4. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

Le porteur de projet a effectué plusieurs choix techniques au cours de la conception du projet afin de réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

Il a été choisi par le porteur de projet de respecter un éloignement d'au minimum 500 m autour des habitations, par rapport aux exigences issues de la Loi Grenelle II ; de plus, l'analyse des servitudes qui grèvent le terrain et les réponses transmises par les différents services administratifs consultés ont participé au choix de localisation, de définition de l'aire d'étude et de l'implantation des éoliennes.

Le contexte essentiellement agricole de l'environnement du projet et l'absence d'autres sources de dangers à proximité (ICPE SEVESO, …) réduit les possibilités de mise en œuvre d'autres actions préventives.

Pour ce projet, la réduction des potentiels de danger à la source est donc principalement intervenue par le choix d'aérogénérateurs fiables, disposant de systèmes de sécurité performants et conformes à la réglementation en vigueur.

5. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

6. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

6.1. TABLEAUX DE SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité pour l'éolienne étudiée (N117). Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque. Les définitions sont disponibles en annexe de ce RNT.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale 178,4 m	Rapide	exposition modérée	D	Modéré
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol 54,8 m	Rapide	exposition forte	C	Sérieux
Chute de glace	Zone de survol 54,8 m	Rapide	exposition modérée	A	Modéré
Projection de pale ou de morceau de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	exposition modérée	D	Important pour E1 Sérieux pour E2, E3, E4 et E5
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne 355,2 m	Rapide	exposition modérée	B	Modéré pour E1, E3 et E4 Sérieux pour E2 et E5

Tableau 3 : Paramètres de risques

6.2. SYNTHESE DE L'ACCEPTABILITE 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.

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		Projection de pale ou de fragment de pale pour E1			
Sérieux		Projection de pale ou de fragment de pale pour E2, E3, E4 et E5	Chute d'élément de l'éolienne	Projection de glace pour E2 et E5	
Modéré		Effondrement de l'éolienne		Projection de glace pour E1, E3 et E4	Chute de glace

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

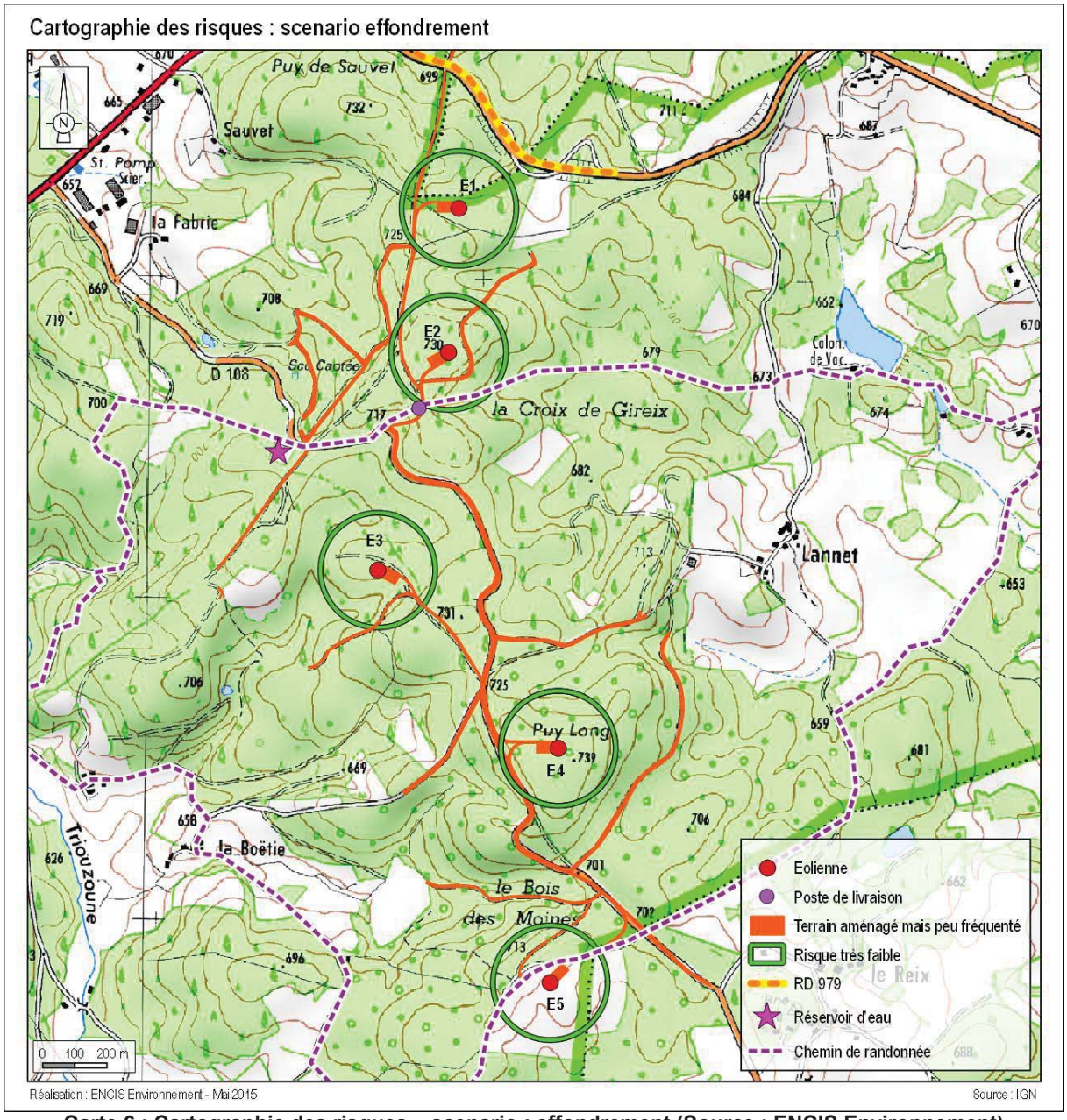
Tableau 4 : Matrice de criticité

Il apparaît au regard de cette matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- quatre types d'accident (projection de pale ou de fragment de pale pour E1, projection de glace, chute de glace et chute d'élément) figurent en case jaune. Il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de l'étude de dangers sont mises en place.

Le niveau de risque pour chaque scenario et pour chaque éolienne est jugé comme acceptable.

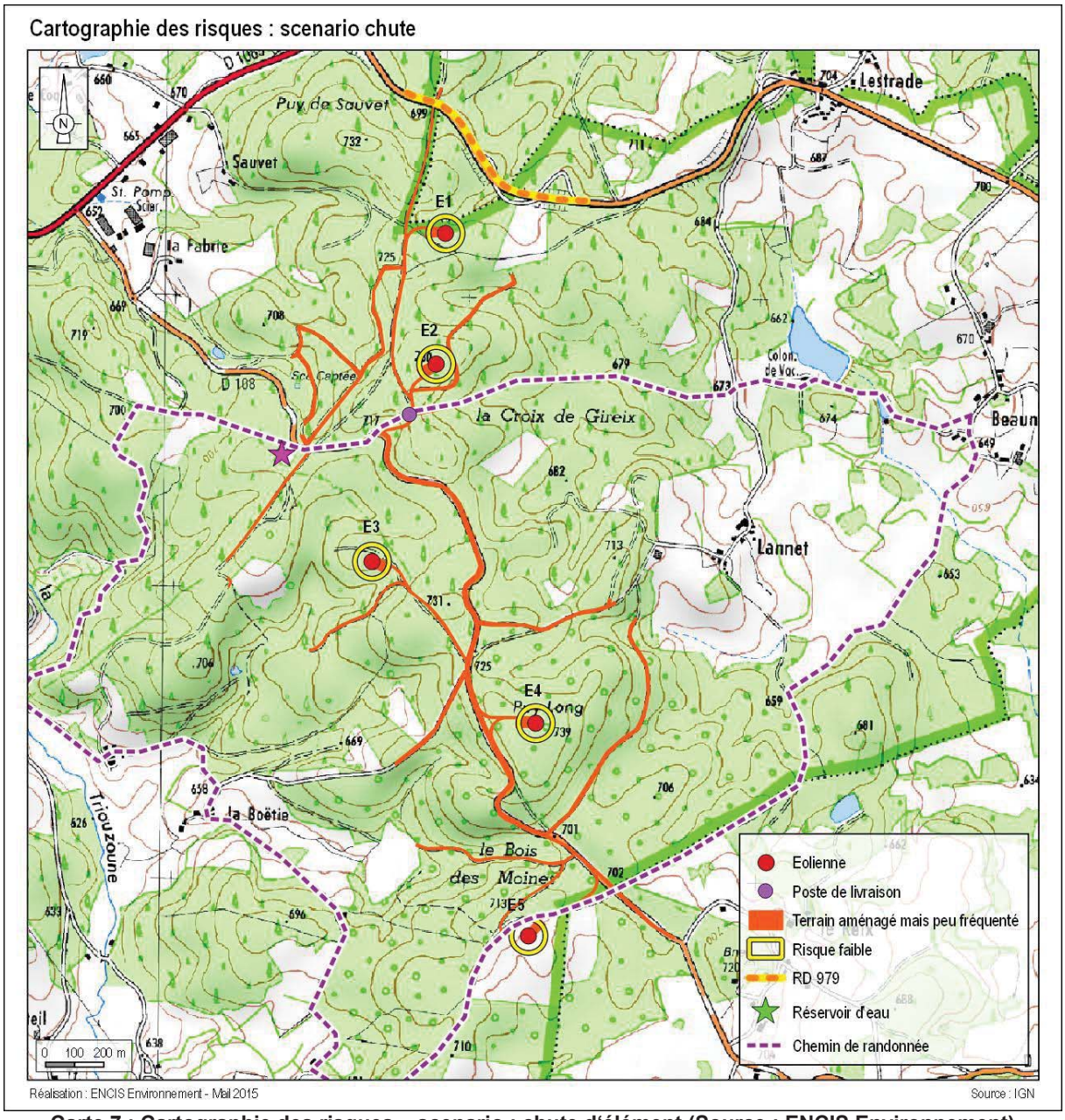
Les cartographies suivantes présentent pour chaque scenario et chaque éolienne la zone d'effet, les enjeux identifiés, l'intensité des phénomènes dangereux et le nombre de personnes exposées.



Carte 6 : Cartographie des risques – scenario : effondrement (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

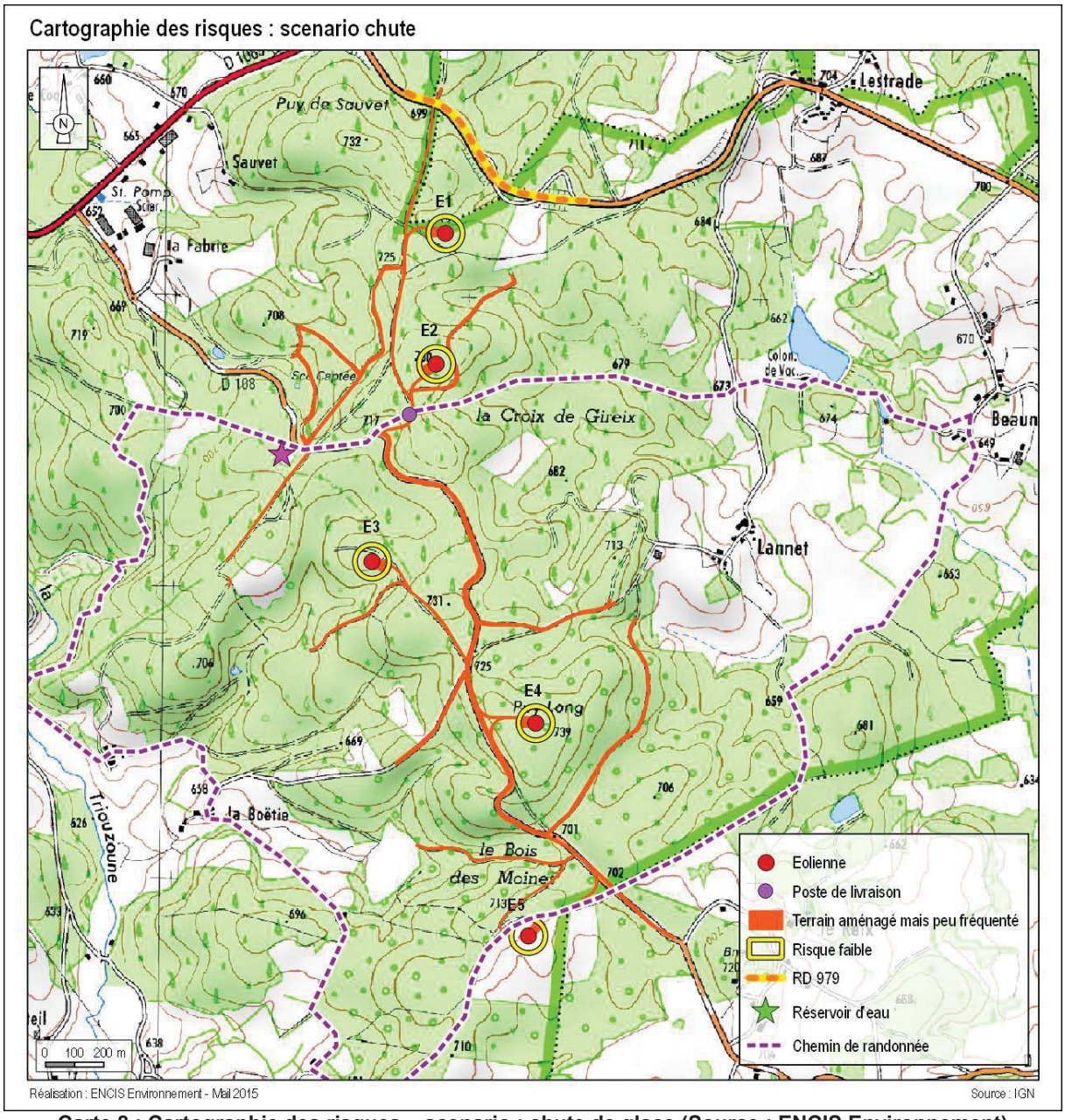
Eolienne	Enjeux humains
1	0,140012
2	0,636885
3	0,13508
4	0,153251
5	0,922685



Carte 7 : Cartographie des risques – scenario : chute d'élément (Source : ENCIS Environnement)

Exposition forte

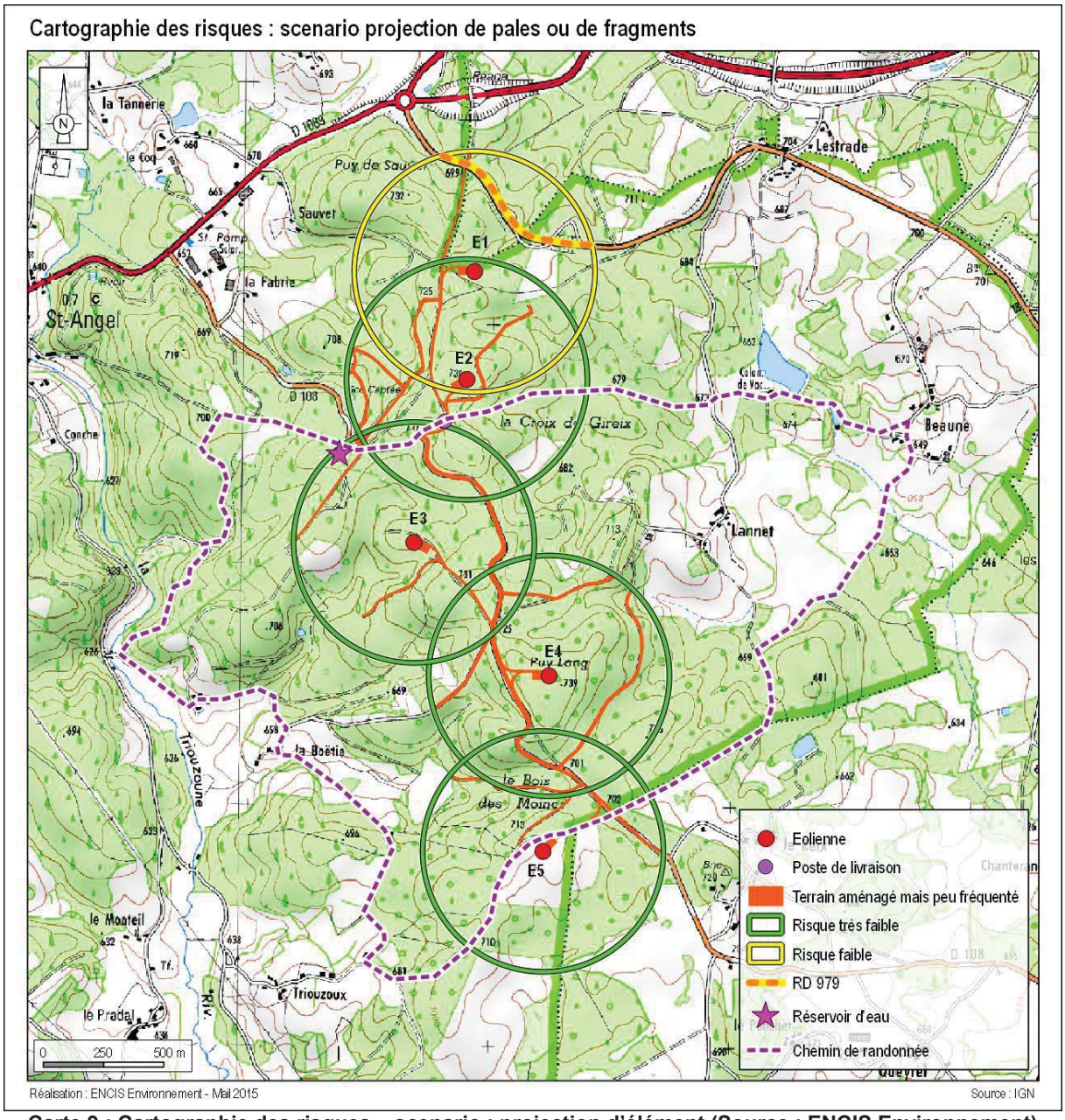
Eolienne	Enjeux humains
1	0,024327
2	0,027567
3	0,025704
4	0,026982
5	0,126001



Carte 8 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

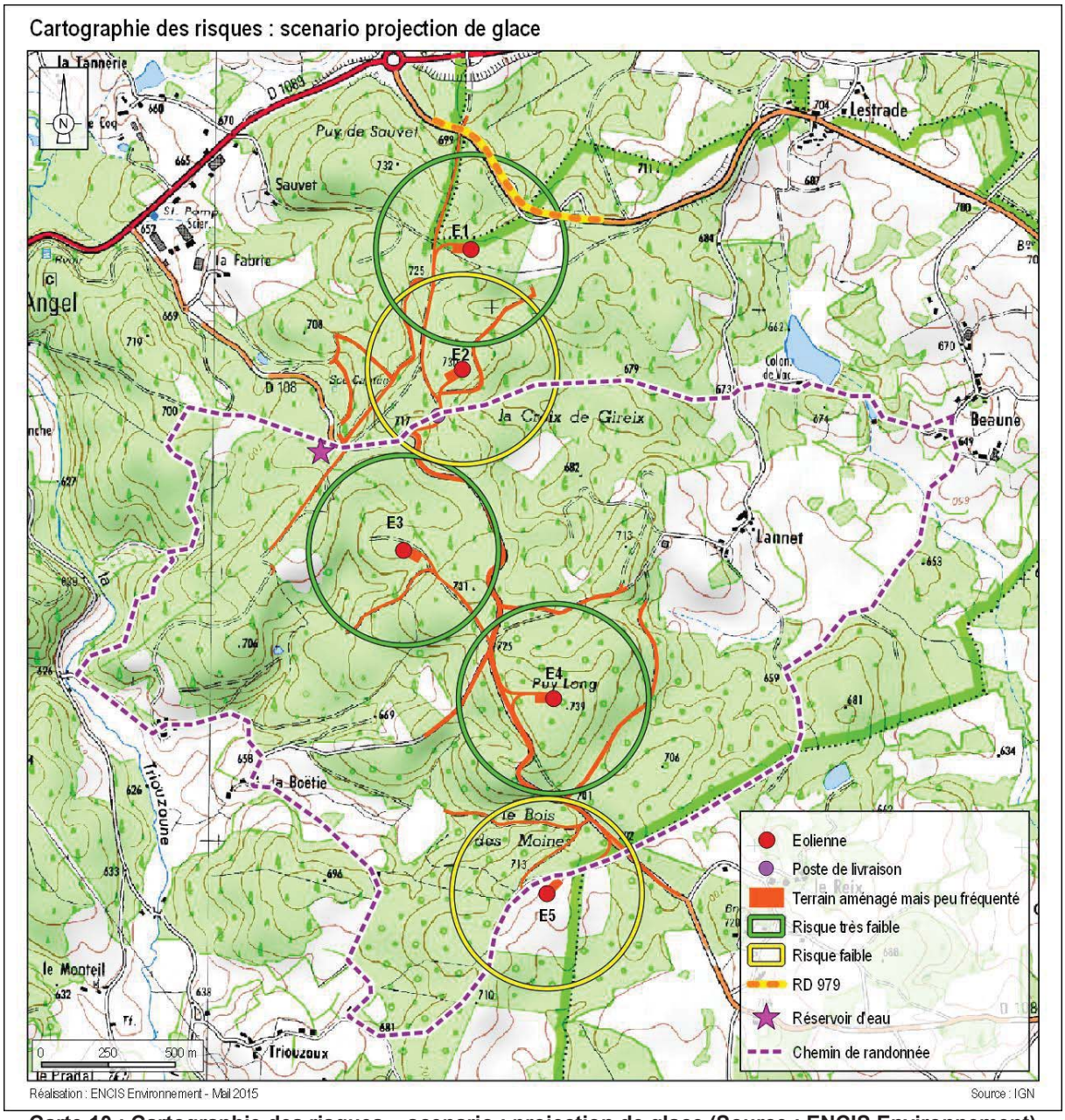
Eolienne	Enjeux humains
1	0,024327
2	0,027567
3	0,025704
4	0,026982
5	0,126001



Carte 9 : Cartographie des risques – scenario : projection d'élément (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

Eolienne	Enjeux humains
1	12,340676
2	3,118946
3	3,915533
4	1,157438
5	3,143013



Carte 10 : Cartographie des risques – scenario : projection de glace (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

Eolienne	Enjeux humains
1	0,507123
2	1,913011
3	0,51687
4	0,613341
5	2,082825

7. CONCLUSION

Suite à l'analyse menée dans cette étude de dangers, il ressort cinq accidents majeurs identifiés :

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

Pour chaque scenario, une probabilité a été calculée et une gravité donnée. Il en ressort que les risques sont très faibles (effondrement de l'éolienne, projection de glace pour E1, E3 et E4, projection d'éléments pour E2, E3, E4 et E5) et faibles (projection de pale ou de fragment de pale pour E1, projection de glace, chute de glace et chute d'élément), mais dans tous les cas acceptables.

Scénario	*Probabilité*	*Gravité*	*Acceptabilité*
Effondrement de l'éolienne	D	Modéré	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	C	Sérieux	Acceptable
Chute de glace	A	Modéré	Acceptable
Projection de pale ou de morceau de pale	D	Important pour E1 Sérieux pour E2, E3, E4 et E5	Acceptable
Projection de glace	B	Modéré pour E1, E3 et E4 Sérieux pour E2 et E5	Acceptable

Tableau 5 : Synthèse des scénarios et des risques

L'exploitant, de par sa démarche en amont, a réussi à limiter les risques. En effet, il a choisi de s'éloigner des habitations et les distances aux différentes infrastructures (ERP, routes) sont suffisantes pour avoir un risque acceptable.

De plus, son installation est conforme à la réglementation en vigueur (arrêté du 26/08/2011 relatif aux ICPE) et aux normes de construction.

Afin de garantir un risque acceptable sur l'installation, l'exploitant a mis en place des mesures de sécurité (voir tableau suivant) et a organisé une maintenance périodique (trois mois après le début de l'exploitation, puis tous les six mois).

Numéro de la fonction de sécurité	*Fonction de sécurité*	*Mesures de sécurité*
1	**Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace**	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.
2	**Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace**	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées
3	**Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques**	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement
4	**Prévenir la survitesse**	Détection de survitesse et système de freinage.
5	**Prévenir les courts-circuits**	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.
6	**Prévenir les effets de la foudre**	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur
7	**Protection et intervention incendie**	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours
8	**Prévention et rétention des fuites**	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution
9	**Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)**	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)
10	**Prévenir les erreurs de maintenance**	Procédure maintenance
11	**Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort**	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite
12	**Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau**	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.

Tableau 6 : Mesure de sécurité

ANNEXES : DEFINITIONS

CINETIQUE

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 [13], 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.

INTENSITE

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 [13]).

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 [13] 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 : seuils 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 %

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement.

GRAVITE

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 dans le paragraphe précédent.

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 1 personne 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 »

PROBABILITE

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

Niveaux	***Echelle qualitative***	***Echelle 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*** Evénement 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.	$\leq 10^{-5}$

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, la probabilité de chaque événement accidentel identifié pour une éolienne est déterminée en fonction :

- de la bibliographie relative à l'évaluation des risques pour des éoliennes
- du retour d'expérience français
- des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 Septembre 2005

Il convient de noter que la probabilité qui sera évaluée pour chaque scénario d'accident correspond à la probabilité qu'un événement redouté se produise sur l'éolienne (probabilité de départ) et non à la

probabilité que cet événement produise un accident suite à la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte). En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement.

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 :

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

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

$P_{orientation}$ = 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)

$P_{présence}$ = 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.

5.2 - ETUDE DE DANGERS

encis environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable

encis environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable

Novembre 2015

DEMANDE D'AUTORISATION UNIQUE DU PARC EOLIEN DE SAINT-ANGEL

5.2 Etude de dangers

Département : Corrèze

Communes : Saint-Angel, Ussel et Valiergues

Lieux-dits : la Croix de Gireix, Puy Long, le Bois des Moines, les Baneaux et la Vergne Blanche

Maître d'ouvrage :

VSB énergies nouvelles
27, quai de la Fontaine . 30900 Nîmes
Tél. 04 66 21 78 43 . Fax 04 66 21 83 34

ENCIS Environnement

Rédacteur : Elisabeth GALLET-MILONE

PREAMBULE

Depuis le 13 juillet 2011, tout parc éolien terrestre comportant au moins un aérogénérateur de plus de 50 m ou ayant une puissance de plus de 20 MW est soumis au régime « autorisation » des ICPE (Nomenclature ICPE : rubrique 2980). Dans le cadre de ce classement, une demande d'autorisation d'exploiter ICPE doit être fournie en plus du dossier de demande de permis de construire. Le dossier de demande d'autorisation d'exploiter est constitué d'une lettre de demande signée ainsi que des pièces annexes : cartes et plans, étude d'impact sur l'environnement, étude de danger et notice hygiène et sécurité.

Le présent document est l'étude de dangers pour le parc éolien de Saint-Angel, situé sur les communes de Saint-Angel, Ussel et Valiergues, en Corrèze (19).

L'étude de dangers recense, à partir d'une description de l'installation et de son environnement, les phénomènes dangereux possibles, leurs conséquences, leurs probabilités d'occurrence et leurs cinétiques pour évaluer leurs criticités en vue de proposer des mesures d'amélioration (préventives et correctives).

Cette étude a été réalisée à partir du guide technique élaboré par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des Energies Renouvelables : porteurs de projets, exploitants de parcs éoliens et constructeurs d'éoliennes et qui présente les méthodes et outils nécessaires à la réalisation d'une étude de dangers.

SOMMAIRE

Introduction 7

Contexte réglementaire 9

Application du régime des installations classées aux parcs éoliens 9
Réglementation relative à l'étude de dangers 10

1. PREAMBULE 13

1.1. Objectif de l'étude de dangers 13

1.2. Nomenclature ICPE du parc éolien de Saint-Angel 14

2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION 15

2.1. Renseignements administratifs 15

2.2. Localisation du site 15

2.3. Définition de l'aire d'étude 17

3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION 18

3.1. Environnement humain 18

3.1.1. Zones urbanisées 18

3.1.2. Etablissements recevant du public (ERP) 19

3.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base 19

3.1.4. Autres activités 20

3.2. Environnement naturel 22

3.2.1. Contexte climatique 22

3.2.2. Risques naturels 23

3.3. Environnement matériel 25

3.3.1. Voies de communication 25

3.3.2. Réseaux publics et privés 26

3.3.3. Autres ouvrages publics 26

3.4. Cartographie de synthèse 26

4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION 39

4.1. Caractéristiques de l'installation 39

4.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien 39

4.1.2. Activité de l'installation 41

4.1.3. Composition de l'installation 41

4.2. Fonctionnement de l'installation 43

4.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur 43

4.2.2. Fonction et caractéristiques du parc éolien de Saint-Angel 43

4.2.3. Sécurité de l'installation 46

4.2.4. Opérations de maintenance de l'installation 52

4.2.5. Stockage et flux de produits dangereux 52

4.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation 52

4.3.1. Raccordement électrique 52

4.3.2. Autres réseaux *54*

5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION 55

5.1. Potentiels de dangers liés aux produits 55

5.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation 57

5.3. Réduction des potentiels de dangers à la source 57

5.3.1. Principales actions préventives *57*

5.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles *58*

6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE 59

6.1. Inventaire des accidents et incidents en France 59

6.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international 62

6.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience 64

6.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France *64*

6.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents *64*

6.4. Limites d'utilisation de l'accidentologie 65

7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES 66

7.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques 66

7.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques 66

7.3. Recensement des agressions externes potentielles 66

7.3.1. Agression externes liées aux activités humaines *67*

7.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels *67*

7.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques 68

7.5. Effets dominos 71

7.6. Mise en place des mesures de sécurité 71

7.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques 78

8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES 79

8.1. Rappel des définitions 79

8.1.1. Cinétique *79*

8.1.2. Intensité *79*

8.1.3. Gravité *80*

8.1.4. Probabilité *81*

8.1.5. Acceptabilité *82*

8.2. Caractérisation des scénarios retenus 82

8.2.1. Effondrement de l'éolienne *83*

8.2.2. Chute de glace *86*

8.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne *90*

8.2.4. Projection de pales ou de fragments de pales *93*

8.2.5. Projection de glace *96*

8.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques 99

8.3.1. Tableau de synthèse des scénarios étudiés *99*

8.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques *100*

8.3.3. Cartographie des risques *100*

9. CONCLUSION 106

Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne 108

Terrains non bâtis 108
Voies de circulation 108
Logements 109
Etablissements recevant du public (ERP) 109
Zones d'activité 110

Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française 111

Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques 118

Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02) 118
Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07) 118
Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02) 119
Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03) 120
Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06) 120
Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10) 121

Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel 122

Annexe 5 – Glossaire 123

Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées 127

INTRODUCTION

A la suite des accords du protocole de Kyoto et conformément à la directive européenne 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables, la France s'est engagée à augmenter la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité au niveau national.

En particulier, la loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE) a donné un cap à suivre pour les décennies suivantes. Cette loi s'était construite autour de quatre grands objectifs à long terme :

- l'indépendance énergétique du pays ;
- l'assurance de prix compétitifs de l'énergie ;
- la garantie de la cohésion sociale et territoriale par l'accès de tous à l'énergie ;
- la préservation de la santé, notamment en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre.

Les objectifs par filière ont été déclinés dans des arrêtés de programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (arrêtés PPI). L'éolien représente une des technologies les plus prometteuses pour atteindre les objectifs fixés par la France. Ainsi, l'arrêté du 15 décembre 2009 a fixé des objectifs ambitieux pour l'éolien :

- 10 500 MW terrestres et 1 000 MW en mer en 2012,
- 19 000 MW terrestres et 6 000 MW en mer en 2020.

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, les engagements de la France en matière de production d'énergies renouvelables ont été confirmés, précisés et élargis. La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement (loi Grenelle I) prévoit que la France porte la part des énergies renouvelables à au moins 23 % de sa consommation d'énergie finale d'ici 2020.

La publication de ces objectifs, dans un contexte mondial favorable au développement des énergies renouvelables, a donc permis un développement technologique spectaculaire. Alors que, dans les années 1980, une éolienne permettait d'alimenter environ 10 personnes en électricité, une éolienne de nouvelle génération fournit en moyenne de l'électricité pour 2 000 personnes hors chauffage (source : SER-FEE, ADEME).

Au 30 juin 2014, la puissance installée en France atteignait ainsi 8 575 MW, permettant la production de 17,5 TWh (contre 15,9 TWh en 2013). Le taux moyen de couverture de la consommation électrique par la production éolienne a donc atteint 3,7 % sur la période du 1er juillet 2013 au 30 juin 2014.

Si les éoliennes ont évolué en taille et en puissance dans le monde entier, leur technologie actuelle est également sensiblement différente des premières éoliennes installées. Les technologies sont aujourd'hui plus sûres et plus fiables grâce à de nombreuses évolutions technologiques telles que :

- les freins manuels (sur le moyeu) de rotor qui ont été remplacés par des systèmes de régulation aérodynamiques (pitch), évitant l'emballement et assurant des vitesses de rotation nominales constantes ;
- l'évolution des matériaux des pales vers des fibres composites ;
- le développement de nouveaux systèmes de communication par fibre optique, satellites, etc. qui ont permis d'améliorer la supervision des sites et la prise de commande à distance ;
- l'installation de nouveaux systèmes de sécurité (détection de glace, vibrations, arrêt automatiques, etc.).

Ainsi, les premiers incidents qui ont été rencontrés (bris de pales, incendies, effondrement, etc.) ont amené les constructeurs à améliorer sans cesse leurs aérogénérateurs. Grâce à ces évolutions, et le retour d'expérience le montre bien, les incidents sont aujourd'hui très rares et concernent en majorité des éoliennes d'ancienne génération.

Il convient aussi de noter qu'à ce jour, en France et dans le monde, aucun accident n'a entraîné la mort d'une personne tierce (promeneurs, riverains) du fait de l'effondrement d'éoliennes, de bris de pales ou de projections de fragment de pales.

La loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (loi Grenelle II) réaffirme tout d'abord la nécessité du développement de la filière éolienne pour atteindre les objectifs nationaux fixés dans les PPI. En particulier, l'article 90 fixe l'objectif d'installer au moins 500 aérogénérateurs par an en France.

Cette loi prévoit d'autre part de soumettre les éoliennes au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Conformément à cette nouvelle réglementation, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de dangers.

Ainsi, le présent guide s'inscrit dans une double démarche :

- d'une part réglementaire pour vérifier que les risques des parcs éoliens sont maîtrisés, et cela en toute transparence avec le grand public ;
- d'autre part méthodologique, pour permettre aux exploitants de formaliser et d'améliorer sans cesse les mesures de maîtrise des risques qu'ils mettent en place.

CONTEXTE REGLEMENTAIRE

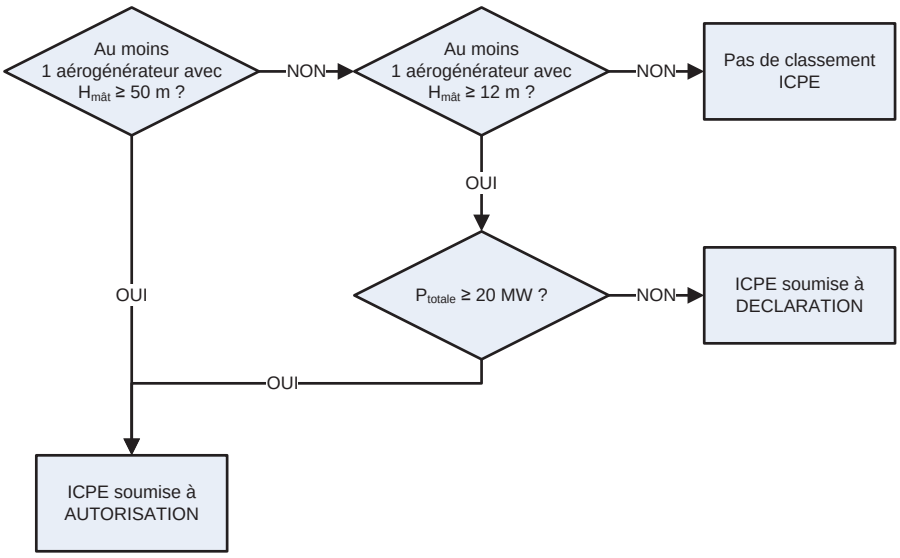
Application du régime des installations classées aux parcs éoliens

En application de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle II, les éoliennes sont désormais soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

En effet, l'article 90 de ladite loi précise que « *les installations terrestres de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent constituant des unités de production telles que définies au 3° de l'article 10 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité, et dont la hauteur des mâts dépasse 50 mètres sont soumises à autorisation au titre de l'article L. 511-2, au plus tard un an à compter de la date de publication de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 précitée.* »

Le décret n°2011-984 du 23 août 2011, modifiant l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, crée la rubrique 2980 pour les installations de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs. Il prévoit deux régimes d'installations classées pour les parcs éoliens terrestres :

- Le régime d'autorisation pour les installations comprenant au moins une éolienne dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m et pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est supérieure ou égale à 20 MW
- Le régime de déclaration pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est inférieure à 20 MW



La réglementation prévoit que, dans le cadre d'une demande d'autorisation d'exploiter, l'exploitant doit réaliser une étude de dangers.

Enfin, 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 prévoit un certain nombre de dispositions par rapport à l'implantation, la construction, l'exploitation et la prévention des risques. Ces prescriptions nationales sont applicables à tous les nouveaux parcs éoliens et, pour partie, aux installations existantes. Elles devront être prises en compte dans le cadre de l'étude de dangers.

Réglementation relative à l'étude de dangers

Selon l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, 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. Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

> ***Article L. 512-1 du Code de l'environnement :***
>
> *Sont soumises à autorisation préfectorale les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés à l'article L. 511-1.*
>
> *L'autorisation ne peut être accordée que si ces dangers ou inconvénients peuvent être prévenus par des mesures que spécifie l'arrêté préfectoral.*
>
> *Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.*
>
> *Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite.*
>
> *Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.*
>
> *La délivrance de l'autorisation, pour ces installations, peut être subordonnée notamment à leur éloignement des habitations, immeubles habituellement occupés par des tiers, établissements recevant du public, cours d'eau, voies de communication, captages d'eau, ou des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers. Elle prend en compte les capacités techniques et financières dont dispose le demandeur, à même de lui permettre de conduire son projet dans le respect des intérêts visés à l'article L. 511-1 et d'être en mesure de satisfaire aux obligations de l'article L. 512-6-1 lors de la cessation d'activité.*

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que 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 de dangers des installations classés soumises à autorisation [10] 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 s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement (notamment le paysage), 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 donc 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 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.

Article R. 512-9 du Code de l'environnement :

I. - L'étude de dangers mentionnée à l'article R. 512-6 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 de l'installation.

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 la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles L. 211-1 et L. 511-1.

II. - Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le demandeur dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8[1], le demandeur doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.

L'étude comporte, notamment, un résumé non technique explicitant la probabilité, la cinétique et les zones d'effets des accidents potentiels, ainsi qu'une cartographie des zones de risques significatifs.

Le ministre chargé des installations classées peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour l'établissement des études de dangers, par arrêté pris dans les formes prévues à l'article L. 512-5. Pour certaines catégories d'installations impliquant l'utilisation, la fabrication ou le stockage de substances dangereuses, le ministre chargé des installations classées peut préciser, par arrêté pris sur le fondement de l'article L. 512-5, le contenu de l'étude de dangers portant, notamment, sur les mesures d'organisation et de gestion propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident majeur.

III. - Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8, l'étude de dangers est réexaminée et, si nécessaire, mise à jour au moins tous les cinq ans, sans préjudice de l'application des dispositions de l'article R. 512-31. Cette étude, mise à jour, est transmise au préfet.

Enfin, d'autres textes législatifs et réglementaires, concernant les installations classées soumises à autorisation, s'appliquent aux études de dangers, notamment en ce qui concerne les objectifs et la méthodologie à mettre en œuvre :

- **Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages
- **Décret n°2005-1170 du 13 septembre 2005** modifiant le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
- **Arrêté du 10 mai 2000** relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **Arrêté du 29 septembre 2005** modifiant l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des 1accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **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.

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

[1] Les installations soumises à la rubrique 2980 des installations classées (parcs éoliens) ne font pas partie de cette liste.

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'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 classés soumises à autorisation [10] fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident 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 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 terme 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'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 précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

1. PREAMBULE

1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par VSB Energies Nouvelles pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Saint-Angel, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc éolien de Saint-Angel. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Saint-Angel, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

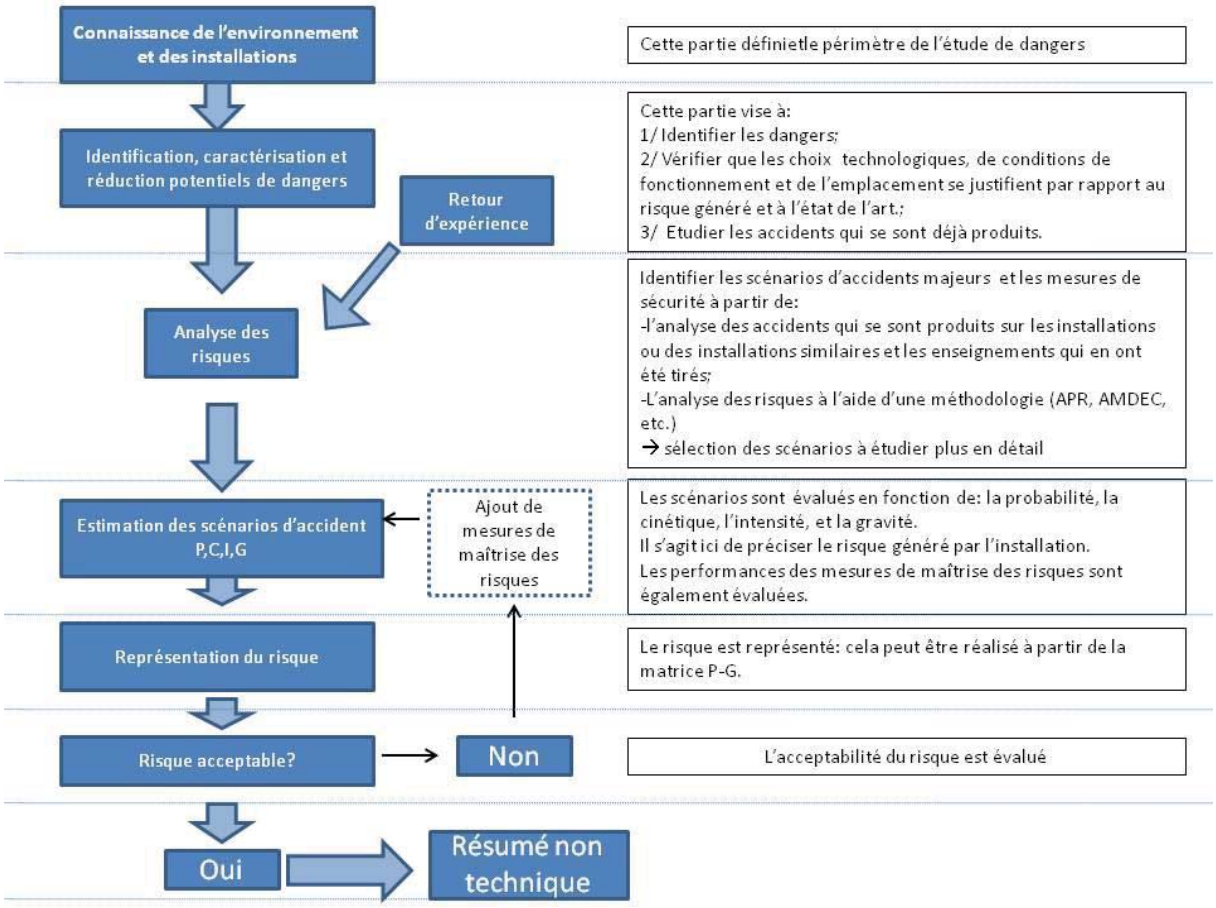
Ainsi, cette étude permet une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

- améliorer la réflexion sur la sécurité à l'intérieur de l'entreprise afin de réduire les risques et optimiser la politique de prévention ;
- favoriser le dialogue technique avec les autorités d'inspection pour la prise en compte des parades techniques et organisationnelles dans l'arrêté d'autorisation ;
- informer le public dans la meilleure transparence possible en lui fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

L'étude de dangers s'articule autour de plusieurs axes :

- **Identifier les enjeux pour permettre une bonne caractérisation des conséquences des accidents** (présence et vulnérabilité de maisons, infrastructures, etc.). Cette étape s'appuie sur une description et caractérisation de l'environnement.
- **Connaître les équipements étudiés pour permettre une bonne compréhension des dangers potentiels qu'ils génèrent.** Cette étape s'appuie sur une description des installations et de leur fonctionnement.
- **Identifier les potentiels de danger.** Cette étape s'appuie sur une identification des éléments techniques et la rechercher de leurs dangers. Suit une étape de réduction / justification des potentiels.
- **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.). Cette étape s'appuie sur un retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs).
- **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). Cette étape utilise notamment les outils d'analyses de risques classiques (tableaux d'Analyse Préliminaire des Risques par exemple).
- **Caractériser et classer les différents phénomènes et accidents en termes de probabilités, cinétique, intensité et gravité.** C'est l'étape détaillée des risques, avec mise en œuvre des outils de quantification en probabilité et en intensité / gravité.
- **Réduire le risque si nécessaire.** Cette étape s'appuie sur des critères d'acceptabilité du risque : si le risque est jugé inacceptable, des évolutions et mesures d'amélioration sont proposées par l'exploitant.
- **Représenter le risque.** Cette étape s'appuie sur une représentation cartographique.
- **Résumer l'étude de dangers.** Cette étape s'appuie sur un résumé non technique de l'étude des dangers.

Le graphique ci-dessous synthétise ces différentes étapes et leurs objectifs :



Si la démarche de réduction du risque est considérée comme acceptable, une représentation cartographique et un résumé non-technique sont réalisés.

1.2. NOMENCLATURE ICPE DU PARC EOLIEN DE SAINT-ANGEL

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	REGIME (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m……..... 2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée : a) supérieure ou égale à 20 MW……..... b) inférieure à 20 MW…….....…….....	A A D	6 6
(1) A : Autorisation, D : Déclaration. (2) Rayon d'affichage en kilomètres.			

Le parc éolien de Saint-Angel comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale 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 d'exploiter.

2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le demandeur du projet est :

VSB énergies nouvelles
27 quai de la Fontaine – 30900 Nîmes
SIRET : 439 697 178 000 374

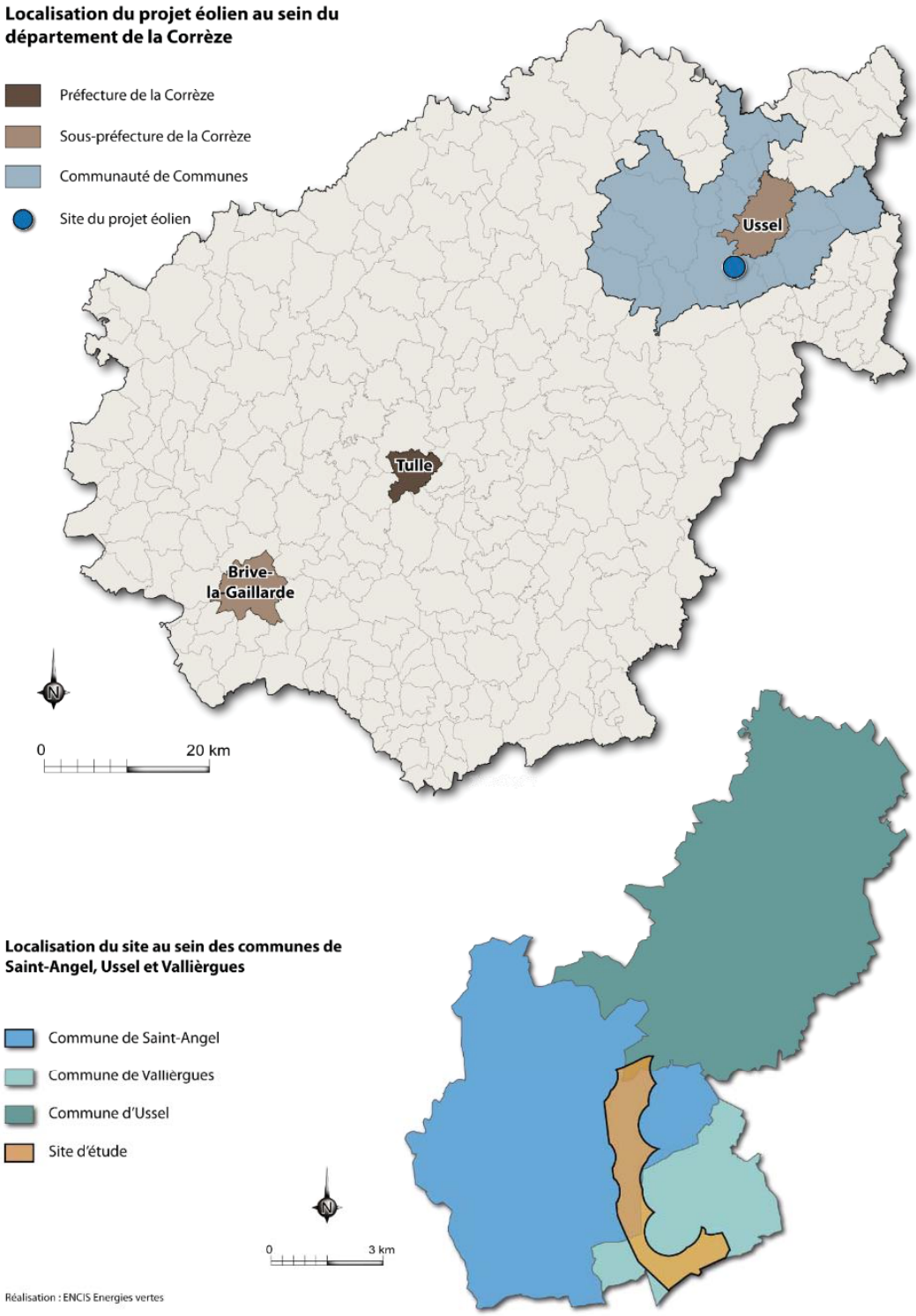
La réalisation de cette étude de danger a été effectuée par Elisabeth GALLET-MILONE :

ENCIS Environnement
1 avenue d'Ester
87 069 LIMOGES
SIRET : 539 97 183 800 013

2.2. LOCALISATION DU SITE

Le parc éolien de Saint-Angel est localisé sur les communes de Saint-Angel, Ussel et Valiergues, dans le département de la Corrèze (19), en région Limousin.

Carte 1 : Localisation du site en France (Source : ENCIS Environnement)



Carte 2 : Localisation du site au sein du département et des communes (Source : ENCIS Environnement)

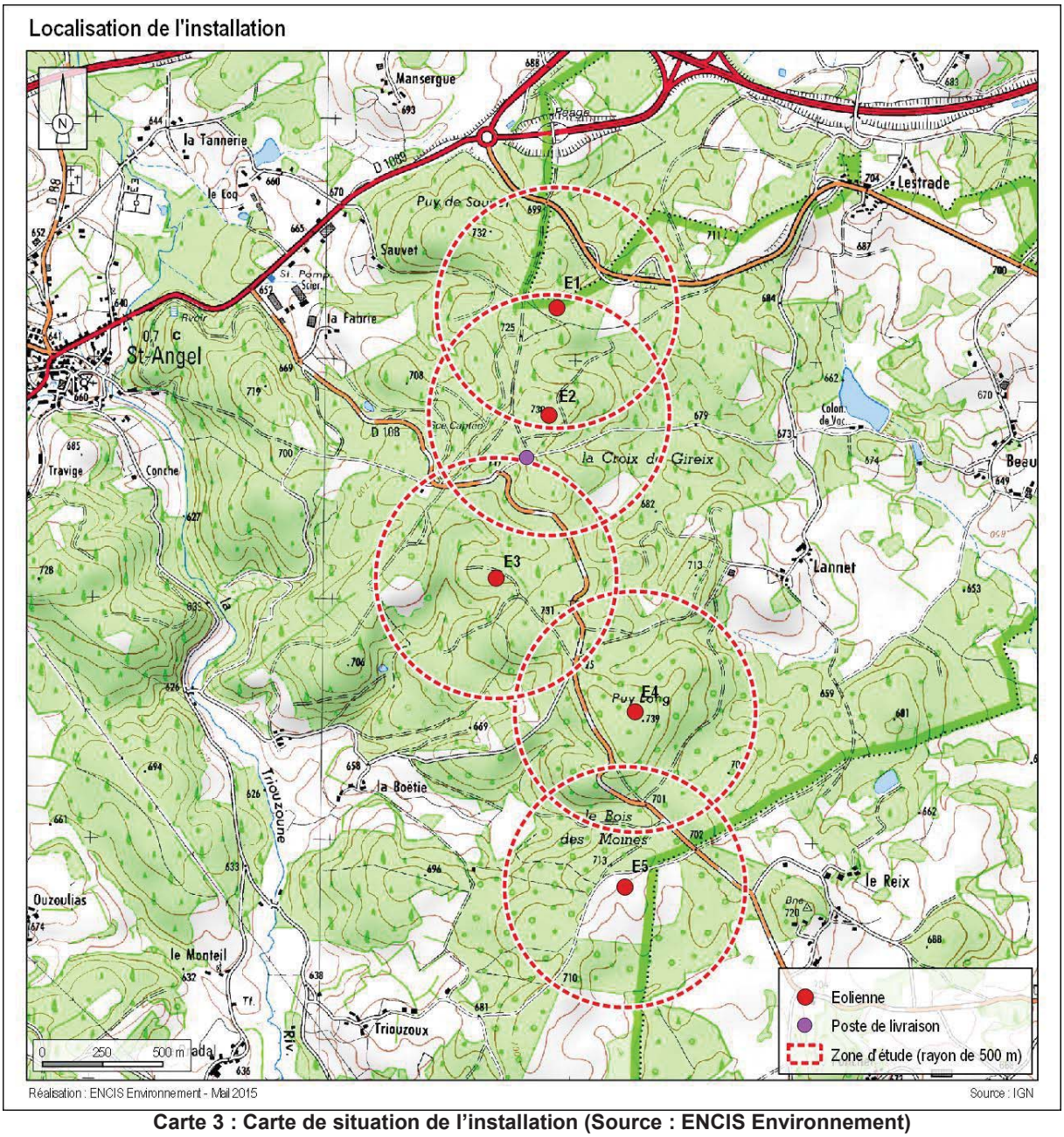
2.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne.

Chaque aire d'étude 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. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe 8.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui est néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

Seront appelées dans la suite du document « zone d'étude » les aires d'étude des éoliennes, définies par un cercle de rayon inférieur ou égal à 500 m.



Carte 3 : Carte de situation de l'installation (Source : ENCIS Environnement)

3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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).

3.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

3.1.1. ZONES URBANISEES

La population de la commune de Saint-Angel est de 683 habitants[2], celle d'Ussel est de 10 226 et Valiergues compte 143 habitants.

Aucune habitation n'est présente dans la zone d'étude. De même, aucune zone destinée à l'habitation n'est présente dans cette zone d'étude.

Le tableau suivant précise la distance des éoliennes par rapport aux premières habitations :

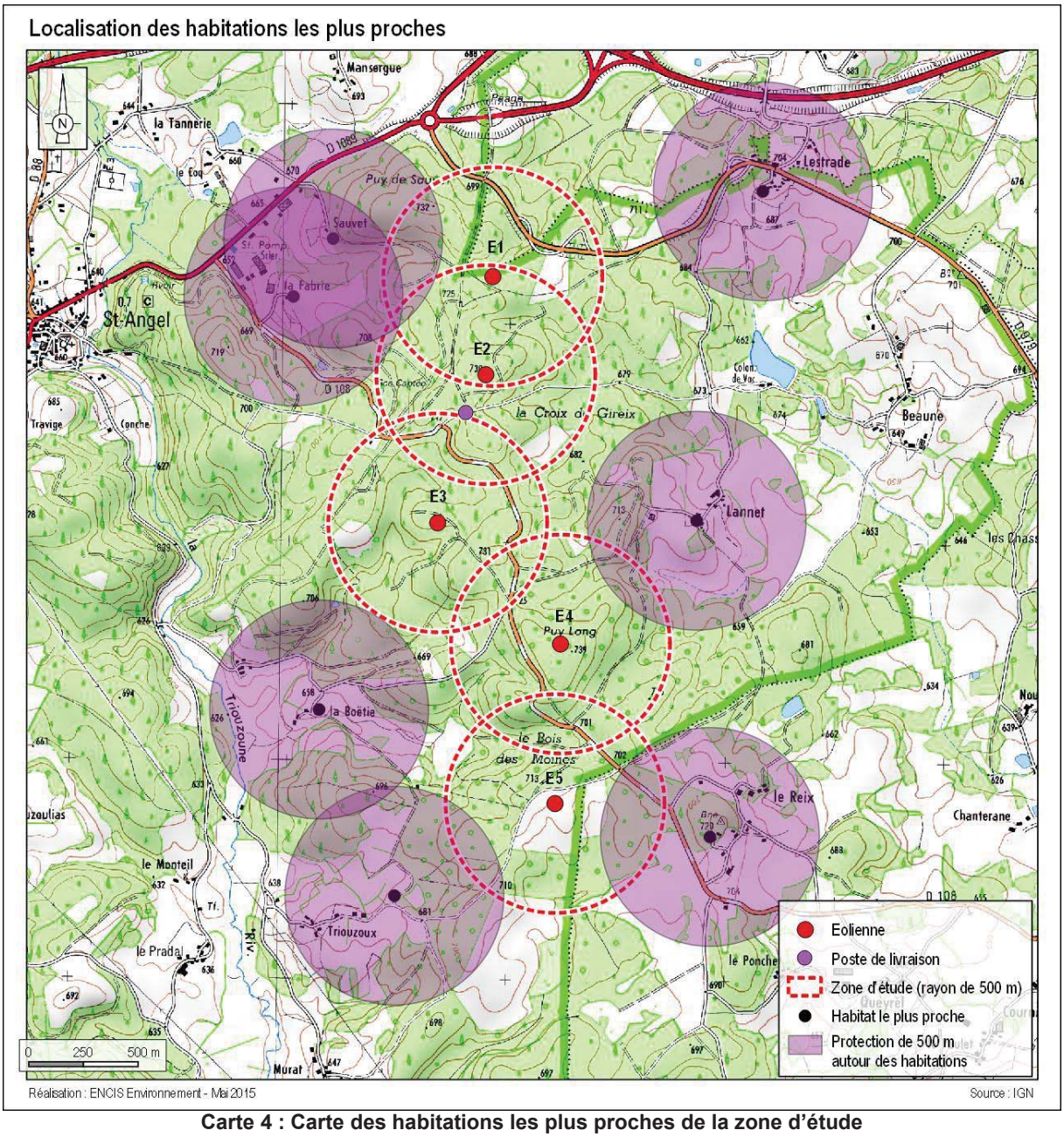
Nom des lieux de vie	Distance à l'éolienne (en m) la plus proche[3]
Le Reix	719 m
Sauvet	778 m
Lannet	811 m
La Fabrie	900 m
Mansergue	1 km
Triouzoux	1,1 km
La Boëtie	1,1 km
Le Ponchet	1,2 km
Lestrade	1,3 km
Queyrel	1,5 km
L'Empereur	1,5 km
Le Monteil	1,6 km
La Tannerie	1,6 km
Murat	1,6 km
Le Pradal	1,7 km
Liez	1,7 km
Cleyrergue	1,7 km
Moncourrier	1,7 km
Arfeuille	2 km

Tableau 1 : Distance des éoliennes par rapport aux premières habitations

[2] INSEE, référencement 2009

[3] Distances non vérifiées par un géomètre

Les habitations les plus proches du projet – Le Reix – sont localisées à environ 720 mètres de l'éolienne E5.



Carte 4 : Carte des habitations les plus proches de la zone d'étude (Sources : IGN, ENCIS Environnement)

3.1.2. ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Aucun ERP n'est présent dans les limites de la zone d'étude.

3.1.3. INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE) ET INSTALLATIONS NUCLEAIRES DE BASE

Les ICPE les plus proches sont recensées dans le tableau suivant. La plus proche est située à plus de 2 km du site, aucune n'est localisée dans la zone d'étude.

Sites	Communes	Régimes	Distances approximatives aux éoliennes
MALAQUI ET FILS SARL	Saint-Angel	Non-Seveso	2 km
ABATTOIR MUNICIPAL USSEL	Ussel	Inconnu	> 6 km
CONSTELLIUM USSEL (EX. SFU)	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
GOUNY & CIE	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
ISOROY SAS USSEL	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
JELD WEN	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
PIERRE FABRE MEDICAMENT	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
POLYREY	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
SYTTOM 19 – USSEL	Ussel	Non-Seveso	> 6 km
Salaisons des Monts de LA COSTE	Ussel	Inconnu	> 6 km

Tableau 2 : Liste des ICPE

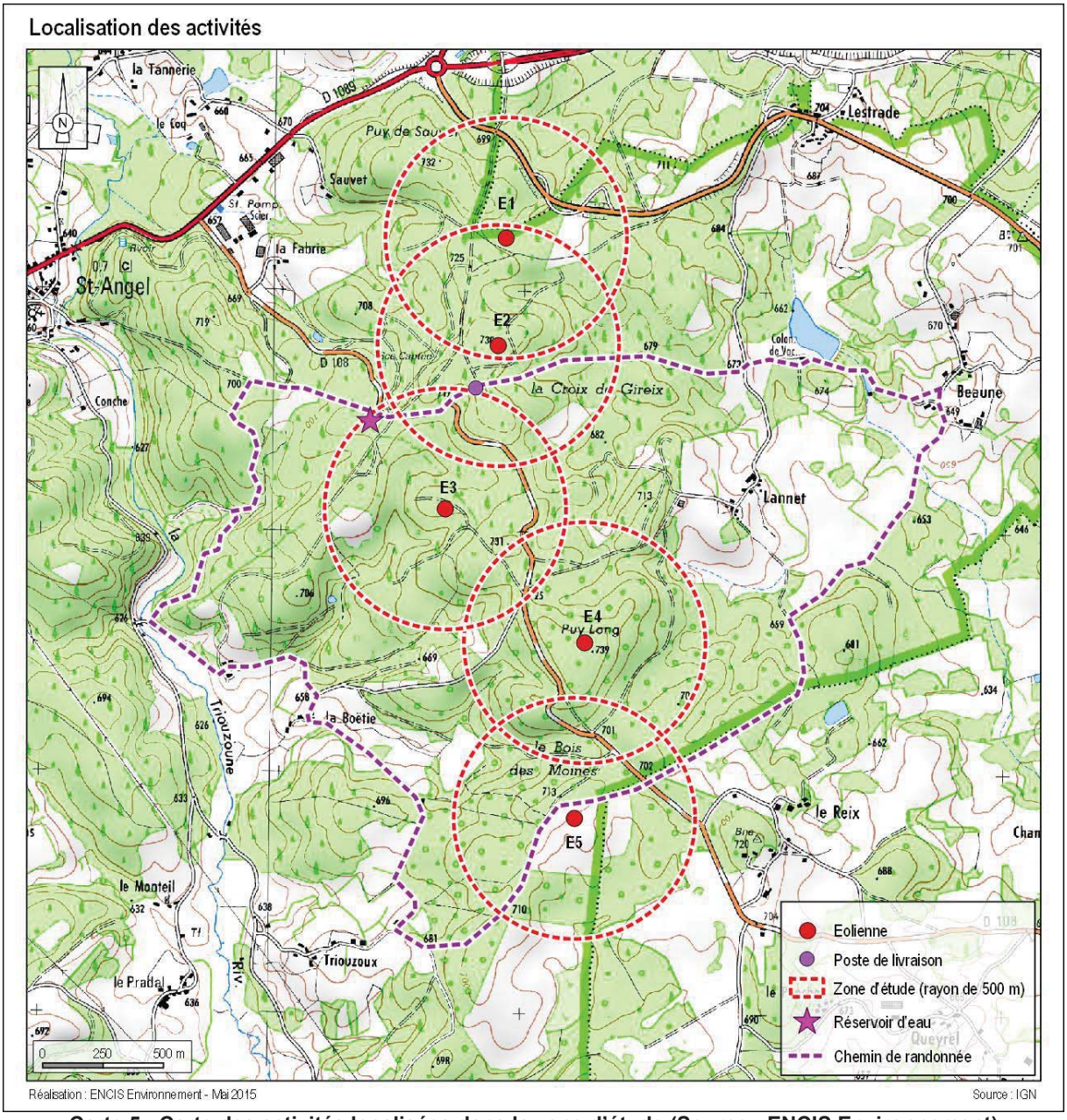
Il n'y a aucune Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) classée « SEVESO » sur la commune étudiée. Le site « SEVESO » seuil haut le plus proche est localisé à Brive (19) à plus de 60 km au sud-ouest ; le site « SEVESO » seuil bas le plus proche est à Tulle (19) à 45 km au sud-ouest.

Il n'y a pas d'installation nucléaire dans la zone d'étude ou à proximité, la plus proche se localise à Civaux, à plus de 150 km.

3.1.4. AUTRES ACTIVITES

Un bâtiment est référencé au sein de la zone d'étude : à environ 500 m de l'éolienne E3. Il s'agit d'un réservoir d'eau. Selon Veolia, le gestionnaire, deux personnes maximum peuvent être présentes dans ce bâtiment, pour une fréquence de deux fois par semaine maximum.

Un chemin de randonnée est également recensé dans la zone d'étude de 500 m autour des éoliennes : il s'agit du chemin « le Prieuré de Saint-Angel ».



Carte 5 : Carte des activités localisées dans la zone d'étude (Source : ENCIS Environnement)

3.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

3.2.1. CONTEXTE CLIMATIQUE

Situé à 200 km du littoral océanique, le Limousin est la première marche du Massif Central. La région offre donc un climat océanique, pluvieux et frais, fortement modulé par le relief. En effet, la pluviométrie moyenne en Limousin atteint 1 000 mm, la moyenne française étant de 800 mm. Mais une observation à une échelle géographique plus fine fait apparaître une nette corrélation entre l'orographie et la pluviosité : seulement 800 mm/an en Basse Marche à 200 m d'altitude contre plus de 1 700 mm sur le plateau de Millevaches à 900 m d'altitude. Le projet éolien se situe sur la bordure sud du plateau de Millevaches.

Ainsi, le climat du secteur de Saint-Angel est un climat à tendance océanique. Il est relativement humide avec des précipitations pouvant être importantes pour la région (environ 1200 mm) et des températures moyennes comprises entre 8 et 9 °C.

La station météorologique la plus proche est la station de Mauriac, dans le Cantal, située à environ 26 kilomètres au sud du site. Elle nous renseigne sur certaines caractéristiques climatiques essentielles de la zone d'étude.

Les températures

A la station de Mauriac, la température moyenne annuelle est de 10,4°C. L'amplitude thermique reste modérée, de l'ordre de 15°C. La température record minimale a été enregistrée le 9 février 2012 et était de -15,3° ; le record maximal a été de 37,4° (le 12 juillet 2003).

Les précipitations

Les précipitations enregistrées à la station de Mauriac sont de 1200 mm/an.

Le vent

D'après l'analyse de la rose des vents du mât implanté sur site, les vents dominants suivent principalement un axe sud-sud-ouest et nord-nord-est.

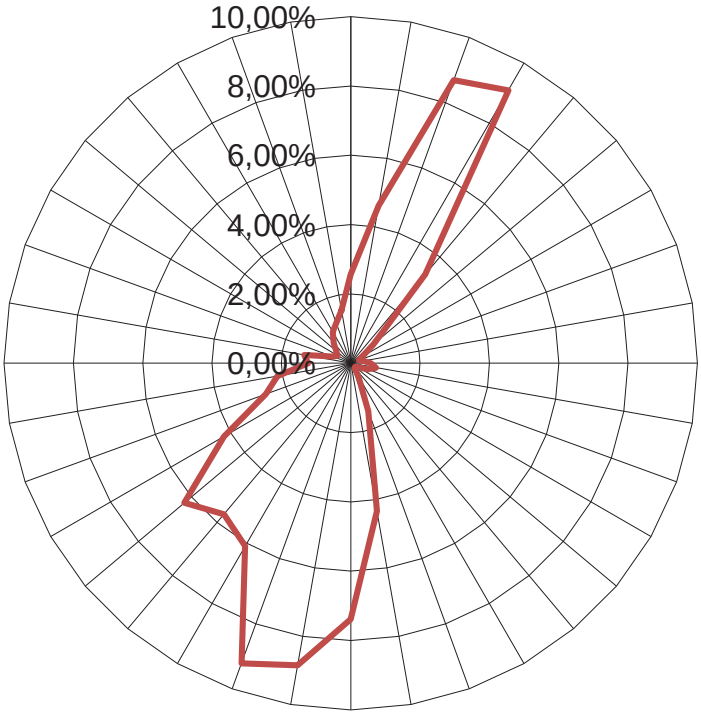


Figure 1 : Rose des vents sur site – mai 2013 à février 2014 (Source : VSB Energies Nouvelles)

3.2.2. RISQUES NATURELS

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.

Le risque sismique

Selon le décret n°2010-1255, le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes :

- Zone de sismicité 1 (très faible) ;
- Zone de sismicité 2 (faible) ;
- Zone de sismicité 3 (modéré) ;
- Zone de sismicité 4 (moyenne) ;
- Zone de sismicité 5 (forte).

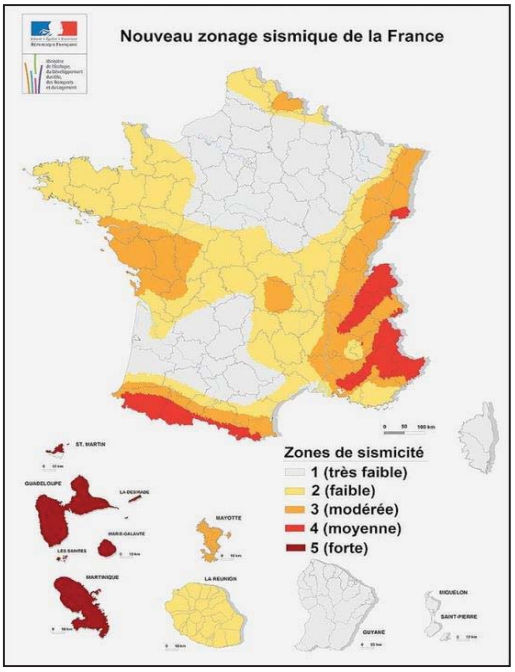


Figure 2 : Carte du zonage sismique en France (source Ministère de l'écologie)

D'après le zonage sismique précédent, le site d'étude est en zone de sismicité 1 soit une probabilité d'occurrence des séismes très faible.

Les tableaux ci-après reprennent les séismes ressentis à Ussel, d'après la base de données SisFrance. Les deux autres communes concernées par le projet n'ont pas de données enregistrées.

Date	Heure	Choc	Localisation épicentrale	Région ou pays de l'épicentre	Intensité épicentrale	Intensité dans la commune
7 Novembre 1982	2 h 1 min 15 sec		COMBRAILLE (ST-ELOY-LES-MINES)	AUVERGNE	5	3
7 Septembre 1972	22 h 26 min 54 sec		ILE D'OLERON	CHARENTES	7	3
26 Septembre 1925	5 h 5 min	Z	MARCHE-BOISCHAUT (CHATEAUMEILLANT-LA CHATRE)	BERRY	6,5	
26 Août 1892	4 h 40 min		CEZALLIER (MASSIAC)	AUVERGNE	6	4
26 Août 1892	10 h 10 min		LIMAGNE (ISSOIRE)	AUVERGNE	7	4

Tableau 3 : Séismes ressentis à Ussel (Source : SisFrance)

Le risque mouvements de terrain

D'après la base de données du site www.bdmvt.net qui recense tous les mouvements de terrain, le risque de mouvement de terrain existe en Corrèze. 363 mouvements de terrain ont été recensés dans ce département. Aucun mouvement de terrain n'a été recensé dans les 2 km.
Etant donné les caractéristiques du sous-sol, du sol et de la topographie du site de Saint-Angel, le risque d'un tel événement est très réduit.

Le risque cavités souterraines

Le site à l'étude n'est pas concerné par les cavités souterraines (source www.bdmvt.net).

Aléa retrait-gonflement des argiles

Les sols argileux voient leur consistance se modifier en fonction de leur teneur en eau. Ces modifications se traduisent par une variation de volume. En climat tempéré, les argiles sont souvent proches de leur état de saturation et donc de leur état de gonflement. En revanche, en période sèche, les mouvements de retrait peuvent être importants. Ce phénomène naturel résulte de plusieurs éléments :

- la nature du sol (sols riches en minéraux argileux « gonflants »),
- les variations climatiques (accentuées lors des sécheresses exceptionnelles),
- la végétation à proximité de la construction, des fondations pas assez profondes et/ou l'absence de structures adaptées lors de la construction...

A la demande du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, le BRGM a élaboré des cartes d'aléa retrait-gonflement d'argiles par département ou par commune.

Ces cartes ont pour but de délimiter toutes les zones qui sont a priori sujettes au phénomène de retrait-gonflement d'argiles et de hiérarchiser ces zones selon un degré d'aléa croissant :

- aléa fort : correspond aux zones où la probabilité de l'aléa est la plus élevée et où l'intensité des phénomènes est la plus forte,
- aléa moyen : correspond aux zones intermédiaires de potentialité d'aléa,
- aléa faible : correspond aux zones où la probabilité de l'aléa est possible en cas de sècheresse importante mais une faible proportion des bâtiments seraient touchés,
- aléa nul : correspond aux zones où les données n'indiquent pas de présence d'argiles.

Le Limousin n'est pas une région concernée par des catastrophes naturelles liées aux retraits-gonflements d'argile.

Le site d'implantation se trouve dans un secteur qualifié par un aléa faible (source : www.argiles.fr).

Le risque Foudre

Le nombre moyen d'impacts de foudre au sol par km² et par an est compris entre 1 à 2 pour la zone d'étude. La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,57 arcs/km²/an.

Le risque tempêtes

La station de Mauriac a enregistré des vitesses de vent maximales de 34 m/s le 27 décembre 1999.

Le risque incendies

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs (2010), en application de la loi 2001- 602 du 9 juillet 2001 d'orientation sur la forêt et, conformément à l'article L 321.6 du code forestier, le département de la Corrèze n'est pas considéré comme un département situé dans une région particulièrement exposée aux risques d'incendie de forêts et n'est donc pas soumis à l'élaboration d'un plan de protection des forêts contre les incendies.

Aucune commune du département n'est répertoriée à risque majeur feux de forêts. L'aire d'étude immédiate n'est par conséquent pas en risque feu de forêt. Néanmoins, il est nécessaire de suivre les recommandations du SDIS Corrèze.

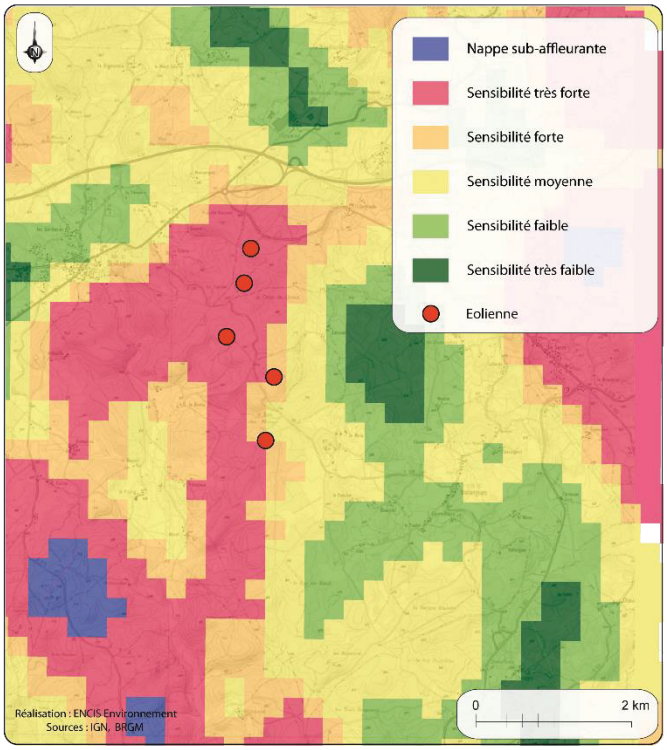
Le risque inondations

Le site est éloigné de plus de 4 km des zones inondables et se localise en net surplomb par rapport à ces zones.

Le risque remontée de nappes

Le département de la Corrèze et l'aire d'étude reposent sur un socle. D'après le BRGM, le risque de remontée de nappe dans le sédimentaire est nul, mais le risque de remontée de nappe dans le socle varie de très faible à des zones de nappe sub-affleurante.

La carte suivante présente les différentes sensibilités liées aux remontées de nappes de socle au niveau et à proximité du site d'implantation des éoliennes.



Carte 6 : Zones de sensibilité aux inondations par remontées de nappes de socle

3.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

3.3.1. VOIES DE COMMUNICATION

Dans cette partie de l'étude de dangers sont répertorié l'ensemble des réseaux de communication présents dans la zone d'étude.

Le transport routier

Deux routes départementales – RD 108 et RD 979 - est présente au sein de la zone d'étude de 500 m. Des routes communales et des chemins sont également recensés.

Le transport ferroviaire

Le site n'est pas concerné par une voie ferrée (la plus proche est à plus de 5 km au nord du site).

Le transport fluvial

Aucun cours d'eau navigable, aucun canal et écluse ne sont présents sur la zone d'étude.

Le transport aérien

Le radar le plus proche est le radar militaire basse altitude de type « Centaure » du Mont Audouze (nord-ouest de l'aire d'étude immédiate), à une distance d'environ 22 kilomètres de l'aire d'étude immédiate. De fait, le projet de parc éolien de Saint-Angel se trouve dans la « zone d'accord » du radar. Suite à la consultation de la ZAD Sud, ces derniers émettent un avis favorable au projet. Le projet éolien est donc compatible avec les servitudes radar militaire.
Le radar primaire le plus proche se situe à Toulouse (31), à une distance de plus de 215 kilomètres de l'aire d'étude immédiate. Le radar secondaire de la Bachellerie (87) se trouve à environ 110 kilomètres au nord-ouest. De fait, le projet de parc éolien de Saint-Angel se trouve en dehors de la zone de coordination de ces radars. Le projet éolien n'est donc pas grevé par une servitude radar de l'aviation civile.

Aucune zone de vol privée ne se situe dans un périmètre de 2 km autour du site.

3.3.2. RESEAUX PUBLICS ET PRIVES

Dans cette partie sont recensées les principales installations publiques présentes dans les limites de la zone d'étude.

Le transport d'électricité

La zone d'étude de 500 m n'est pas concernée par les lignes Haute Tension. Les plus proches sont les deux lignes, Eguzon – Mole 3 et Goudounèche – Mole d'une tension d'alimentation respective de 225 000 et 90 000 volts. Au plus près, une distance de 1,4 km les sépare des éoliennes (E5).

Aucune ligne Moyenne Tension n'est identifiée.

Les canalisations de transport

Aucune canalisation de transport de gaz, d'hydrocarbures liquides ou de produits toxiques n'est incluse dans la zone d'étude. La plus proche se situe à environ 1,5 km.

Réseau d'assainissement

Aucune station d'épuration n'est présente sur et aux alentours de la zone d'étude.

Le réseau d'alimentation en eau potable

Aucune éolienne ne sera implantée dans un périmètre de protection de captage.

Il est probable que des réseaux d'adduction en eau potable soient présents dans l'aire d'étude immédiate, le long des routes.

3.3.3. AUTRES OUVRAGES PUBLICS

Aucun autre ouvrage public n'est situé dans la zone d'étude.

3.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, la cartographie suivante (carte 7) permet d'identifier **dans la zone d'étude globale (500 m) puis dans les autres zones d'études**[4] les enjeux humains exposés ainsi que la localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

Biens, infrastructures et autres établissements

Dans la zone d'étude, nous avons recensé en tant qu'infrastructures :

- Les chemins d'exploitation et plateformes des éoliennes ;
- Les chemins ;
- Les routes communales et les routes départementale D 979 et D 108 ;
- Le chemin de randonnée ;
- Le réservoir d'eau géré par Veolia.

Enjeux humains

La méthode de comptage des enjeux humains est basée sur la fiche n°1 de la Circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Elle permet d'estimer le nombre de personnes susceptibles d'être rencontrées suivants les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) présents dans la

[4] Voir parties 7 et 8 pour la définition des scenarios et des zones d'étude

zone d'étude. Elle permettra ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques.

Les enjeux pris en compte pour les routes départementales traversant la zone d'étude ont été estimés en fonction des données de comptage routier journalier du conseil général de la Corrèze. Ces statistiques sont de 2014 et sont représentatives de la fréquentation des routes. Le chiffre du comptage routier pour la RD 979 est de 3 696 véhicules/jour. Cette route est donc considérée comme structurante (fréquentation > à 2 000 véhicules / jour).

La RD 108 possède un trafic faible et la fiche n°1 de la Circulaire du 10 mai 2010 précise que les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicules / jour) sont comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

Pour le chemin de promenade de randonnée, nous compterons 2 personnes pour 1 km, en considérant que ces chemins sont peu fréquentés (moins de 100 promeneurs/jour en moyenne).

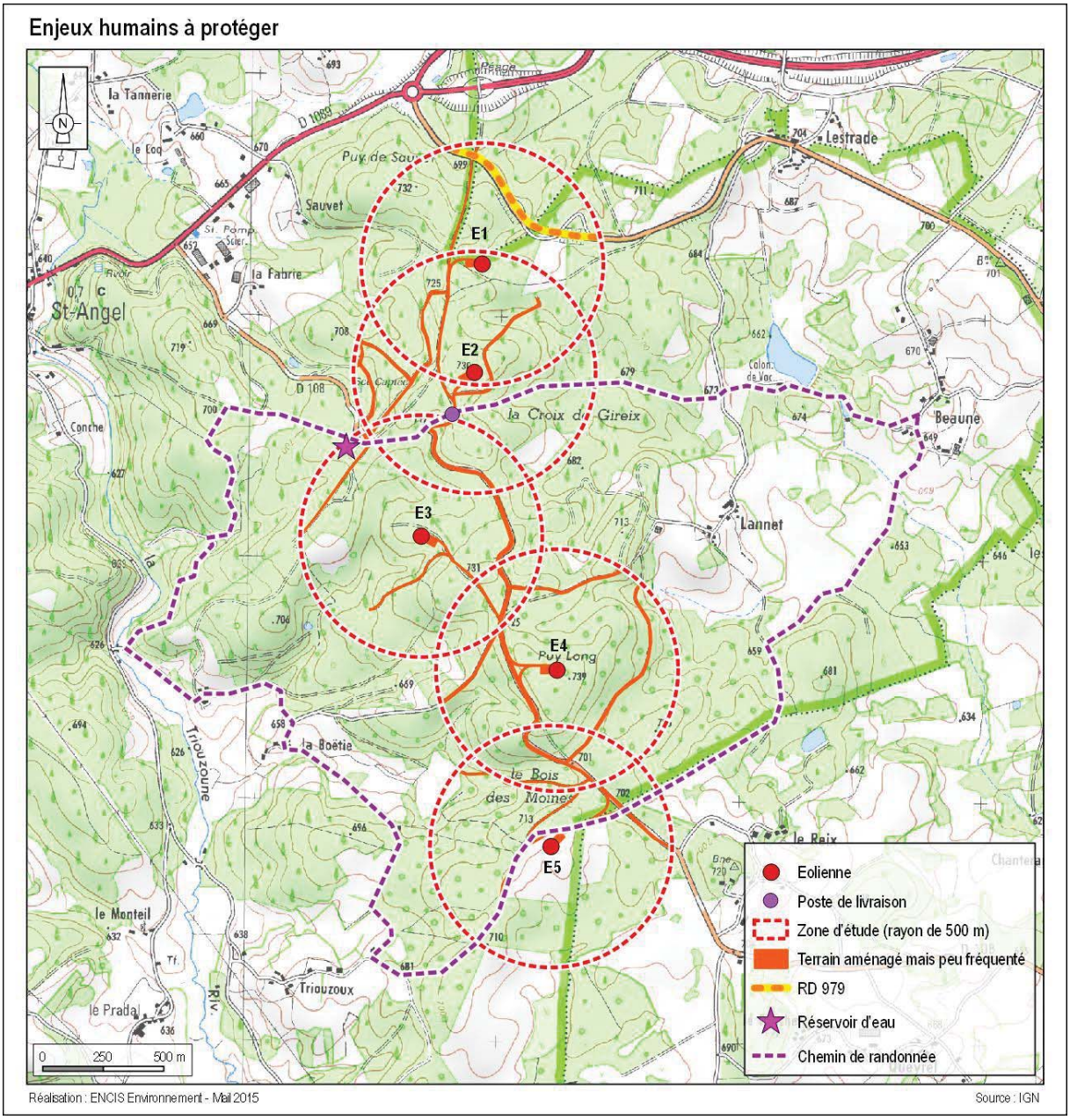
Dans la zone d'étude, nous recensons donc des terrains non bâtis de plusieurs types :

- terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts...), où l'on comptera 1 personne exposée par tranche de 100 ha,
- terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes telles que la RD 108 et les routes communales, chemins, plateformes de stockage) où l'on comptera 1 personne par tranche de 10 ha.

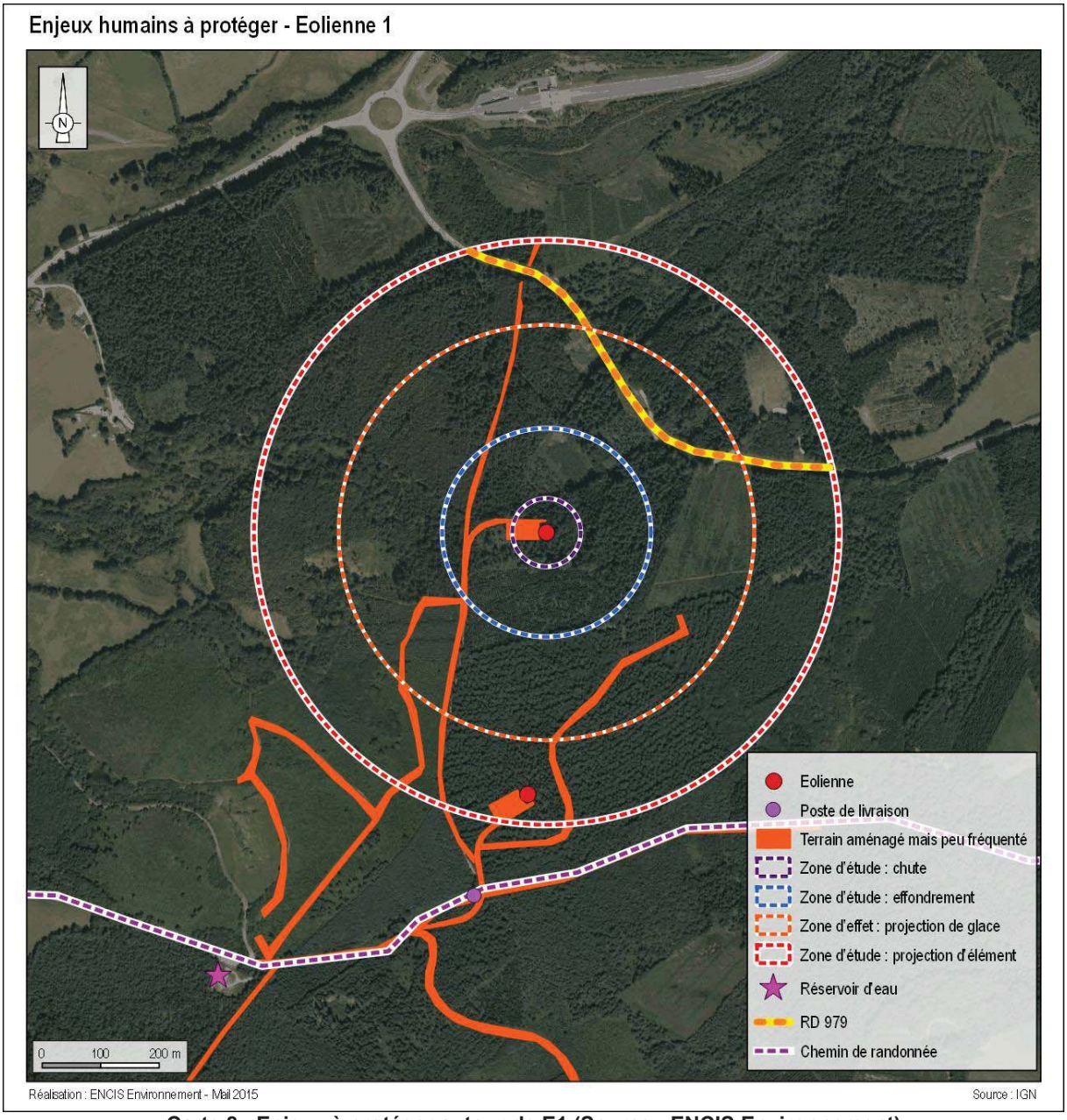
Les enjeux humains pour les bâtiments non habités ont été évalués après prise de renseignement auprès de la mairie de Saint-Angel et de Veolia, gestionnaire eau potable. Deux personnes au maximum peuvent être présentes dans ce bâtiment.

Les surfaces ont été calculées en utilisant un logiciel de SIG[5], tout en s'appuyant sur la cartographie au 1 : 25 000, le site géoportail pour les photos aériennes et le plan de masse fourni par le client. Ces données ont permis de calculer à un instant t les différentes répartitions des terrains non bâtis (dont les chemins empruntés par les véhicules agricoles). Des évolutions dans le futur peuvent avoir lieu et ne sont donc pas prises en compte.

[5] SIG : Système d'Information Géographique / logiciel utilisé : Qgis



Carte 7 : Enjeux à protéger (Source : ENCIS Environnement)



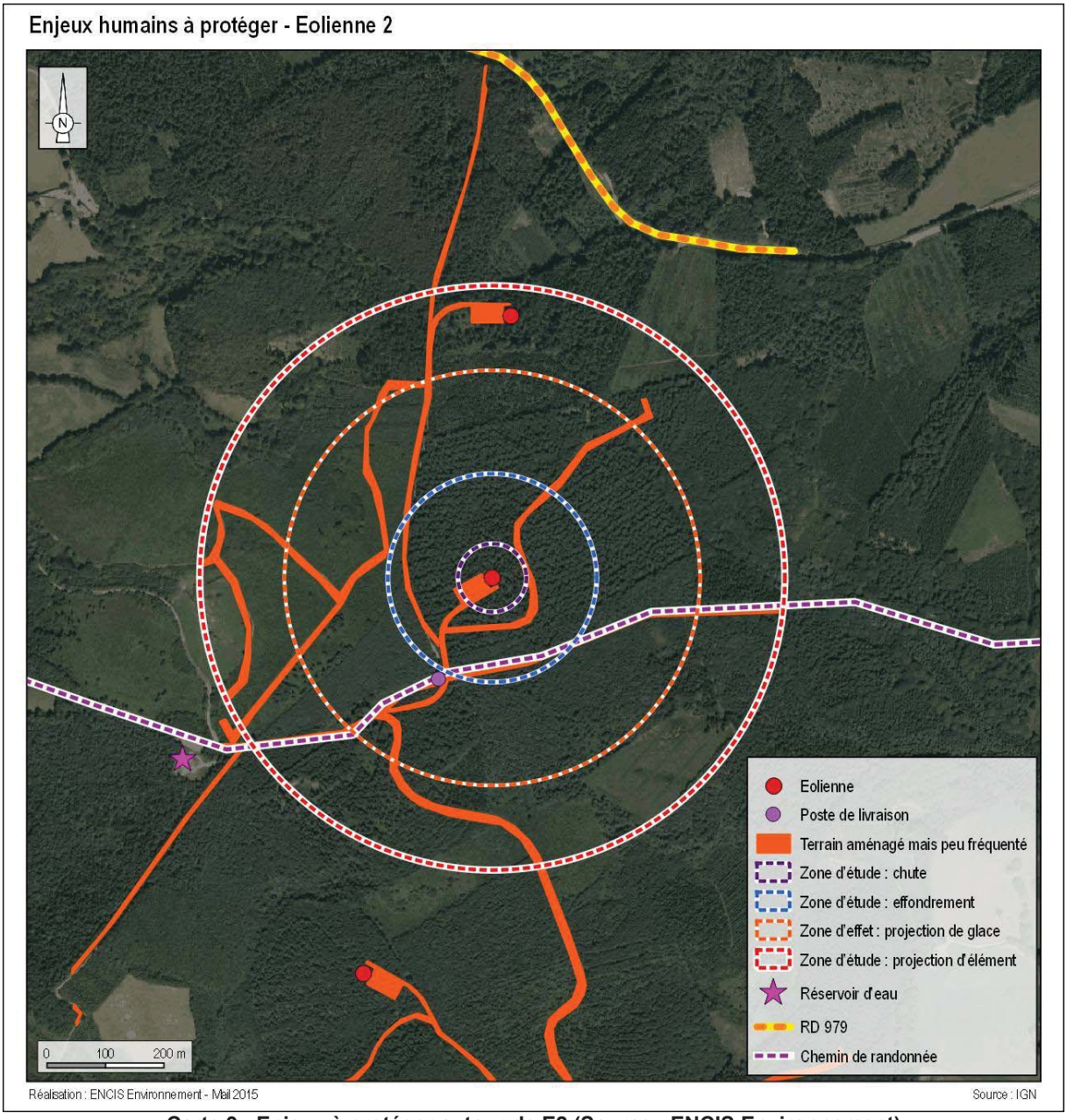
Carte 8 : Enjeux à protéger autour de E1 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario[6]	***Ensemble homogène***	***Surface (ha) ou Linéaire (km)***	***Règle de calcul***	***Enjeux humains (EH)***	***Enjeux humains totaux***
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 58,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,9217	1 pers/100 ha	0,009217	0,024327
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,1511	1 pers/10 ha	0,01511	
Effondrement (rayon : 178,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	9,5672	1 pers/100 ha	0,095672	0,140012
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,4434	1 pers/10 ha	0,04434	
Projection de glace (rayon : 355,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	38,4583	1 pers/100 ha	0,384583	0,507123
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,2254	1 pers/10 ha	0,12254	
	Réseau structurant (RD 979)	*Non concerné*	*0,4 pers/km par tranche de 100 véhicules/jour*	*Non concerné*	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,6548	1 pers/100 ha	0,766548	12,340676
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,9784	1 pers/10 ha	0,19784	
	Réseau structurant (RD 979)	0,7695	0,4 pers/km par tranche de 100 véhicules/jour	11,37	

Tableau 4 : Enjeux humains autour de l'éolienne E1

D'après la méthodologie de calcul pour le scenario projection de glace, le réseau structurant n'est pas pris en compte car les personnes quantifiées dans ces enjeux humains sont dans leurs véhicules (voir partie 8.2.5). Les enjeux humains totaux présentés ici n'en tiennent pas compte.

[6] Voir parties 7 et 8 pour la définition des scenarios et des zones d'étude

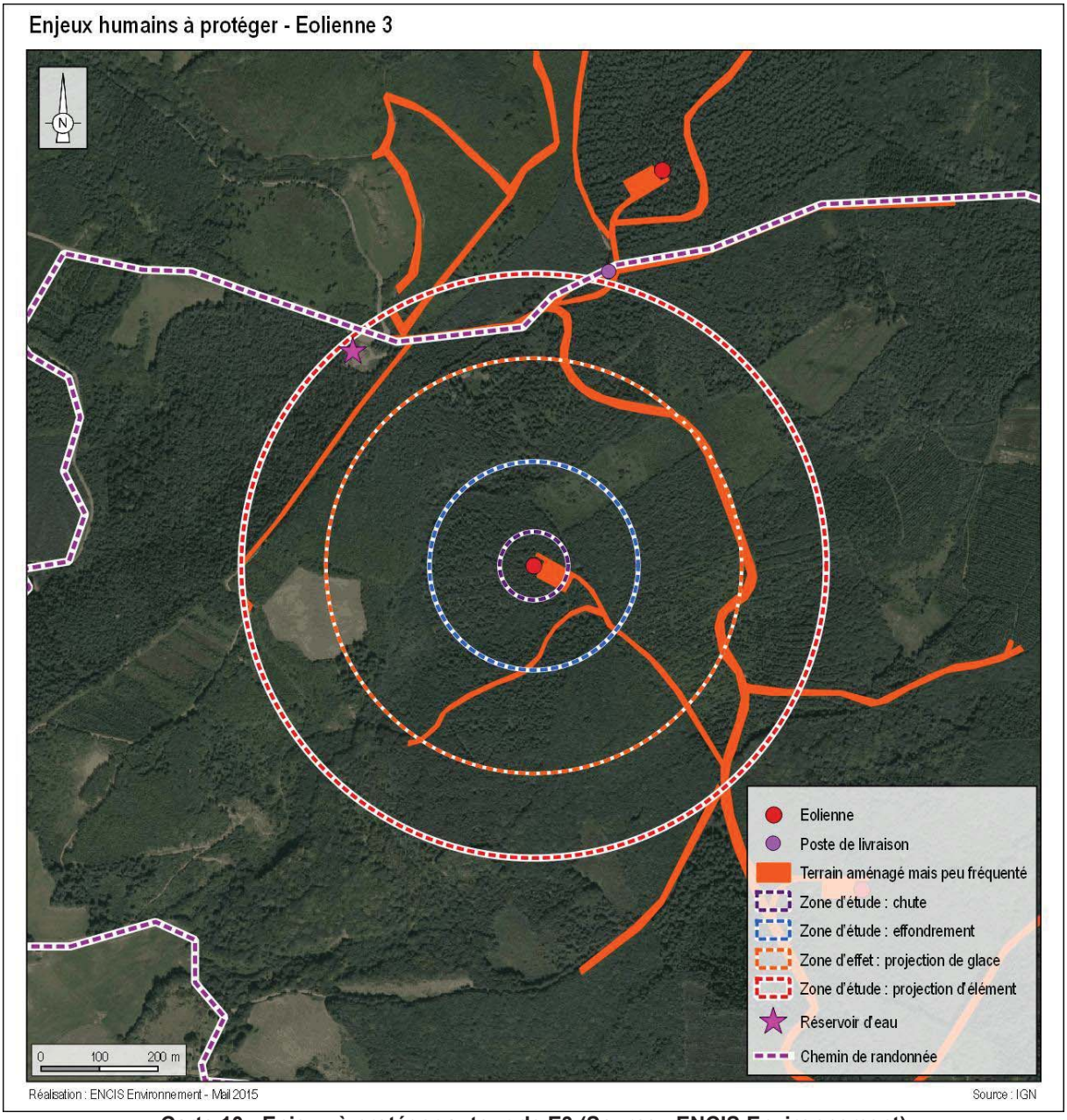


Carte 9 : Enjeux à protéger autour de E2 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario[7]	*Ensemble homogène*	*Surface (ha) ou Linéaire (km)*	*Règle de calcul*	*Enjeux humains (EH)*	*Enjeux humains totaux*
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 58,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,8857	1 pers/100 ha	0,008857	0,025704
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,1871	1 pers/10 ha	0,01871	
Effondrement (rayon : 178,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	8,9575	1 pers/100 ha	0,089575	0,636885
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,0531	1 pers/10 ha	0,10531	
	Chemin de randonnée	0,221	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,422	
Projection de glace (rayon : 355,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	37,0151	1 pers/100 ha	0,370151	1,913011
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,6686	1 pers/10 ha	0,26686	
	Chemin de randonnée	0,638	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	1,276	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	74,0486	1 pers/100 ha	0,740486	3,118946
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	4,5846	1 pers/10 ha	0,45846	
	Chemin de randonnée	0,960	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	1,92	

Tableau 5 : Enjeux humains autour de l'éolienne E2

[7] Voir parties 7 et 8 pour la définition des scenarios et des zones d'étude

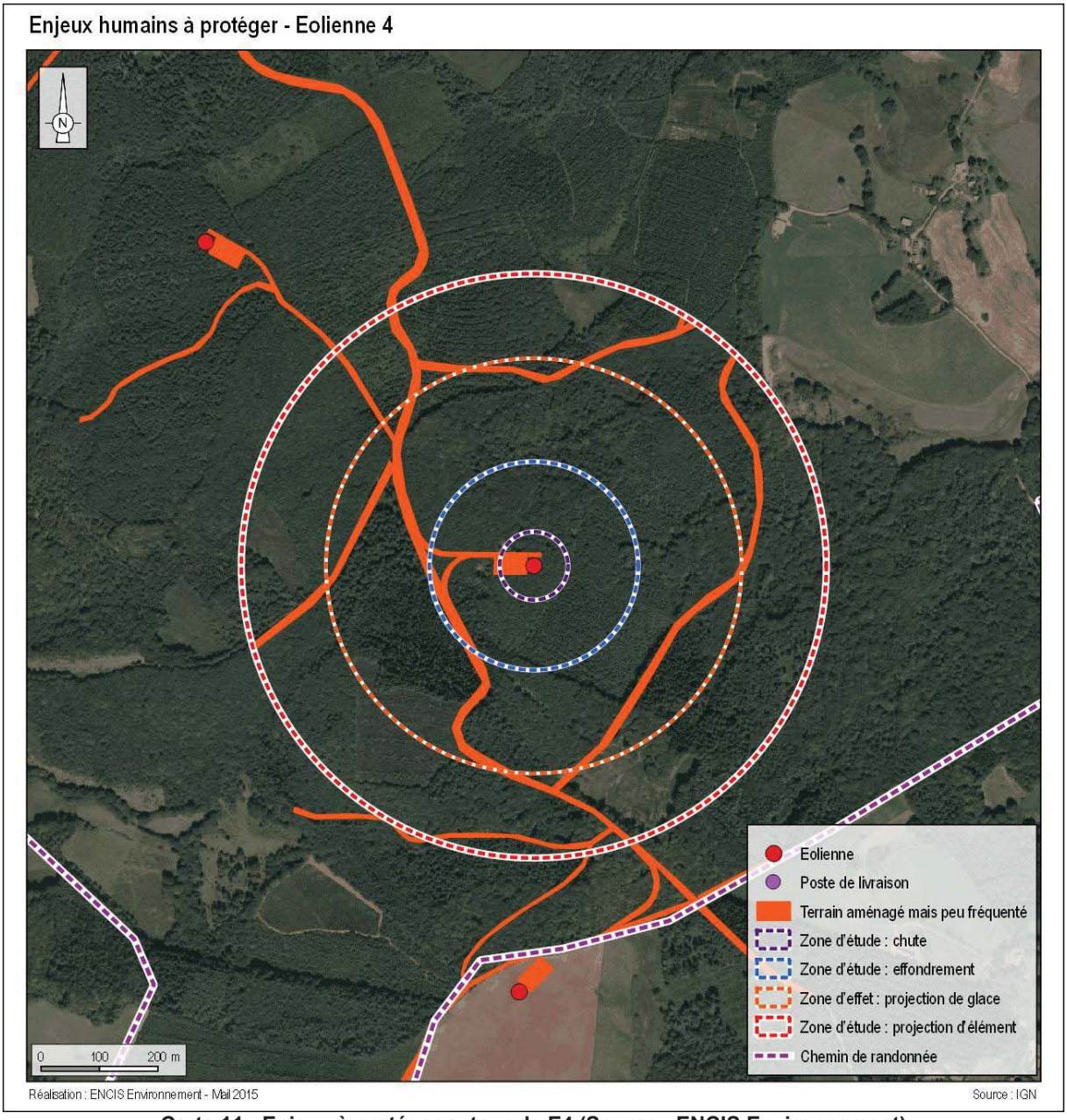


Carte 10 : Enjeux à protéger autour de E3 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario[8]	*Ensemble homogène*	*Surface (ha) ou Linéaire (km)*	*Règle de calcul*	*Enjeux humains (EH)*	*Enjeux humains totaux*
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 58,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,9064	1 pers/100 ha	0,009064	0,025704
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,1664	1 pers/10 ha	0,01664	
Effondrement (rayon : 178,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	9,622	1 pers/100 ha	0,09622	0,13508
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3886	1 pers/10 ha	0,03886	
Projection de glace (rayon : 355,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	38,35	1 pers/100 ha	0,3835	0,51687
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,3337	1 pers/10 ha	0,13337	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	75,4643	1 pers/100 ha	0,754643	3,915533
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	3,1689	1 pers/10 ha	0,31689	
	Chemin de randonnée	0,422	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,844	
	Bâtiment	-	Nombre de personnes max.	2	

Tableau 6 : Enjeux humains autour de l'éolienne E3

[8] Voir parties 7 et 8 pour la définition des scenarios et des zones d'étude

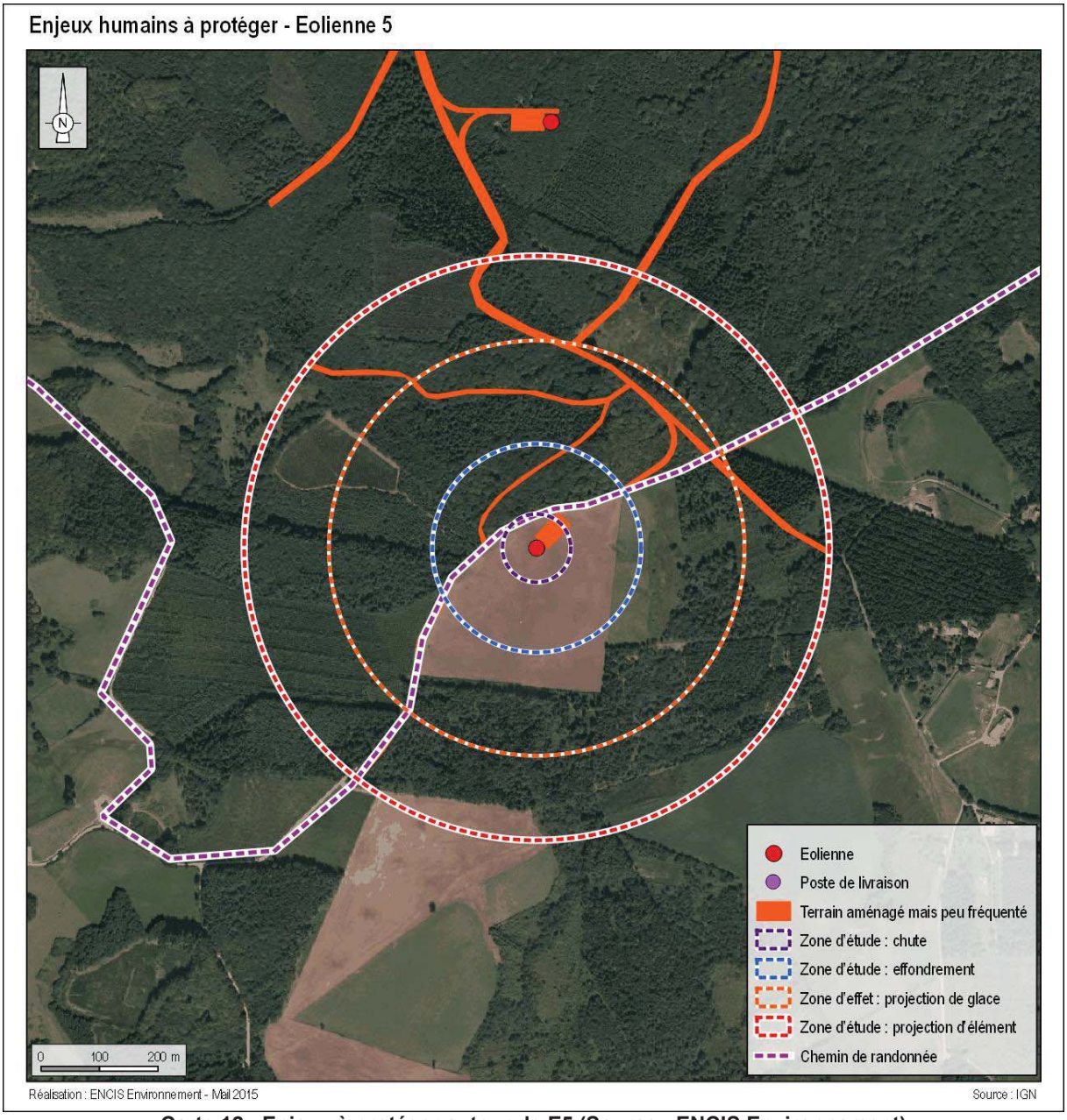


Carte 11 : Enjeux à protéger autour de E4 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario[9]	*Ensemble homogène*	*Surface (ha) ou Linéaire (km)*	*Règle de calcul*	*Enjeux humains (EH)*	*Enjeux humains totaux*
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 58,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,8922	1 pers/100 ha	0,008922	0,026982
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,1806	1 pers/10 ha	0,01806	
Effondrement (rayon : 178,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	9,4201	1 pers/100 ha	0,94201	0,13508
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3886	1 pers/10 ha	0,03886	
Projection de glace (rayon : 355,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	37,2781	1 pers/100 ha	0,372781	0,613341
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,4056	1 pers/10 ha	0,24056	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	74,5098	1 pers/100 ha	0,745098	1,157438
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	4,1234	1 pers/10 ha	0,41234	

Tableau 7 : Enjeux humains autour de l'éolienne E4

[9] Voir parties 7 et 8 pour la définition des scenarios et des zones d'étude



Carte 12 : Enjeux à protéger autour de E5 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario[10]	*Ensemble homogène*	*Surface (ha) ou Linéaire (km)*	*Règle de calcul*	*Enjeux humains (EH)*	*Enjeux humains totaux*
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 58,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,9031	1 pers/100 ha	0,009031	0,126001
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,16977	1 pers/10 ha	0,016977	
	Chemin de randonnée	0,050	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,1	
Effondrement (rayon : 178,4 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	9,5375	1 pers/100 ha	0,095375	0,922685
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,4731	1 pers/10 ha	0,04731	
	Chemin de randonnée	0,39	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,78	
Projection de glace (rayon : 355,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	38,1505	1 pers/100 ha	0,381505	2,082825
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,5332	1 pers/10 ha	0,15332	
	Chemin de randonnée	0,774	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	1,548	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,0923	1 pers/100 ha	0,760923	3,143013
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,5409	1 pers/10 ha	0,25409	
	Chemin de randonnée	1,064	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,128	

Tableau 8 : Enjeux humains autour de l'éolienne E5

[10] Voir parties 7 et 8 pour la définition des scenarios et des zones d'étude

4. 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 (chapitre 5), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

4.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

4.1.1. CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN

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 (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe 4.3.1) :

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée 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 ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un ou plusieurs poste(s) 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(x) poste(s) 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.

❖ **Eléments constitutifs d'un aérogénérateur**

Au sens du 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** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
    - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
    - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
    - 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.

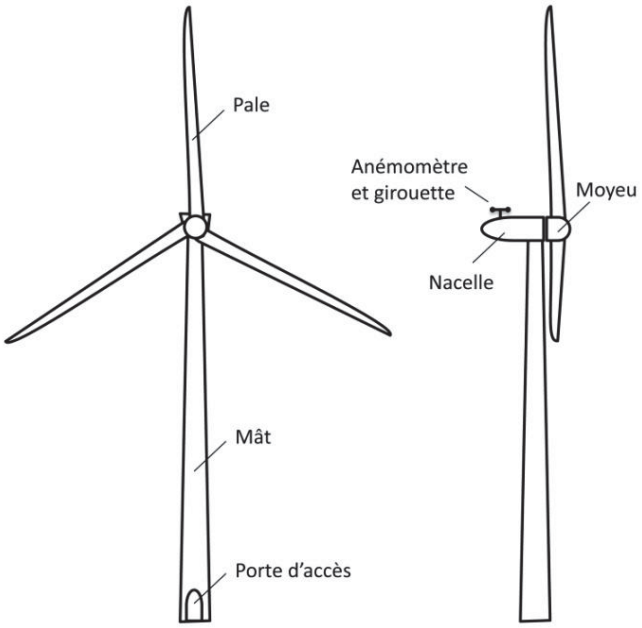


Figure 3 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

❖ **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 par rapport à 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.

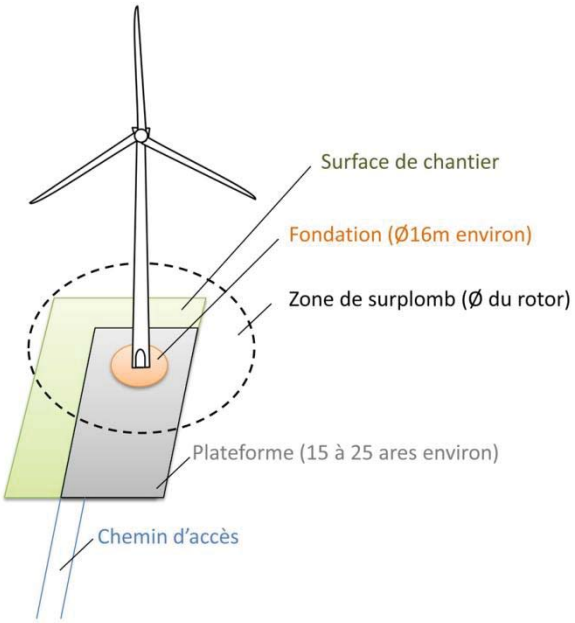


Figure 4 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

(Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150 m de hauteur totale)

❖ **Chemins 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 constructions 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 existants ;
- ✓ Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles.

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

Durant la phase d'exploitation, les chemins sont utilisés par des véhicules légers (maintenance régulière) ou par des engins permettant d'importantes opérations de maintenance (ex : changement de pale).

❖ **Autres installations**

Certains parcs éoliens peuvent aussi être constitués d'aires d'accueil pour informer le public, de parkings d'accès, de parcours pédagogiques, etc.

4.1.2. ACTIVITE DE L'INSTALLATION

L'activité principale du parc éolien de Saint-Angel est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + pales) de 178,4m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

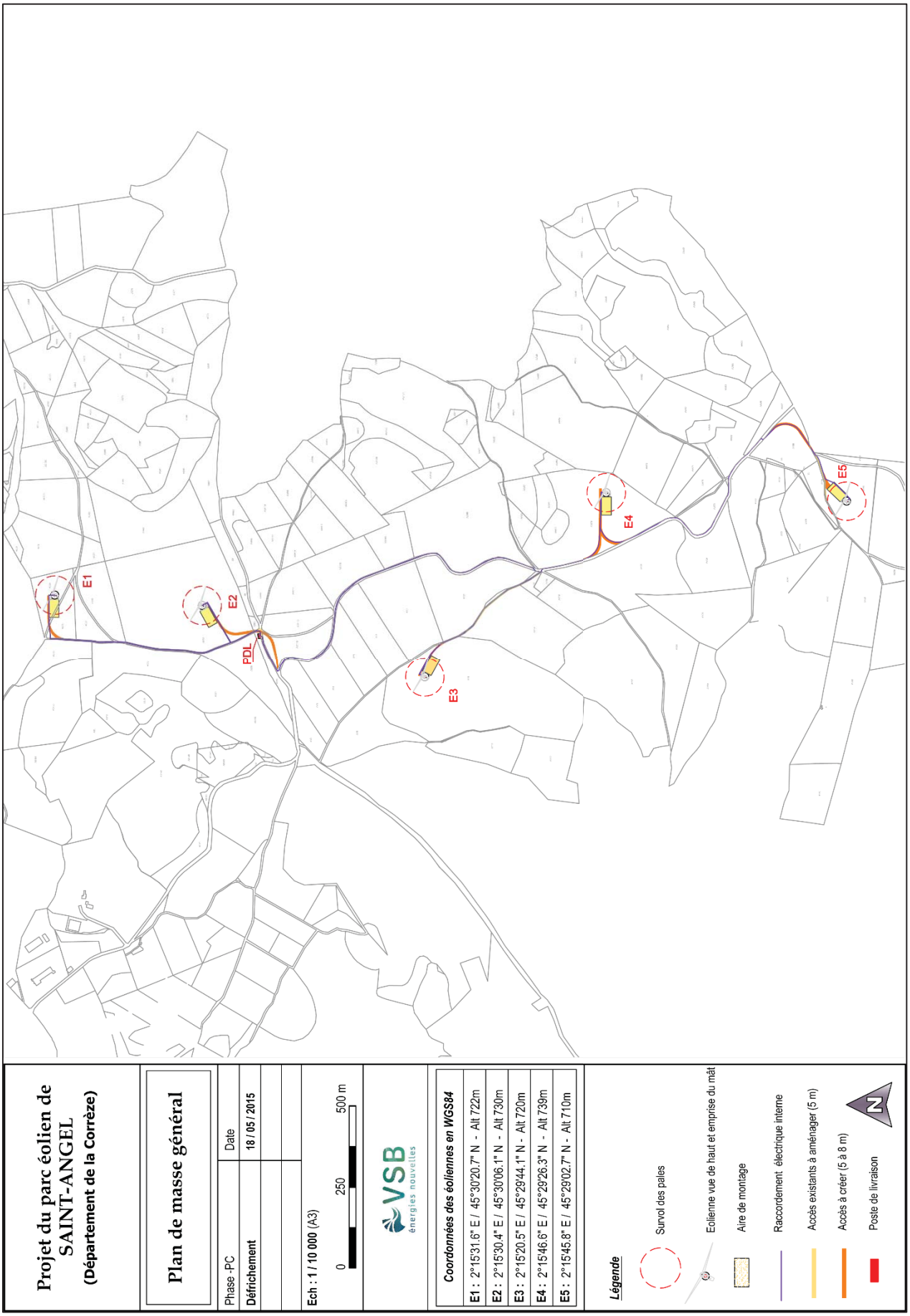
4.1.3. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien de Saint-Angel est composé de 5 aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur, de type N117, a une hauteur de moyeu de 120 mètres et un diamètre de rotor de 116,8 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 178,4 mètres.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison.

Projet éolien de Saint-Angel (19)							
EOLIENNE	**Commune**	**Section**	**N° parcelle**	**Altitude au sol**	**Hauteur**	**Altitude haut construction**	**Lambert 93**
E1	Saint-Angel	AS	24-26	722	178,4	900,4	X: 642121 Y: 6489857
E2	Saint-Angel	AS	88	730	178,4	908,4	X: 642089 Y: 6489409
E3	Saint-Angel	AY	9	720	178,4	898,4	X: 641869 Y: 6488732
E4	Saint-Angel	AW	79	739	178,4	917,4	X: 642430 Y: 6488178
E5	Saint-Angel	AY	40	710	178,4	888,4	X: 642405 Y: 6487449
PDL	Saint-Angel	AS	19	728	2,4	730,4	X: 641997 Y: 6489236

Tableau 9 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison



Carte 13 : Plan détaillé du parc éolien de Saint-Angel (Source : VSB Energies Nouvelles)

4.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AEROGENERATEUR

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, le rotor se positionnera pour être continuellement face au vent.

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit «lent» transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide» tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite «nominale».

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2 500 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;
- le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

4.2.2. FONCTION ET CARACTERISTIQUES DU PARC EOLIEN DE SAINT-ANGEL

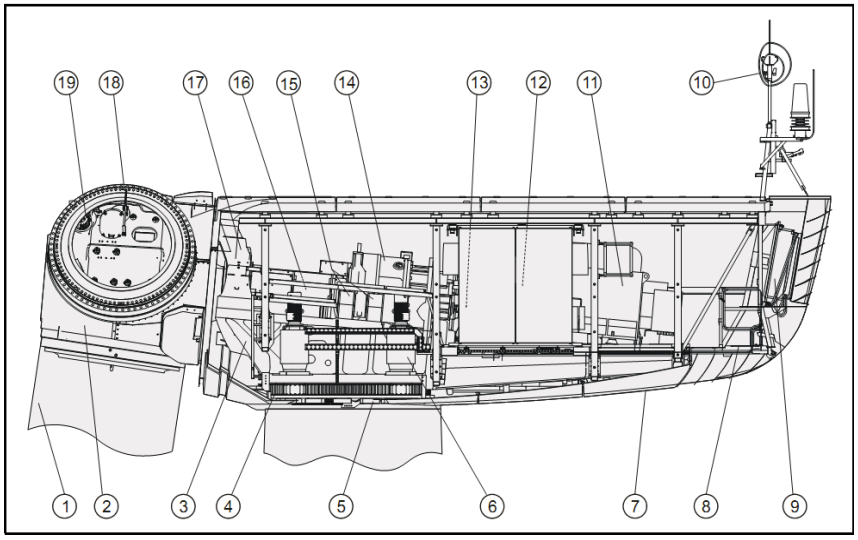
Le tableau suivant reprend les fonctions et caractéristiques de chaque élément du parc étudié, pour la Nordex N117.

Eolienne Nordex N117-R120 / 2400		
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-20 ºC à +50 ºC
	Puissance nominale	-10 ºC à +40 ºC
	Arrêter	-10 ºC, redémarrage à -8 ºC
	Certificat	Classe 3 selon IEC 61400-1
Conception technique	Puissance nominale	2400 kW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	116,8 m
	Hauteur du moyeu	120 m
	Concept de l'installation	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable
	Plage de vitesse de rotation du rotor	7,5 à 13,2 tours par min

Eolienne Nordex N117-R120 / 2400		
Rotor *Capte l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice*	Type	Orientation active des pales face au vent
	Sens de rotation	Sens horaire
	Nombre de pales	3
	Surface balayée	10 715 m²
	Contrôle de vitesse	Variable via microprocesseur
	Contrôle de survitesse	Pitch électromotorisé indépendant sur chaque pale
	Matériau des pales	Plastique renforcé à la fibre de verre (GFK), protection contre la foudre intégrée en accord complet avec la norme IEC 61 - 400-24 (Juin 2010)
Nacelle *Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité*	Arbre de rotor *Transmet le mouvement de rotation des pales*	Entraîné par les pales
	Multiplicateur *Augmente le nombre de rotation de l'arbre*	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel Tension nulle
	Génératrice *Produit l'électricité*	Asynchrone à double alimentation Tension de 660 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide
Mât *Supporte le rotor et la nacelle*	Type	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	5
	Protection contre la corrosion	Revêtement multicouche résine époxy
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation
Transformateur *Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau*	Caractéristiques	A l'intérieur du mât Tension de 20 kV à la sortie
Fondation *Ancre et stabilise le mât dans le sol*	Type	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction
Contrôle commande	Type matériel logiciel	Remote Field Controller/PLC, Nordex Control 2
	Démarrage automatique après coupure de réseau	Oui
	Démarrage automatique après vent de coupure	Oui

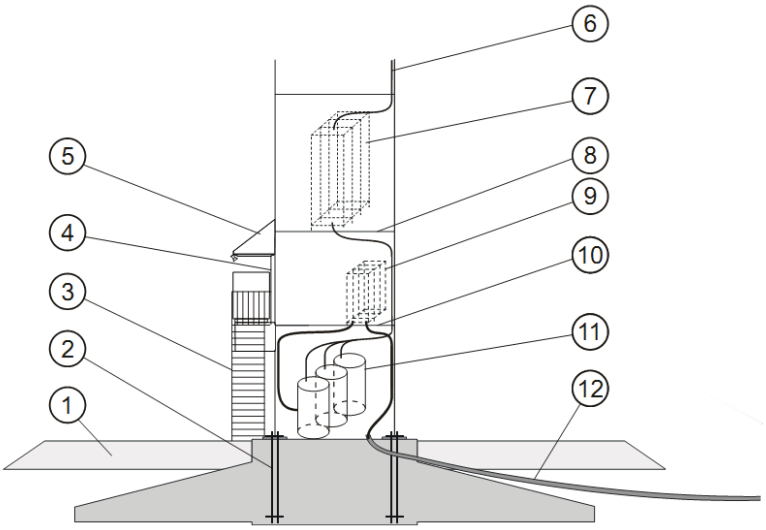
Eolienne Nordex N117-R120 / 2400		
Périodes de fonctionnement	1,1 à 3 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 3 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique
	> 3 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	12,5 à 20 m/s	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales
Poste de livraison *Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public*	Caractéristiques	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV

Tableau 10 : Découpage fonctionnel de l'installation (Source : Nordex)



1	Pale	11	Génératrice
2	Moyeu	12	Coupleur
3	Châssis machine	13	Frein rotor
4	Roulements Système d'orientation nacelle	14	Multiplicateur
5	Frein Système d'orientation nacelle	15	Appui multiplicateur
6	Entraînement Système d'orientation nacelle	16	Arbre rotor
7	Nacelle	17	Palier rotor
8	Trappe pour l'utilisation de l'appareil de levage intégré à la nacelle	18	Roulements Système d'orientation pale
9	Echangeur thermique	19	Entraînement Système d'orientation pale
10	Anémomètres		

Figure 5 : Composants de la nacelle (Source : Nordex)



1	Remblai de terre
2	Ancrage du mât
3	Escalier
4	Porte du mât
5	Aération / refroidissement
6	Câble électrique
7	Armoire électrique
8	2ème plateforme du mât
9	Commutation moyenne tension
10	1ère plateforme du mât
11	Transformateur
12	Gaines

Figure 6 : Vue d'ensemble du pied de mât (transformateur interne) (Source : Nordex)

4.2.3. SECURITE DE L'INSTALLATION

Conformité à la réglementation en vigueur :

L'installation respecte la réglementation en vigueur en matière de sécurité décrite par l'arrêté du 26/08/2011 relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

Article de l'arrêté du 26/08/11	***Disposition***	***Données Nordex***	***Autres données***	***Conformité***
3	Distance > 500 m des habitations Distance > 300 m d'une installation nucléaire ou d'une ICPE	N/A	Cf. EIE 4.5.1 choix du scenario d'implantation 3.2.9 risques technologiques	Oui
4	Distance d'éloignement des radars Aucune gêne du fonctionnement des équipements militaires	Distance éloignement des radars : - MétéoFrance Grèzes : 80 km - Civil Blond : 110 km - Militaire Audouze : 22 km (zone d'accord)	Cf. EIE 3.2.8 servitudes d'utilité publique et règles à respecter	Oui
5	Etude stroboscopique dans le cadre de bureaux à moins de 250 m	N/A	Pas de bureau à moins de 250 m	Oui
6	Limitation du champ magnétique (100 microteslas à 50-60 Hz)	Seuil correspondant aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé.	Cf. EIE 6.2.5.3 impacts sanitaires de l'exploitation liée aux champs magnétiques	Oui
7	Voie carrossable pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours	Entretien et maintien en bon état des voies d'accès (contrats de maintenance) Mise en place d'une voie d'accès carrossable permettant l'intervention des services d'incendie et de secours (contrats de fourniture)	Cf. NHS 2.2.8 circulation sur le site	Oui
8	Conformité aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou CEI 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne	Certification selon le référentiel IEC 61400-1 de tous les aérogénérateurs.	N/A	Oui
9	Mise à la terre de l'installation Conformité à la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010) Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre lors de la maintenance	Respect du standard IEC 61400-24 Protection parafoudre intégrée	N/A	Oui

10	Conformité de la directive du 17 mai 2006 Conformités aux normes NFC 15-100 (2008), NFC 13-100 (2001) et NFC 13-200 (2009) Contrôle des installations électriques avant la mise en service puis annuellement	Conformité à ces directives	N/A	Oui
11	Balisage approprié	Respect de la réglementation en vigueur en France par le balisage aéronautique	Cf. EIE 6.2.5.2 impacts sanitaires de l'exploitation liés aux feux de balisage	Oui
12	Suivi environnementale sur l'avifaune et les chiroptères	-	Cf. EIE partie 9 : mesures	Oui
13	Accès à l'intérieur fermés à clef	Portes verrouillables par clef	N/A	Oui
14	Affichage des consignes de sécurité, d'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur, de la mise en garde des risques d'électrocution et de risque de chute de glace	Ensemble de pictogrammes et textes à destination des exploitants.	Cf. NHS 3.2 information et formation du personnel intervenant	Oui
15	Essais d'avant mise en service et contrôle périodique (arrêt, arrêt d'urgence et arrêt survitesse)	Tests des fonctions de sécurité réalisés lors de mise en service de l'aérogénérateur ainsi que lors des opérations de maintenance préventive	-	Oui
16	Interdiction d'entreposer des matériaux combustibles ou inflammables à l'intérieur des éoliennes	Respect de ces exigences	-	Oui
17	Formation du personnel sur les risques, les moyens pour les éviter, les procédures d'urgence et mise en place d'exercice d'entrainement	Lorsque sous contrat de maintenance, intervention du constructeur en tant qu'entreprise de maintenance, utilisant du personnel qualifié, formé et habilité	Cf. NHS 3.2 information et formation du personnel intervenant	Oui
18	Contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et du mât contrôle des systèmes instrumentés de sécurité	Respect du contenu et de la périodicité des opérations mentionnées dans l'article Contrôles correspondants, faisant partie des opérations de maintenance préventive de l'aérogénérateur, consignés et répertoriés dans les protocoles de maintenance, mis à disposition des exploitants.	-	Oui

19	Tenu d'un manuel d'entretien et d'un registre sur les opérations de maintenance	Mise à disposition du manuel de maintenance avec consigne de la nature et de la fréquence des opérations d'entretien. Mise à disposition de l'ensemble des protocoles de maintenance renseignés ainsi que les fiches d'intervention des équipes de maintenance.	-	Oui
20	Gestion des déchets	Respect des exigences des textes liés à l'élimination des déchets.	Cf. EIE 6.1.2.5 Création de déchets lors du chantier 6.2.2.15 Création de déchets durant l'exploitation	Oui
21	Elimination des déchets non dangereux	Respect des exigences des textes liés à l'élimination des déchets.	Cf. EIE 6.1.2.5 Création de déchets lors du chantier 6.2.2.15 Création de déchets durant l'exploitation	Oui
22	Etablissement de consignes de sécurité	Consignes de sécurité établies et mises à disposition des exploitants dans les manuels d'exploitation.	Cf. NHS 2. Sécurité	Oui
23	Mise en place d'un système de détection d'incendie ou de survitesse Transmission de l'alerte dans un délai de 15 min Opération de maintenance de ce système de détection	Systèmes de détection de survitesse et d'incendie pouvant arrêter la machine et envoyer une alarme en cas de phénomène anormal.***	-	Oui
24	Moyens de lutte contre l'incendie à disposition dans chaque aérogénérateur (système d'alarme et deux extincteurs)	Systèmes de détection et d'alarme incendie provoquant : - une alarme sonore à l'intérieur de l'éolienne - une alarme à distance envoyée immédiatement via le système SCADA (Nordex Control 2). Par ailleurs, équipement d'extincteurs dans tous les aérogénérateurs (nacelle et pied du mât).	Cf. NHS 2. Sécurité	Oui
25	Mise en place d'un système de détection de formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et mise à l'arrêt sous 60 minutes	Système de gestion qui identifie toute anomalie de fonctionnement.	-	Oui
26-27-28	Emergence contrôlée du bruit, limitation sonore des engins de chantier et suivi des mesures	-	Cf. EIE 6.1.2.7 impacts du chantier sur l'environnement acoustique 6.2.4 impacts de l'exploitation sur l'environnement acoustique	oui

Tableau 11 : Conformité à l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux ICPE

**** Conformité aux principales normes :**

Les éoliennes Nordex sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences des normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24, tel que requis par l'arrêté du 26 Août 2011.

Les aérogénérateurs de type N117/2400 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 électrotechnique 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 « 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 IEC 61400-1 spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes.
- 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 de type et la certification des projets d'éoliennes installées 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 ISO81400-4.
- 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 ISO 9223.

Au cours de la construction de l'éolienne, le maître d'ouvrage mandatera un bureau de vérification pour le contrôle technique de construction.

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

***** Organisation des secours en cas d'accident :**

Information des services d'incendie et de secours :

L'exploitation 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 parc éolien à Rostock en Allemagne.

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 qui 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 N117/2400 sont 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 logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) utilisé est le Nordex Control 2.

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.

En cas de déclenchement d'une alarme ou d'une alerte, l'opérateur transmet les informations à l'exploitant et si nécessaire aux services de secours pouvant intervenir sur le site éolien.

Ces données se conforment à **l'article 23 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 :

- Chaque aérogénérateur est doté d'un système de détection qui permet d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'aérogénérateur ;
- L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur ;
- L'exploitant dresse la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et détermine les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.

Les données d'exploitation et les messages d'état (anomalies, alertes…) sont par ailleurs conservés en copie sur le système implanté, sur le parc sur une période de 20 ans. Les systèmes embarqués des éoliennes peuvent quant à eux conserver les 10 derniers messages d'état horodatés.

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 du 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 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 mètres autour de l'éolienne devra être respectée.

Coordonnées des moyens de secours à l'attention du personnel intervenant sur le parc :

Sur le parc éolien, un affichage comprenant un Plan de Secours ainsi que les coordonnées des moyens de secours en cas d'accident ou d'incident est prévu.

Le Plan de sécurité et de santé, document à suivre dans le cadre des maintenances, stipule, dans sa procédure en cas d'accident ou de sinistre, les coordonnées des moyens de secours, la procédure à suivre ainsi que les consignes de premiers secours.

L'affichage apposé sur les tableaux prévus à cet effet est constitué entre autre :

- De l'adresse de l'inspection du travail et du nom de l'inspecteur ;
- Des coordonnées des services d'urgence et du Médecin du travail ;
- Du rappel de l'interdiction de fumer ;
- Des consignes en cas d'incendie.

Moyens :

Chaque aérogénérateur est doté de 3 extincteurs :
- Zone HT (pied de tour) : Extincteur CO2
- Plate-forme Armoire de contrôle : Extincteur Poudre ABC
- Nacelle : Extincteur Poudre ABC

Chaque aérogénérateur est équipé de 2 boîtes de premiers secours (1 en pied de tour, 1 en nacelle). Les véhicules des techniciens de maintenance sont également dotés d'une boîte de premiers secours. Les consignes de soins aux électrisés sont affichées dans chaque aérogénérateur et au poste de raccordement. Une perche à corps doit être utilisée lors des manœuvres sur les installations HT, conformément aux instructions données lors des formations de préparation à l'habilitation électrique.

Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs et aux premiers secours.

4.2.4. OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

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

- type 1 : vérification après 300 à 500 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 semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques,
- type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique,
- type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

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

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.

4.2.5. STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

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

4.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1. RACCORDEMENT ELECTRIQUE

Généralités :

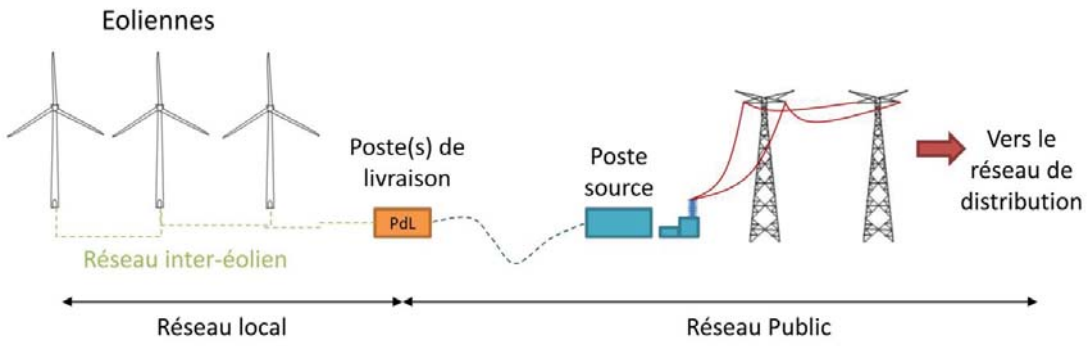


Figure 7 : Raccordement électrique des installations

- **Réseau inter-éolien**

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, présent au pied de 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 et ils sont tous enfouis.

- **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 avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

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

- **Réseau électrique externe**

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ERDF-Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

Cas du site étudié :

Le poste de livraison est ici implanté à proximité de E2.

Le parc éolien sera relié au poste source d'Ussel.

Les caractéristiques des liaisons souterraines de l'installation sont détaillées dans le tableau suivant.

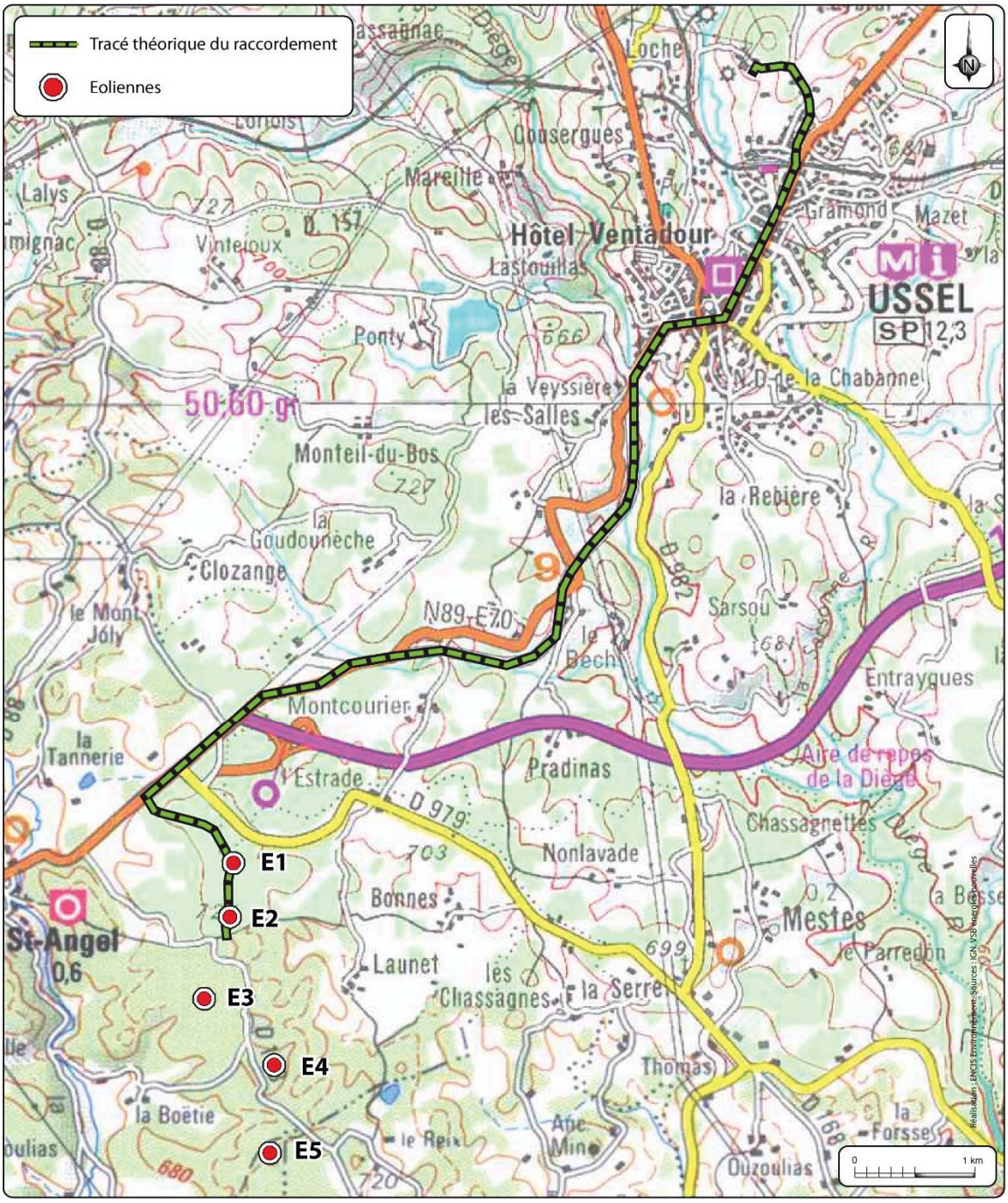
Type de liaison	*Profondeur d'enfouissement*	*Tension*
Inter-éoliennes	1 m	20 kV
Eoliennes/poste de livraison	1 m	20 kV

Tableau 12 : Caractéristiques des liaisons souterraines

La cartographie suivante fait apparaitre le tracé du câblage jusqu'au poste de livraison.

Le tracé des câbles de liaison inter-éoliennes est consultable sur le plan de masse dans le paragraphe « 4.1.3. Composition de l'installation ».

Dans la mesure où la procédure de raccordement n'est lancée obligatoirement qu'après la délivrance du permis de construire du parc éolien, le tracé de la ligne de raccordement n'est à ce jour pas déterminé. Cependant, à titre informatif, la cartographie suivante fait apparaitre le tracé envisagé par le pétitionnaire du câblage entre le poste de livraison et le poste source. Ce tracé sera confirmé dans le cadre de la demande de raccordement par le gestionnaire du réseau.



Carte 14 : Raccordement au poste source (Source : ENCIS Environnement)

4.3.2. AUTRES RESEAUX

Le parc éolien de Saint-Angel ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

Ce chapitre de l'étude de dangers 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.

5.1. POTENTIELS DE DANGERS LIES 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 Saint-Angel 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…), qui une fois usagés sont traités en tant que déchets industriels spéciaux
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyants…) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage…).

Inventaire des produits

La liste des produits est fournie dans le tableau suivant :

Lieu de lubrification	***Désignation***	***Lubrifiant***	***Quantité***	***Classe de matière dangereuse***
Système de refroidissement /Génératrice, /Convertisseur	Varidos FSK 45	Liquide de refroidissement	env. 70 L	Xn
Roulements de la génératrice	Klüberplex BEM 41-132	Graisse	env. 9,4 kg	-
Multiplicateurs, circuits de refroidissement inclus	Mobilgear XMP 320 Pour CCV : Optigear Synthetic / A320Optigear Synthetic X320Mobilgear SHC XMP 320	Huile minérale Huile synthétique	450L ou 550 L ou 650 L	-
Système Hydraulique	Shell Tellus S4 VX 32	Huile minérale	env. 25 L	-
Palier de rotor	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	env. 30 kg	-
Roulement d'orientation de pale /Voie de roulement	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	3 x 4,9 kg	-

Engrenage	Ceplattyn BL gleitmo 585 K pour CCV	Graisse Graisse	env. 0,5 kg	-
Engrenage (orientation de pale)	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3 x 11 L	-
Engrenage de système d'orientation	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3/4 x 21 L	-
Roulements de système d'orientation /Voie de roulement	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	3,8 kg	-
/ Engrenage	Ceplattyn BL gleitmo 585 K pour CCV	Graisse Graisse	env. 0,5 kg	-
Transformateur	-	-	-	-

Nota : Graisse = lubrifiant solide ; huile = lubrifiant liquide.

Tableau 13 : Liste des produits (Source : Nordex)

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le(s) poste(s) de livraison.

Dangers des produits

- **Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie**

Les huiles, les graisses et l'eau glycolée ne sont pas des produits inflammables. Ce sont néanmoins des produits combustibles qui sous l'effet d'une flamme ou d'un point chaud intense peuvent développer et entretenir un incendie. Dans les incendies d'éoliennes, ces produits sont souvent impliqués.

Certains produits de maintenance peuvent être inflammables mais ils ne sont amenés dans l'éolienne que pour les interventions et sont repris en fin d'opération.

Le SF_6 est pour sa part ininflammable.

- **Toxicité pour l'homme**

Ces divers produits ne présentent pas de caractère de toxicité pour l'homme. Ils ne sont pas non plus considérés comme corrosifs (à causticité marquée).

Aucune substance ou produit utilisé n'est classifié comme CMR (Cancérogène, Mutagène, Repro-toxique) au sens de l'article R4411-1 et suivants du code du travail.

- **Dangerosité pour l'environnement**

Vis-à-vis de l'environnement, le SF_6 possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1 à 2 kg de gaz dans les cellules de protection).

Les huiles et graisses, même si elles ne sont pas classées comme dangereuses pour l'environnement, peuvent en cas de déversement au sol ou dans les eaux entraîner une pollution du milieu.

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

5.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Saint-Angel 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
- Echauffement de pièces mécaniques
- Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 14 : Eléments et dangers potentiels

5.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

5.3.1. PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES

Le porteur de projet a effectué plusieurs choix techniques au cours de la conception du projet afin de réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

Réduction des dangers lies aux produits

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. La quantité est estimée à environ 850 L 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 recommandés et combustibles mais non inflammables).

Les produits de nettoyage de type solvant, classés comme dangereux pour l'environnement peuvent quant à eux potentiellement faire l'objet de substitution. 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. Le transformateur, présent dans le pied de l'éolienne ne nécessite pas de bac de récupération car un système sec est utilisé, il ne nécessite donc 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.

Réduction des dangers lies aux installations

Il a été choisi par le porteur de projet de respecter un éloignement d'au minimum 500 m autour des habitations, par rapport aux exigences issues de la Loi Grenelle II ; de plus, l'analyse des servitudes qui grèvent le terrain et les réponses transmises par les différents services administratifs consultés ont participé au choix de localisation, de définition de l'aire d'étude et de l'implantation des éoliennes.

Le contexte essentiellement agricole de l'environnement du projet et l'absence d'autres sources de dangers à proximité (ICPE SEVESO, …) réduit les possibilités de mise en œuvre d'autres actions préventives.

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

- NORDEX, fournisseur des éoliennes et assurant leur maintenance, dispose d'un système de management HSE respecté par tous ses 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.
- Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et la législation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens de NORDEX sont formés, entraînés et autorisés. Ils sont équipés de leurs EPI.
- Des procédures d'installation et de maintenance claires et détaillées seront disponibles pour chacun des équipements.
- Le design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et normes constructeur.

Pour ce projet, la réduction des potentiels de danger à la source est donc principalement intervenue par le choix d'aérogénérateurs fiables, disposant de systèmes de sécurité performants et conformes à la réglementation en vigueur.

5.3.2. UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

L'Union Européenne a adopté un ensemble de règles communes au sein de la directive 96/61/CE du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, dite directive IPPC (« Integrated Pollution Prevention and Control »), afin d'autoriser et de contrôler les installations industrielles.

Pour l'essentiel, la directive IPPC vise à minimiser la pollution émanant de différentes sources industrielles dans toute l'Union Européenne. Les exploitants des installations industrielles relevant de l'annexe I de la directive IPPC doivent obtenir des autorités des Etats-membres une autorisation environnementale avant leur mise en service.

Les installations éoliennes, ne consommant pas de matières premières et ne rejetant aucune émission dans l'atmosphère, ne sont pas soumises à cette directive.

6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne. Néanmoins, il a été possible d'analyser les informations collectées en France et dans le monde par plusieurs organismes divers (associations, organisations professionnelles, littérature spécialisées, 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'accident 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 la partie 8 pour l'analyse détaillée des risques.

6.1. 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 de Saint-Angel. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (mai 2012), ainsi qu'une actualisation de l'accidentologie menée en mai 2015.

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)
- 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

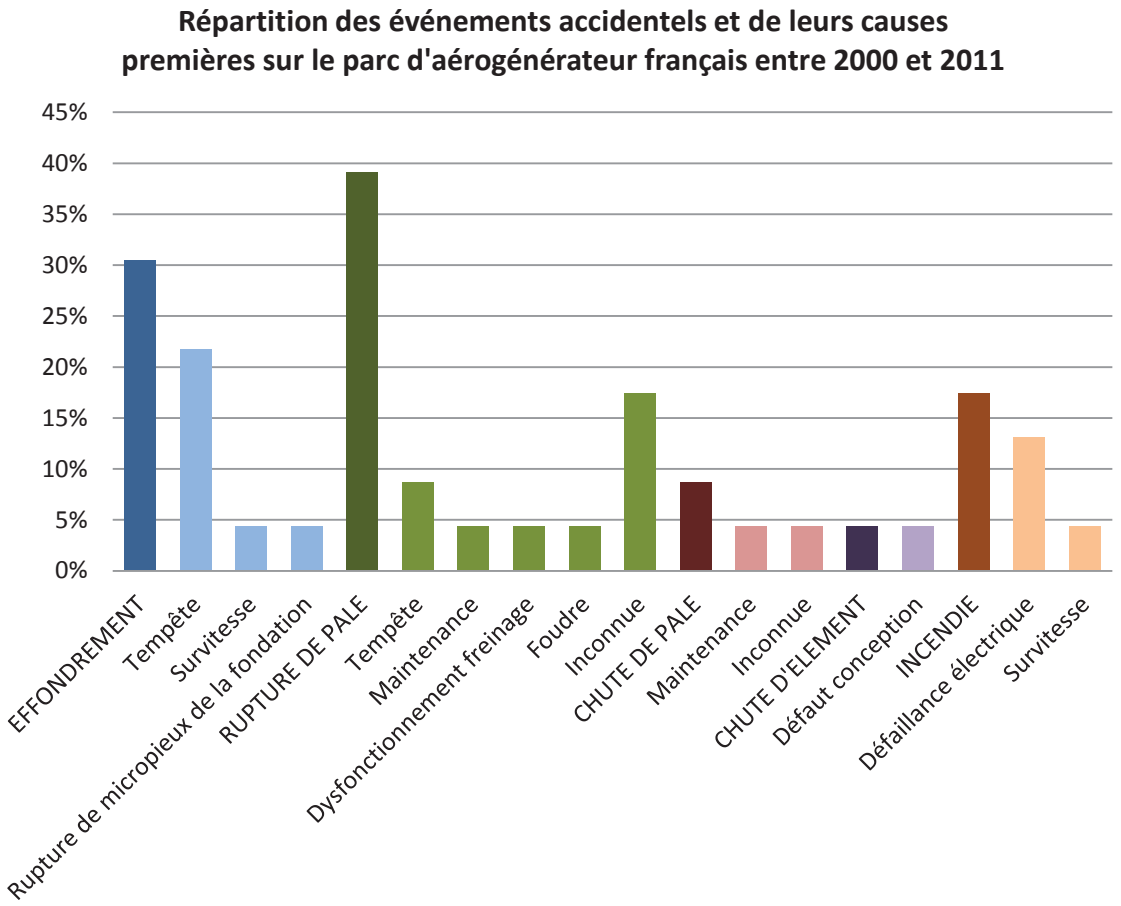
Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés, mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves.

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE 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 a pu être recensé entre 2000 et début 2012 (voir tableau détaillé en annexe). Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné.

Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.



Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les effondrements, les incendies, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est les tempêtes.

A noter qu'une nouvelle consultation de la base de données ARIA (la base de données ARIA rassemble les informations sur les accidents technologiques survenus en France, notamment au niveau des ICPE) a été mené en mai 2015 afin de compléter les informations présentées précédemment. Celle-ci a permis de recenser de nouveaux événements ne figurant pas jusqu'alors dans l'accidentologie établie par l'INERIS sans pour autant remettre en cause les conclusions de l'analyse menée par cet organisme :

- 06/02/2012 – LEHAUCOURT (02) : Blessure par arc électrique (690 V) de deux techniciens de maintenance intervenant dans la nacelle d'une éolienne.

- 18/05/2012 – FRESNAY-L'EVEQUE (28) : chute d'une pale entière d'une éolienne de 2 MW mise en service en 2008. La pale (9 tonnes, 46 m) a chuté au pied de l'installation suite à la rupture du roulement qui raccordait la pale au hub. L'analyse des relevés des capteurs et des comptes-rendus d'entretien ne révèle aucune anomalie ni signe précurseur (contraintes anormales qui auraient pu endommager le roulement, vibration suspecte avant la rupture, différence d'orientation des pales, défaut d'aspect visuel lors des contrôles...). Des traces de corrosion sont détectées dans les trous d'alésages traversant une des bagues du roulement reliant pale et hub. Selon le fabricant, cette corrosion proviendrait des conditions de production et de stockage des pièces constitutives du roulement. L'installation est remise en service fin octobre après remplacement de la pale endommagée et mise en place de nouveaux roulements possédant une protection contre la corrosion.
L'exploitant met en place une détection visuelle de la corrosion dans les alésages, qu'il prévoit de remplacer à terme par un procédé instrumenté conçu spécifiquement.

- 30/05/2012 – PORT-LA-NOUVELLE (11) : Les rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit ont provoqué l'effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut et la chute d'une éolienne. Construit en 1991, l'aérogénérateur de 200 kW faisait partie des premières installations de ce type en France. Il était à l'arrêt pour réparations au moment des faits. Le site, ouvert au public, est sécurisé.

- 01/11/2012 – VIEILLESPESSE (15) : Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc de 4 aérogénérateurs de 2,5 MW mis en service en 2011.

- 05/11/2012 – SIGEAN (11) : Un feu se déclare vers 17 h sur une éolienne de 660 kW au sein d'un parc éolien ; un voisin donne l'alerte à 17h30. Des projections incandescentes enflamment 80 m² de garrigue environnante. Les pompiers éteignent l'incendie vers 21h30. L'exploitant met en place un balisage de sécurité à l'aube le lendemain. A la suite de la chute d'une pale à 15h20, un gardiennage 24 h / 24 est mis en place. Le 08/11, la municipalité interdit par arrêté l'accès au chemin menant à l'éolienne. Le feu s'est déclaré en partie basse de l'éolienne (transformateur ou armoire basse tension). Les flammes ont ensuite atteint la nacelle, sans doute en se propageant le long des câbles électriques (non résistants au feu) à l'intérieur du mât. Un dysfonctionnement du frein de l'éolienne à la suite de la perte des dispositifs de pilotage résultant de l'incendie en pied pourrait avoir agi comme circonstance aggravante. Cet accident met en lumière la nécessaire tenue au feu des câbles, les possibilités de sur accident (propagation de l'incendie à la végétation environnante, chute de pale) et des pistes d'amélioration dans la détection et la localisation des incendies d'éoliennes, ainsi que dans la réduction des délais d'intervention.

- 06/03/2013 - CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE (11) : A la suite d'un défaut de vibration détecté à 19h05, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain à 9 h, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât. L'éolienne est mise en sécurité (2 pales restantes mises en drapeau, blocage du rotor, inspection du moyeu). Un périmètre de sécurité de 30 m est établi au pied de l'éolienne et la municipalité interdit l'accès à la zone. L'accident est déclaré à l'inspection des installations classées 48 h plus tard.
L'une des pales de cette éolienne avait déjà connu un problème de fixation en novembre 2011. Les fixations de cette pale au moyeu avaient été remplacées et le serrage des vis des 2 autres avait été contrôlé en avril 2012. La veille du défaut de vibration, la machine s'était arrêtée après la détection d'un échauffement du frein et d'une vitesse de rotation excessive de la génératrice. Un technicien l'avait remise en service le matin même de l'accident sans avoir constaté de défaut.

- 17/03/2013 – EUVY (51) : Des usagers de la N4 signalent vers 15h30 un feu dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant arrête 7 des 18 aérogénérateurs du parc. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place. Le sinistre émet une importante fumée. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. Des pompiers spécialisés dans l'intervention en milieux périlleux éteignent le feu en 1 h.
450 l d'huile de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols. Les maires des communes voisines se sont rendus sur place.
Au moment du départ de feu, le vent soufflait à 11 m/s. La puissance de l'éolienne était proche de sa puissance nominale. La gendarmerie évoque une défaillance électrique après avoir écarté la malveillance. Le parc, mis en service en 2011, avait déjà connu un incendie quelques mois plus tôt selon la presse. Les 18 machines sont inspectées. A la suite de l'accident, l'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.

-1/07/2013 - CAMBON-ET-SALVERGUES (34) : Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. Alors qu'il vient de faire l'appoint en gaz d'un cylindre sous pression faisant partie du dispositif d'arrêt d'urgence des pâles d'une éolienne, un technicien de maintenance démonte l'embout d'alimentation vissable. Une partie de la visserie de la vanne de fermeture reste solidaire de l'embout et se dévisse avec lui. L'ensemble démonté est projeté au visage de l'opérateur et lui brise le nez et plusieurs dents. Le jet de gaz affecte ses voies respiratoires. Descendue de la nacelle de l'éolienne avec l'assistance de son collègue, la victime est hospitalisée. La gendarmerie place l'accumulateur de gaz sous scellé pour être expertisé.
Afin d'éviter de tels accidents, la visserie de la vanne présentait une petite perforation destinée à alerter l'opérateur : un sifflement et une formation de glace liée à la détente du gaz se produisent 4 tours et demi avant le dévissage total. La survenue de l'accident malgré ce dispositif amène l'exploitant à repenser la procédure d'alimentation de l'accumulateur de gaz dans la configuration exigüe de la nacelle d'éolienne : 8 000 machines sont potentiellement concernées. Dans l'attente des résultats d'expertise, les accumulateurs seront remplis en usine après démontage.

03/08/2013 – MOREAC (56) : Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique. Le produit pollue le sol sur 80 m². 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.

09/01/2014 – ANTHENY (08) : Un feu se déclare vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne de 2,5 MW. Le parc éolien est isolé électriquement. Un périmètre de sécurité de 300 m est instauré. Le feu s'éteint de lui-même vers 20 h. La nacelle est détruite, le rotor est intact. Le balisage aéronautique de la machine étant hors-service, les services de l'aviation civile sont alertés. La presse évoque un incident électrique pour expliquer le départ de feu. L'éolienne sinistrée est démantelée le 17/06 par basculement à l'explosif. Cette opération nécessite la mise en place d'un périmètre de sécurité d'un kilomètre.

20/01/2014 – SIGEAN (11) : Une des éoliennes d'un parc s'arrête automatiquement à 3h09 à la suite d'un défaut « vibration ». Sur place à 9h30, les techniciens de maintenance (assurée par le fabricant des éoliennes) retrouvent une pale de 20 m au pied du mât. Les 2 autres pales sont toujours en place. Un périmètre de sécurité de 100 m est établi autour de l'éolienne et surveillé par une société de gardiennage pour éviter l'intrusion de tiers. L'ensemble des machines du parc est mis à l'arrêt pour inspection puis redémarré, à l'exception de l'éolienne endommagée dont la pale sera remplacée. L'exploitant informe l'inspection des installations classées ainsi que la mairie et déclare le sinistre auprès de ses assureurs dans l'après-midi. Le morceau de pale détaché est évacué du site en vue d'une expertise. Lors de l'accident le vent soufflait entre 18 m/s et 22 m/s.

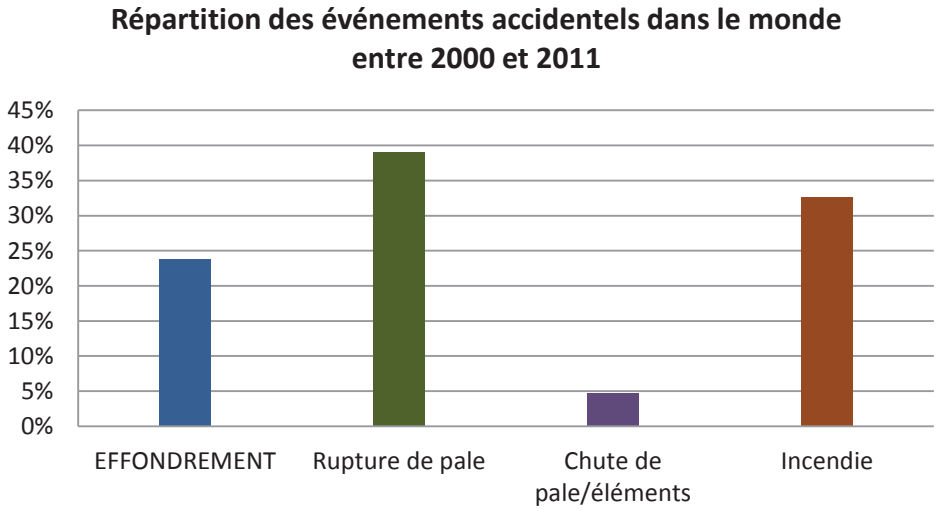
Ces accidents ne semblent pas remettre en cause l'analyse menée par l'INERIS sur la base précédente et qui est présentée ci-après.

6.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

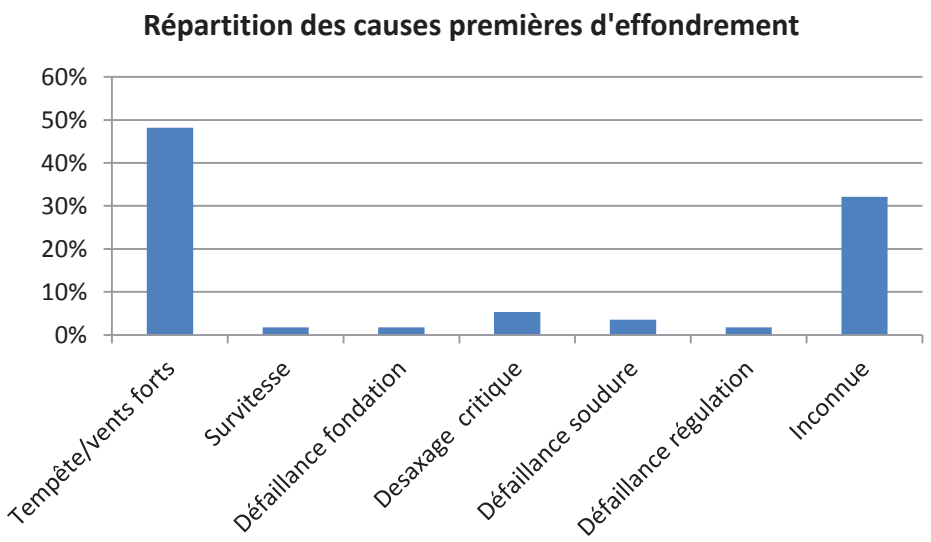
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

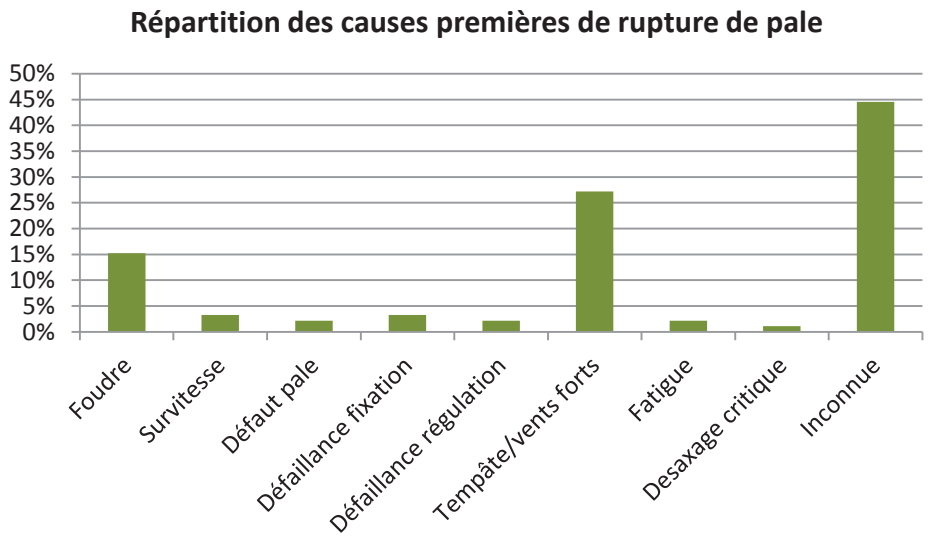
La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

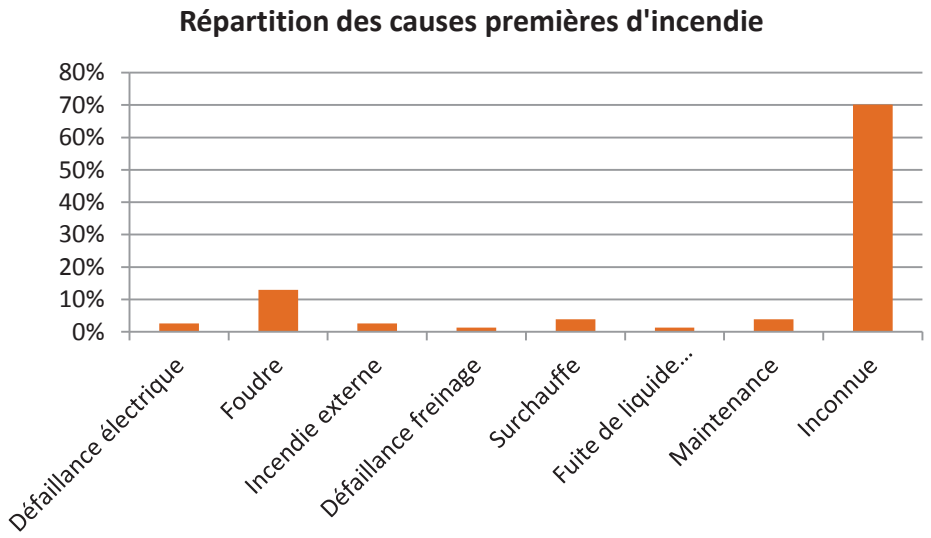
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.



Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).


Répartition des causes premières d'effondrement
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Tempête/vents forts
Survitesse
Défaillance fondation
Desaxage critique
Défaillance soudure
Défaillance régulation
Inconnue


Répartition des causes premières de rupture de pale
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Foudre
Survitesse
Défaut pale
Défaillance fixation
Défaillance régulation
Tempête/vents forts
Fatigue
Desaxage critique
Inconnue


Répartition des causes premières d'incendie
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Défaillance électrique
Foudre
Incendie externe
Défaillance freinage
Surchauffe
Fuite de liquide...
Maintenance
Inconnue

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

6.3. SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

6.3.1. ANALYSE DE L'EVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

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

La figure 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 de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres.

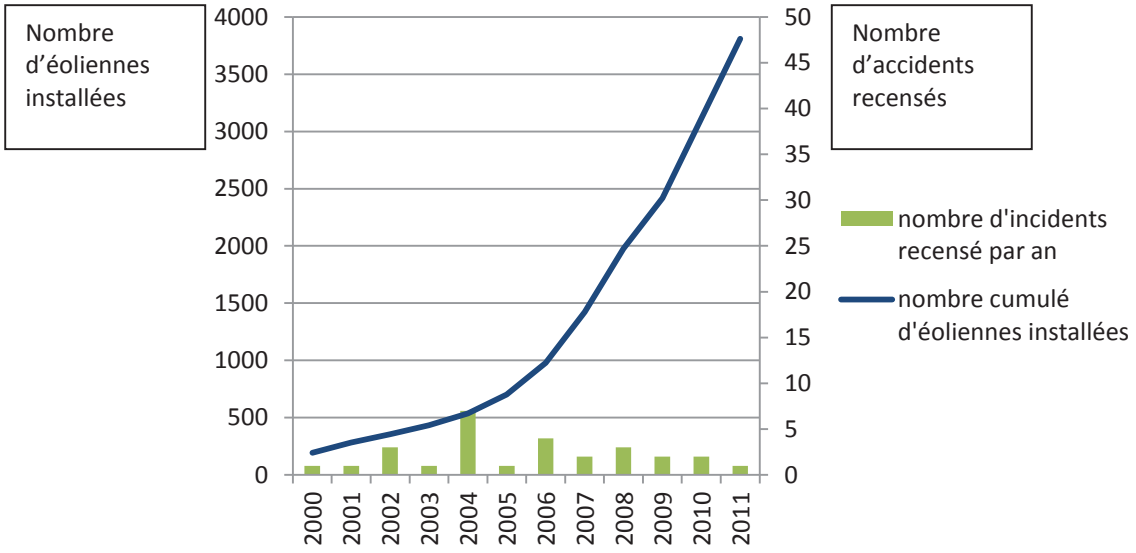


Figure 8 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées ***On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accident reste relativement constant***

6.3.2. ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FREQUENTS

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

6.4. 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 aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;
- Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

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

7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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. 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'accident majeurs – ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les personnes.

7.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

D'autre part, plusieurs autres agressions externes qui ont été détaillées dans l'état initial peuvent être exclues de l'analyse préliminaire des risques car les conséquences propres de ces événements, en termes de gravité et d'intensité, sont largement supérieures aux conséquences potentielles de l'accident qu'ils pourraient entraîner sur les aérogénérateurs. Le risque de sur-accident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas des événements suivants :

- inondations ;
- séismes d'amplitude suffisante pour avoir des conséquences notables sur les infrastructures ;
- incendies de cultures ou de forêts ;
- pertes de confinement de canalisations de transport de matières dangereuses ;
- explosions ou incendies générés par un accident sur une activité voisine de l'éolienne.

7.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

La première étape de l'analyse des risques consiste à recenser les « agressions externes potentielles ». Ces agressions provenant d'une activité ou de l'environnement extérieur sont des événements susceptibles d'endommager ou de détruire les aérogénérateurs de manière à initier un accident qui peut à son tour impacter des personnes. Par exemple, un séisme peut endommager les fondations d'une éolienne et conduire à son effondrement.
Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

- les agressions externes liées aux activités humaines ;
- les agressions externes liées à des phénomènes naturels.

7.3.1. AGRESSION EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES

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

Infrastructure	*Fonction*	*Evénement redouté*	*Danger potentiel*	*Périmètre* [11]	*Distance par rapport au mât des éoliennes (en m)*				
					E1	E2	E3	E4	E5
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	> 200*	> 200*	> 200*	178*	> 200*
Voies de circulation trains	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un train	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	> 200	> 200	> 200	> 200	> 200
Autres éoliennes	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	450	> 500	> 500	> 500	> 500
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	> 200	> 200	> 200	> 200	> 200
Gazoduc	Transport de gaz	Rupture du gazoduc	Libération de gaz	200 m	> 200	> 200	> 200	> 200	> 200
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Non Concerné > 2000				

Tableau 15 : Infrastructures et distances aux éoliennes

* Distance Eolienne – route départementale

7.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS

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

Agression externe	*Intensité*
Vents et tempête	Cyclones tropicaux : non concerné Risque : la station de Mauriac a enregistré des vitesses de vent maximales de 34 m/s le 27/12/1999
Foudre	Impact de foudre par km² et par an : entre 1 et 2
Glissement de sols/ affaissement miniers	Non concerné

Tableau 16 : Agressions externes et intensité

Comme il a été expliqué précédemment, nous ne tenons pas compte des inondations, incendies de forêts et de cultures et des séismes car les dangers qu'ils entrainent sont largement supérieurs aux dommages entrainés par les éoliennes.

Note : 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 dès lors qu'il est vérifié que la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (Décembre 2006) est respectée. En effet, on

[11] Distance à partir de laquelle l'activité considérée ne constitue plus un agresseur potentiel

considère que le respect des normes rend le risque d'effet direct de la foudre négligeable (risque électrique, risque d'incendie, etc.) par le système de mise à la terre, qui 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 rupture de pale. Toutes les éoliennes de type Nordex sont équipées d'un système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.

7.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Le tableau ci-dessous présente une analyse générique des risques. Celui-ci est construit de la manière suivante :

- une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs* et *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'effets attendue de l 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'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience 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).

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement 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	Conditions 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 la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement 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	Ecoulement	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 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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C3	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 importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie 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 pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 17 : Analyse des différents scenarios (Source : INERIS/SER)

7.5. EFFETS DOMINOS

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 ».

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets dominos sur d'autres installations, le paragraphe 1.2.2 de la circulaire du 10 mai 2010 précise : « […] seuls les effets dominos 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 ». D'après ce paragraphe de la circulaire, il a été choisi de prendre en considération uniquement les infrastructures présentes dans un périmètre de 100 m autour des aérogénérateurs.

Aucune ICPE n'est présente dans un rayon de 100 m autour des éoliennes, nous considérons donc qu'il n'y a pas de risque de conséquences par effets dominos dans le cadre de ce projet éolien.

Note : Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques générique présenté ci-dessus (Scenario E01).

7.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes du parc éolien de Saint-Angel. Dans le cadre de la présente étude de dangers, 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 ». La mesure sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.

- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **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.
- **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'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.

Fonction de sécurité	**Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace**	**N° de la fonction de sécurité**	**1**
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Immédiat (L'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige.)		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
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.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Maintenance préventive semestrielle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) 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.		
Efficacité	100 %		
Tests	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.		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		
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. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme		

	L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est, quant à lui, dépendant de la zone géographique.
Efficacité	100 %
Tests	Vérification de la plausibilité des mesures de température
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabriquant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.

Fonction de sécurité	**Prévention et rétention des fuites**	**N° de la fonction de sécurité**	**8**
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : − de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; − d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; − de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	**Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)**	**N° de la fonction de sécurité**	**9**
Mesures de sécurité	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
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. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis.		

	Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).
Indépendance	Oui
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)
Efficacité	100 %
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle…) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.

Fonction de sécurité	**Prévenir les erreurs de maintenance**	**N° de la fonction de sécurité**	**10**
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	**Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort**	**N° de la fonction de sécurité**	**11**
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)		
Description	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne		
Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Tableau 18 : Mesures de sécurité mises en place par Nordex

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes est conforme à l'arrêté du 26 août 2011.

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.

7.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, quatre catégories de scénarios sont a 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/m^2 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 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 ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistants 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 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
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. De plus, le site éolien n'est pas concerné par un périmètre de protection rapprochée.

Tableau 19 : Scenario exclu

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

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

8. ETUDE DETAILLEE 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, cinétique, intensité et gravité. Son objectif est donc de préciser le risque généré par l'installation et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre. L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

8.1. RAPPEL DES DEFINITIONS

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 2005.

Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de toxique.

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 nationale 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.

8.1.1. CINETIQUE

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 [13], 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.

8.1.2. INTENSITE

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 [13]).

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 [13] 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 : seuils 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 %

Tableau 20 : Intensité et degré d'exposition

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement.

8.1.3. GRAVITE

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 dans le paragraphe précédent.

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 1 personne 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 »

Tableau 21 : Intensité et gravité

8.1.4. PROBABILITE

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

Niveaux	*Echelle qualitative*	*Echelle 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*** Evénement 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.	$\leq 10^{-5}$

Tableau 22 : Niveau de probabilité

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, la probabilité de chaque événement accidentel identifié pour une éolienne est déterminée en fonction :

- de la bibliographie relative à l'évaluation des risques pour des éoliennes
- du retour d'expérience français
- des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 Septembre 2005

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

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 :

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

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

$P_{orientation}$ = 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)

$P_{présence}$ = 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.

8.1.5. ACCEPTABILITE

Le risque est défini acceptable ou inacceptable selon la classe de probabilité.

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 dans la suite de l'analyse.

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

Tableau 23 : Matrice de criticité

Les scenarios représentés en vert et jaune conduisent à un risque acceptable tandis que le rouge montre un scenario inacceptable.

8.2. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

Afin de caractériser les différents scenarios retenus, il est important de prendre en compte le type de machines utilisées. Les scénarios détaillés dans cette partie sont caractérisés pour des éoliennes de type N117.

Nous utiliserons les données suivantes :

Elément		Sigle	Dimensions N117 (m)
Mât	Hauteur de moyeu	H	120
	Base	L	4,3
Pale	Longueur	R	58,4
	Largueur la plus importante	LB	3,7
Rotor	Diamètre	D	116,8

Tableau 24 : Caractéristiques des éoliennes (Source : Nordex)

8.2.1. EFFONDREMENT DE L'EOLIENNE

❖ **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 178,4 m dans le cas des éoliennes du parc de Saint-Angel.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6]). 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.

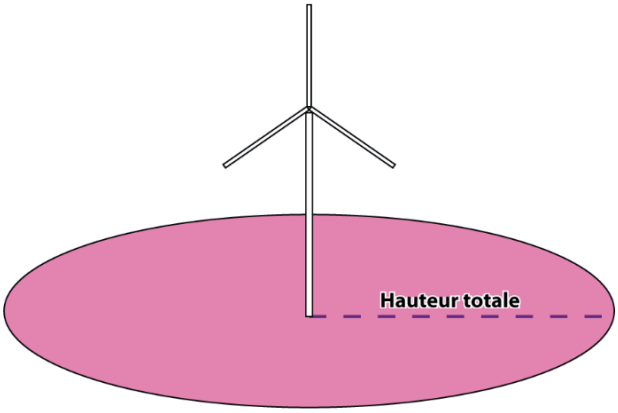
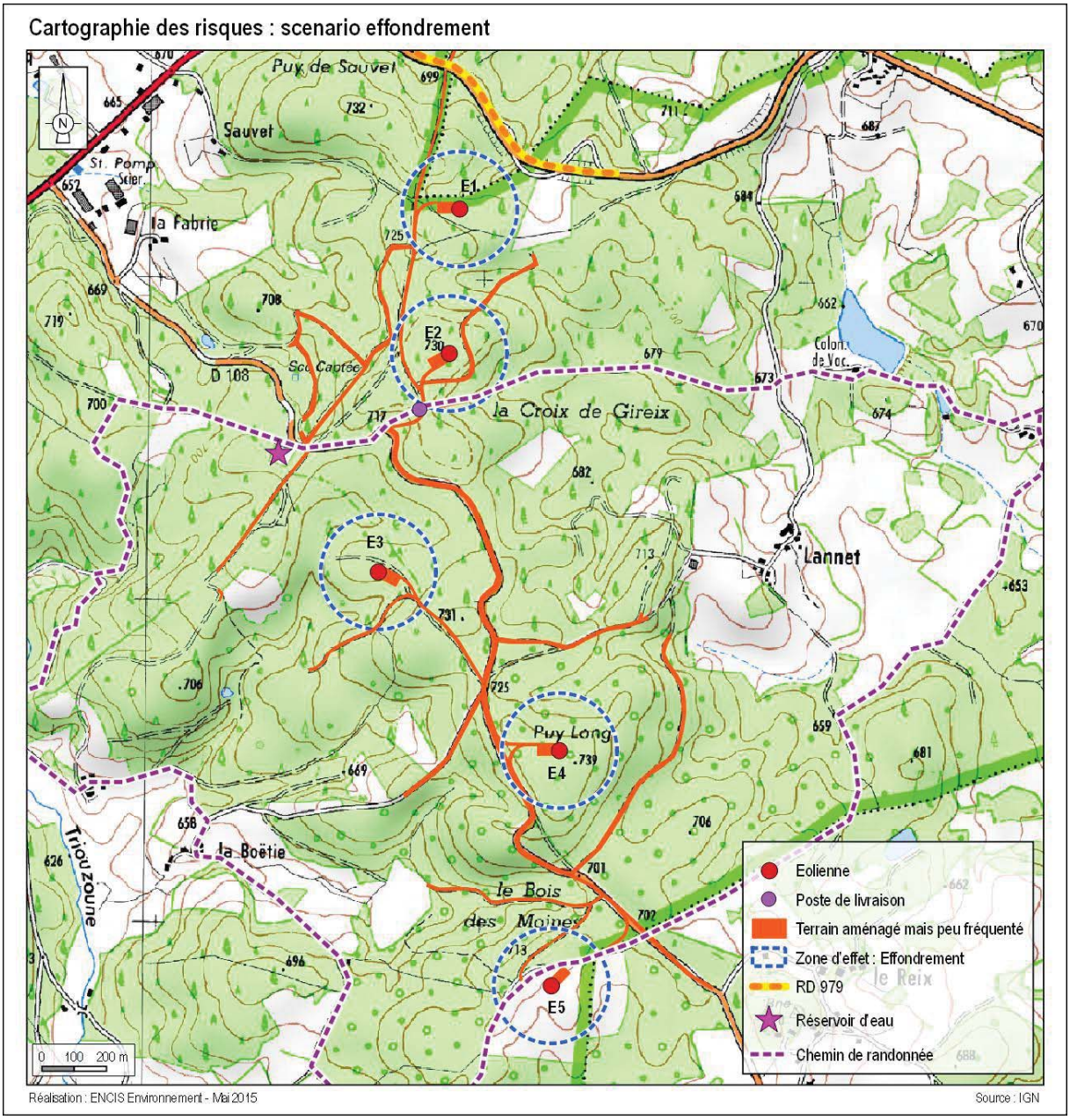


Figure 9 : Zone d'effet / Effondrement de l'éolienne



Carte 15 : Cartographie des risques – scenario : effondrement éolienne (Source : ENCIS Environnement)

❖ 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 Saint-Angel. R est la longueur de pale (R= 58,4 m), D est le diamètre du rotor (D = 116,8 m), LB la largeur la plus importante de la pale (LB= 3,7 m) H la hauteur de moyeu (H= 120 m) et L la largeur du mât (L= 4,3 m).

Effondrement de l'éolienne			
zone d'impact	zone d'effet	degré d'exposition	intensité
m²	m²	%	
*H x L + 3*R*LB/2*	*π x (H+D/2)²*	*$d=Z_I/Z_E$*	
840,12	99 986	0,84	Exposition modérée

Tableau 25 : Intensité du scenario

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

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement :

- 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 d'effondrement et la gravité associée :

Effondrement de l'éolienne		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,140012	Modéré
2	0,636885	Modéré
3	0,13508	Modéré
4	0,153251	Modéré
5	0,922685	Modéré

Tableau 26 : Gravité du scenario

❖ **Probabilité**

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

Source	***Fréquence***	***Justification***
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$4,5 \times 10^{-4}$	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	$1,8 \times 10^{-4}$ (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.

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[12], soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

[12] Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

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 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

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 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* ».

❖ **Acceptabilité**

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

Effondrement de l'éolienne			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,140012	Modéré	Acceptable
2	0,636885	Modéré	Acceptable
3	0,13508	Modéré	Acceptable
4	0,153251	Modéré	Acceptable
5	0,922685	Modéré	Acceptable

Tableau 27 : Niveau de risque du scenario

Ainsi, pour le parc éolien étudié, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.2. CHUTE DE GLACE

❖ **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 variant 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.

❖ **Zone d'effet**

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de Saint-Angel, la zone d'effet a donc un rayon de 58,4 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

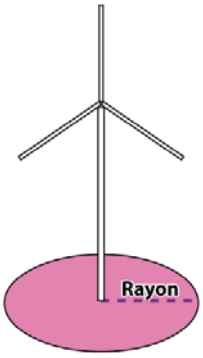
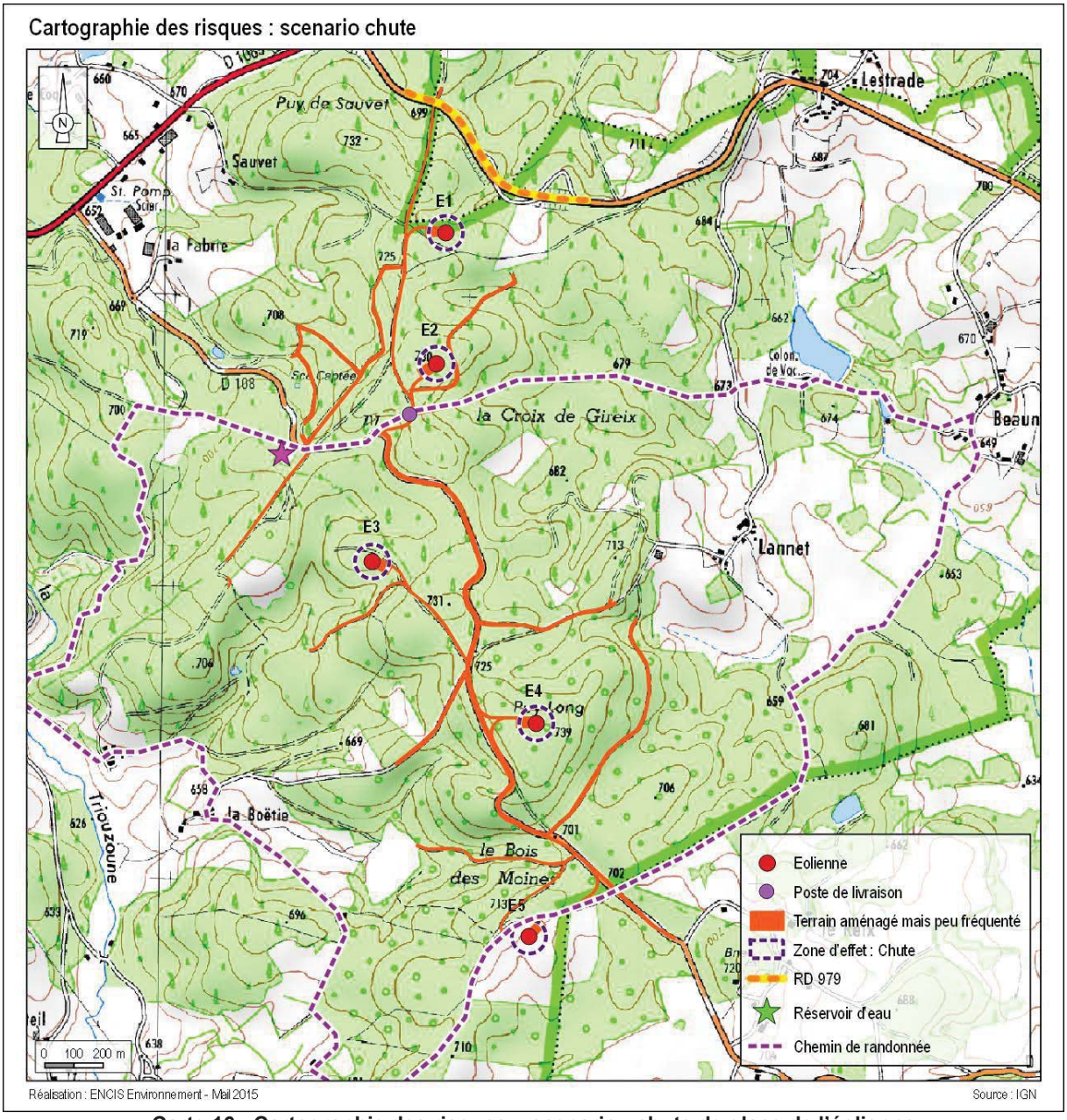


Figure 10 : zone d'effet / Chute de glace



Carte 16 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace de l'éolienne (Source : ENCIS Environnement)

❖ **Intensité**

Le risque de chute de glace 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, soit 58,4 m. 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 de Saint-Angel. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, 58,4 m est la longueur d'un demi rotor (D/2), SG est la surface du morceau de glace majorant (SG= 1 m²).

Chute de glace			
zone d'impact	zone d'effet	degré d'exposition	intensité
m²	m²	%	
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times (D/2)^2$	$d = Z_I / Z_E$	
1	10 715	0,01	Exposition modérée

Tableau 28 : Intensité du scenario

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

❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.1.3.), 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 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 de glace et la gravité associée :

Chute de glace		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,024327	Modéré
2	0,027567	Modéré
3	0,025704	Modéré
4	0,026982	Modéré
5	0,126001	Modéré

Tableau 29 : Gravité du scenario

❖ Probabilité

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

❖ Acceptabilité

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

Chute de glace			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,024327	Modéré	Acceptable
2	0,027567	Modéré	Acceptable
3	0,025704	Modéré	Acceptable
4	0,026982	Modéré	Acceptable
5	0,126001	Modéré	Acceptable

Tableau 30 : Niveau de risque du scenario

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

Il convient de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.2.3. CHUTE D'ELEMENTS DE L'EOLIENNE

- **Zone d'effet**

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. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments.

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, soit 58,4 m.

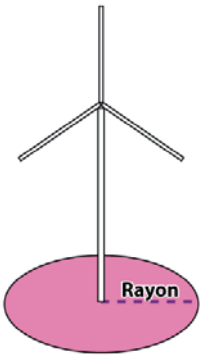
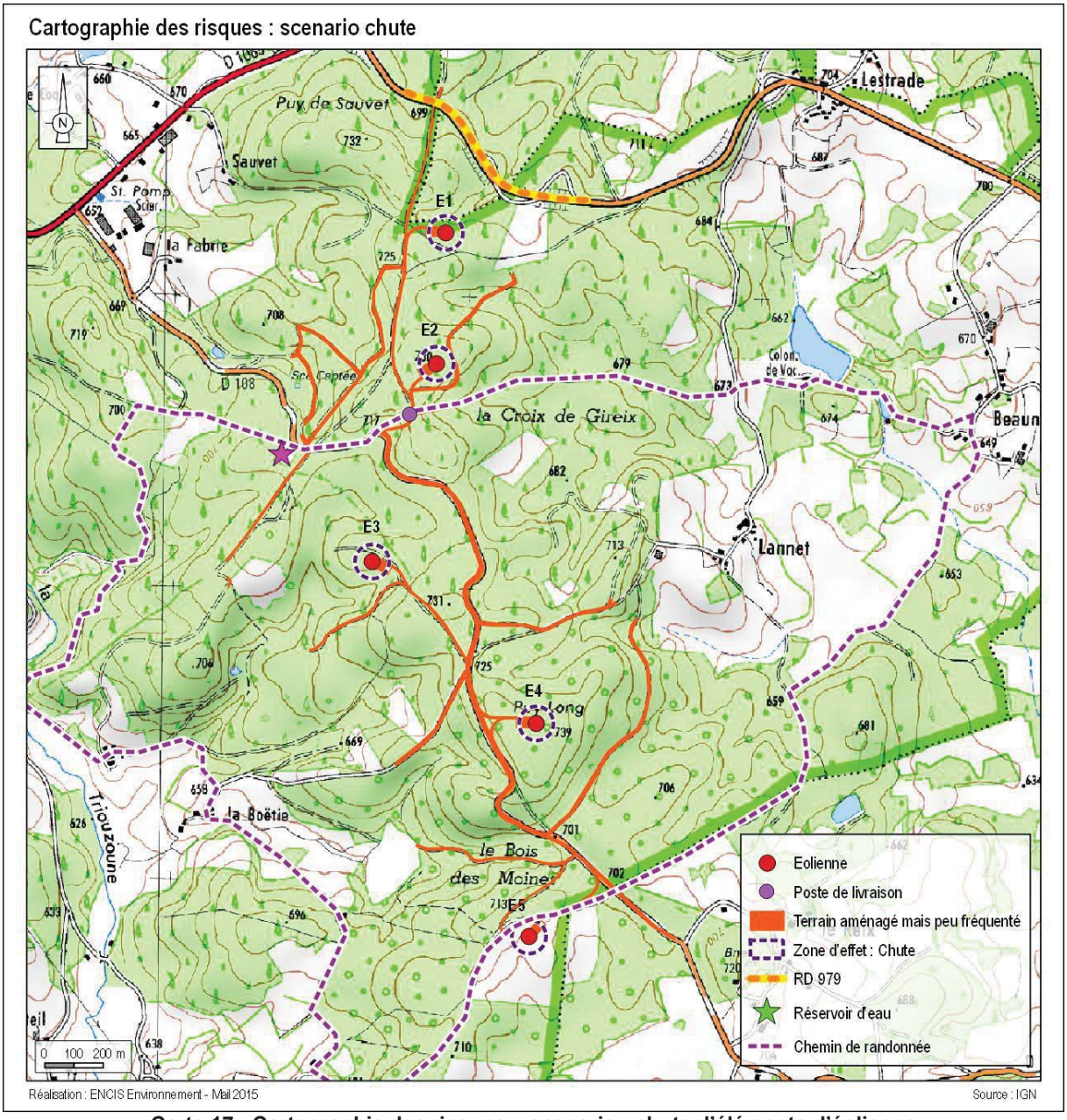


Figure 11 : zone d'effet / Chute d'éléments de l'éolienne



Carte 17 : Cartographie des risques – scenario : chute d'éléments d'éolienne (Source : ENCIS Environnement)

❖ Intensité

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, soit 58,4 m.

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 Saint-Angel. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet,LB la largeur la plus importante de la pale (LB= 3,7 m), R la longueur d'une pale (R = 58,4 m) et 116,8 m le diamètre du rotor (D).

Chute d'éléments de l'éolienne			
zone d'impact	zone d'effet	degré d'exposition	intensité
m²	m²	%	
$Z_I = R*LB/2$	$Z_E = \pi \times (D/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
108,04	10 715	1,01	Exposition forte

Tableau 31 : Intensité du scenario

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

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'éléments, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 100 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »
- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement → « Modéré »

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

Chute d'éléments de l'éolienne		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,024327	Sérieux
2	0,027567	Sérieux
3	0,025704	Sérieux
4	0,026982	Sérieux
5	0,126001	Sérieux

Tableau 32 : Gravité du scenario

❖ **Probabilité**

Peu d'élément 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 » : « *Evénement 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.

❖ **Acceptabilité**

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

Chute d'éléments de l'éolienne			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,024327	Sérieux	Acceptable
2	0,027567	Sérieux	Acceptable
3	0,025704	Sérieux	Acceptable
4	0,026982	Sérieux	Acceptable
5	0,126001	Sérieux	Acceptable

Tableau 33 : Niveau de risque du scenario

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

8.2.4. PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

❖ **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 [3].

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études [5] et [6].

Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, une distance d'effet de 500 mètres 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.

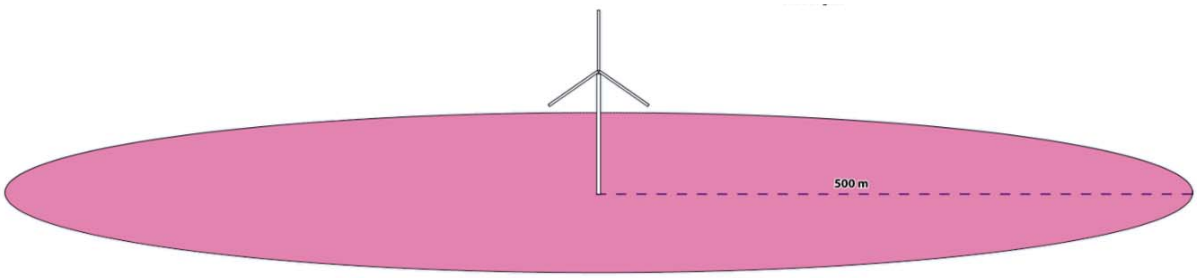
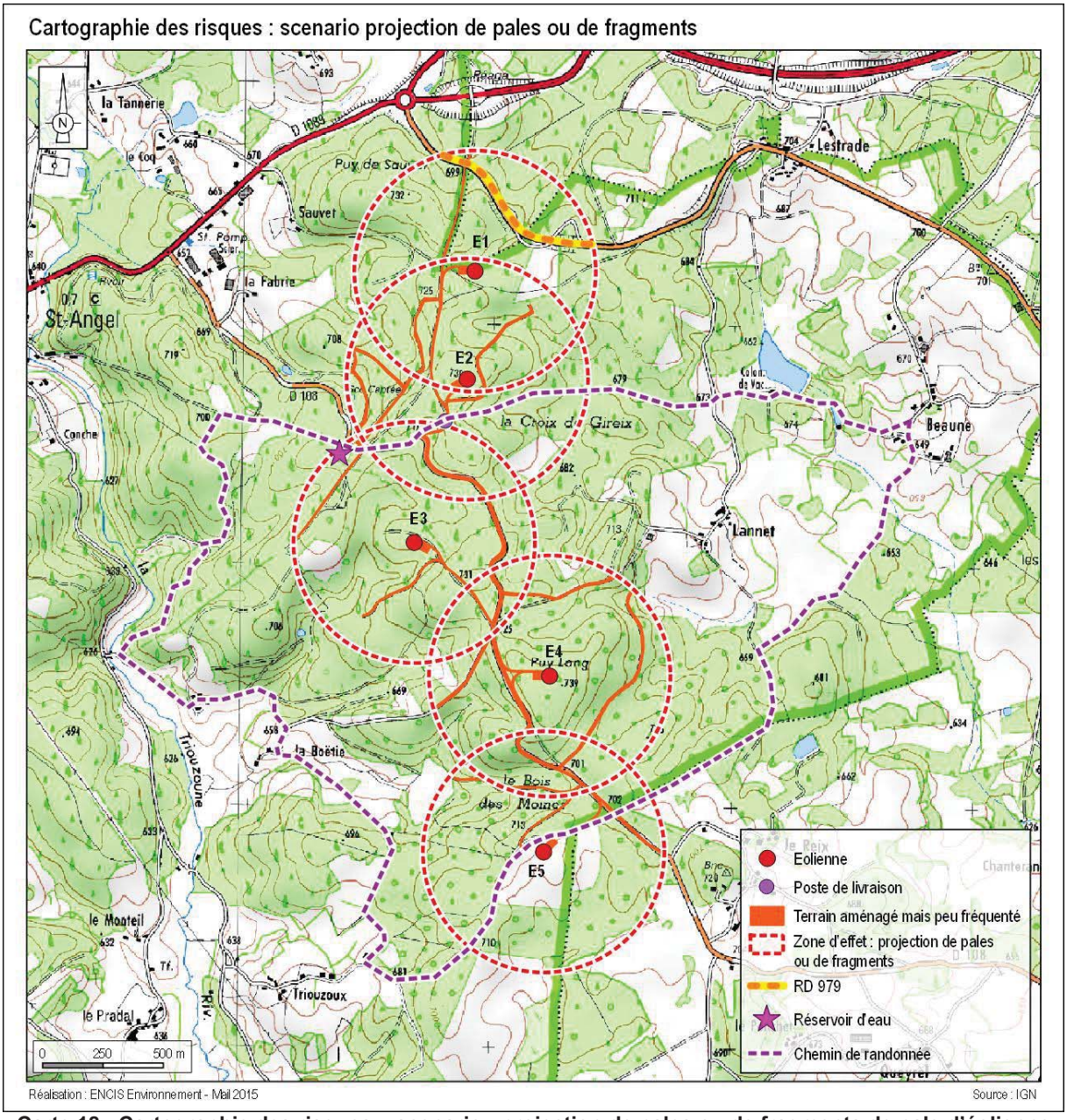


Figure 12 : zone d'effet / projection de pales ou de fragments de pale



Carte 18 : Cartographie des risques – scenario : projection de pales ou de fragments de pale d'éolienne (Source : ENCIS Environnement)

❖ **Intensité**

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Saint-Angel. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 58,4 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB= 3,7 m).

Projection de pale ou de fragment de pale			
zone d'impact	zone d'effet	degré d'exposition	intensité
m²	m²	%	
$Z_I=R*LB/2$	$Z_E= \pi \times r^2$	$d=Z_I/Z_E$	
108,04	785 398	0,01	Exposition modérée

Tableau 34 : Intensité du scenario

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

- 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 projection de pale ou de fragment de pale et la gravité associée :

Projection de pale ou de fragment de pale		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	12,340676	Important
2	3,118946	Sérieux
3	3,915533	Sérieux
4	1,157438	Sérieux
5	3,143013	Sérieux

Tableau 35 : Gravité du scenario

❖ **Probabilité**

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 assesment for a wind farm project [4]	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$1,1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	$6,1 \times 10^{-4}$	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 $7,66 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

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

- les dispositions de la norme IEC 61 400-1
- les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre
- système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – 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 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* ».

❖ **Acceptabilité**

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

Projection de pale ou de fragment de pale			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	12,340676	Important	Acceptable
2	3,118946	Sérieux	Acceptable
3	3,915533	Sérieux	Acceptable
4	1,157438	Sérieux	Acceptable
5	3,143013	Sérieux	Acceptable

Tableau 36 : Niveau de risque du scenario

8.2.5. PROJECTION DE GLACE

❖ **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 projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] propose une distance d'effet 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 :

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur du moyeu + diamètre de rotor)

= 1,5 x (120 + 116,8) = 355,2 m

= R_{PG}

Cette distance de projection est jugée conservative dans des études postérieures [17]. A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

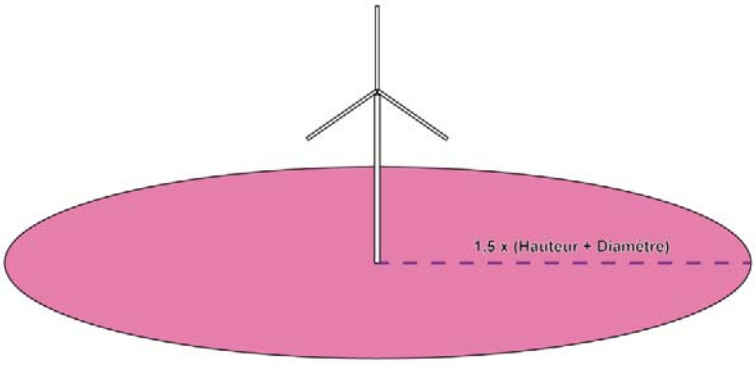
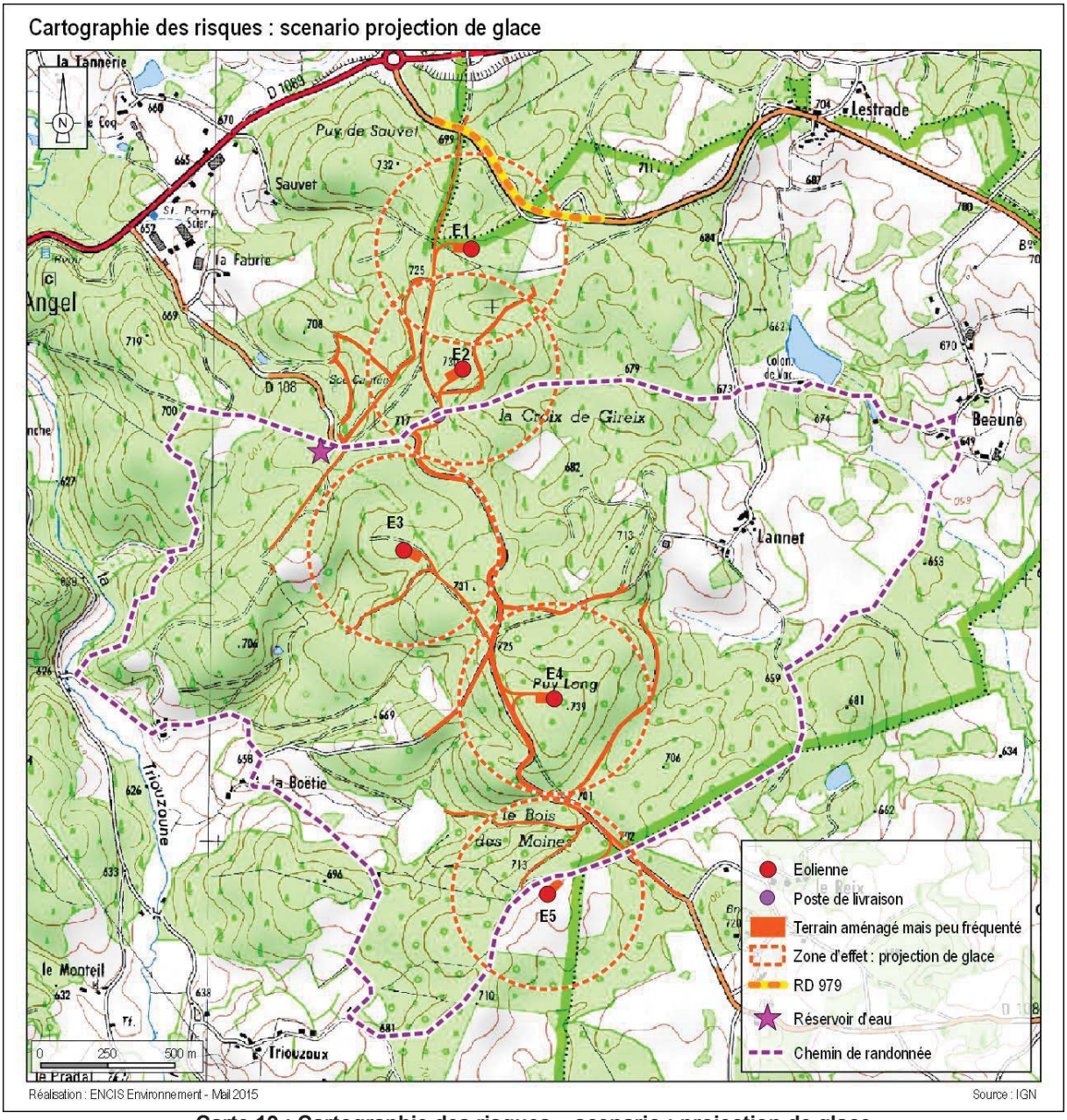


Figure 13 : zone d'effet / Projection de glace



Carte 19 : Cartographie des risques – scenario : projection de glace
(Source : ENCIS Environnement)

❖ **Intensité**

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (d'un rayon R_{PG} = 355,2 m).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Saint-Angel. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, H la hauteur au moyeu (H= 120 m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace			
zone d'impact	zone d'effet	degré d'exposition	intensité
m²	m²	%	
$Z_I = SG$	$ZE = \pi \times R_{PG}^2$	$d = Z_I / Z_E$	
1	396 365	0,00025	Exposition modérée

Tableau 37 : Intensité du scenario

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

- 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 »

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 possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.**

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de glace et la gravité associée, en excluant les enjeux humains déterminés pour la RD 979, car ces personnes se déplacent à bord d'un véhicule :

Projection de morceaux de glace		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,507123	Modéré
2	1,913011	Sérieux
3	0,51687	Modéré
4	0,613341	Modéré
5	2,082825	Sérieux

Tableau 38 : Gravité du scenario

❖ **Probabilité**

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience précis sur cet événement et considérant des éléments suivants :

- les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 ;
- le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace ;

Une probabilité forfaitaire « B – événement probable » est proposé pour cet événement.

❖ **Acceptabilité**

Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 10 dans la zone d'effet.

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

Projection de morceaux de glace			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,507123	Modéré	Acceptable
2	1,913011	Sérieux	Acceptable
3	0,51687	Modéré	Acceptable
4	0,613341	Modéré	Acceptable
5	2,082825	Sérieux	Acceptable

Tableau 39 : Niveau de risque du scenario

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

8.3. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

8.3.1. TABLEAU DE SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité pour l'éolienne étudiée (N117). Le tableau regroupe les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale 178,4 m	Rapide	exposition modérée	D	Modéré
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol 54,8 m	Rapide	exposition forte	C	Sérieux
Chute de glace	Zone de survol 54,8 m	Rapide	exposition modérée	A	Modéré
Projection de pale ou de morceau de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	exposition modérée	D	Important pour E1 Sérieux pour E2, E3, E4 et E5
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne 355,2 m	Rapide	exposition modérée	B	Modéré pour E1, E3 et E4 Sérieux pour E2 et E5

Tableau 40 : Paramètres de risques

8.3.2. SYNTHESE DE L'ACCEPTABILITE 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.

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		Projection de pale ou de fragment de pale pour E1			
Sérieux		Projection de pale ou de fragment de pale pour E2, E3, E4 et E5	Chute d'élément de l'éolienne	Projection de glace pour E2 et E5	
Modéré		Effondrement de l'éolienne		Projection de glace pour E1, E3 et E4	Chute de glace

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

Tableau 41 : Matrice de criticité

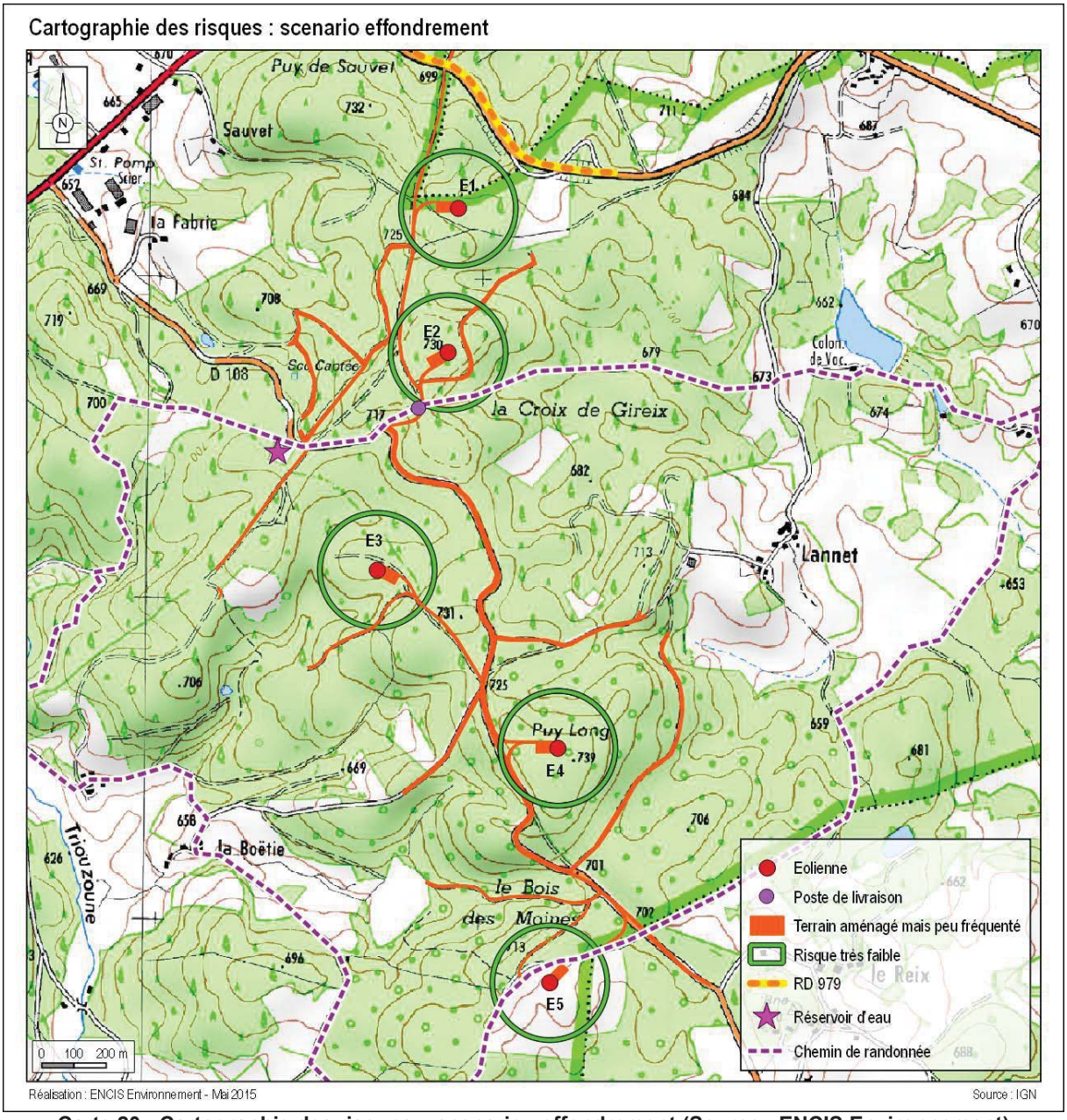
Il apparaît au regard de cette matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- quatre types d'accident (projection de pale ou de fragment de pale pour E1, projection de glace, chute de glace et chute d'élément) figurent en case jaune. Il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.

Le niveau de risque pour chaque scenario et pour chaque éolienne est jugé comme acceptable.

8.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

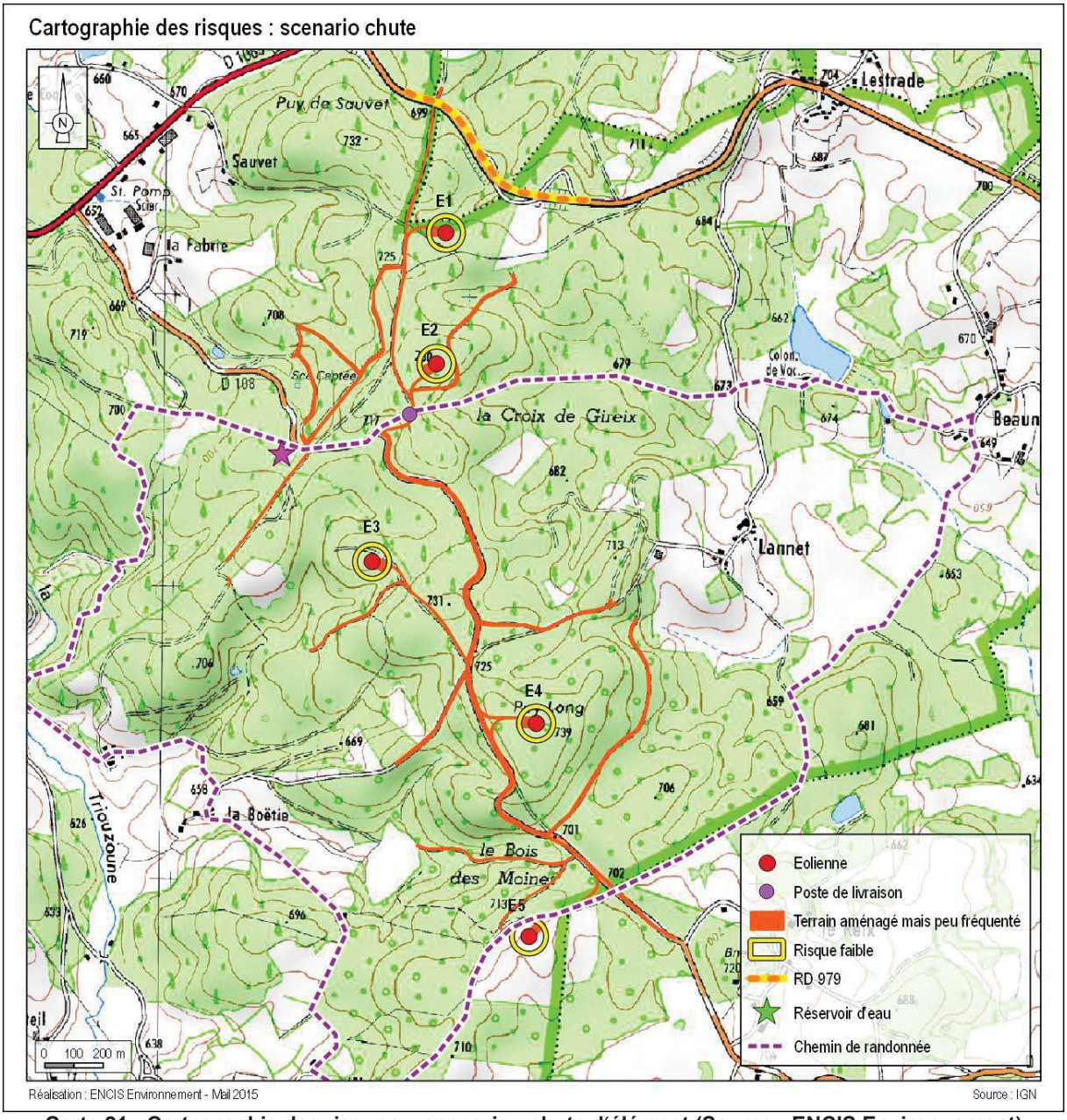
Les cartographies suivantes présentent pour chaque scenario et chaque éolienne la zone d'effet, les enjeux identifiés, l'intensité des phénomènes dangereux et le nombre de personnes exposées.



Carte 20 : Cartographie des risques – scenario : effondrement (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

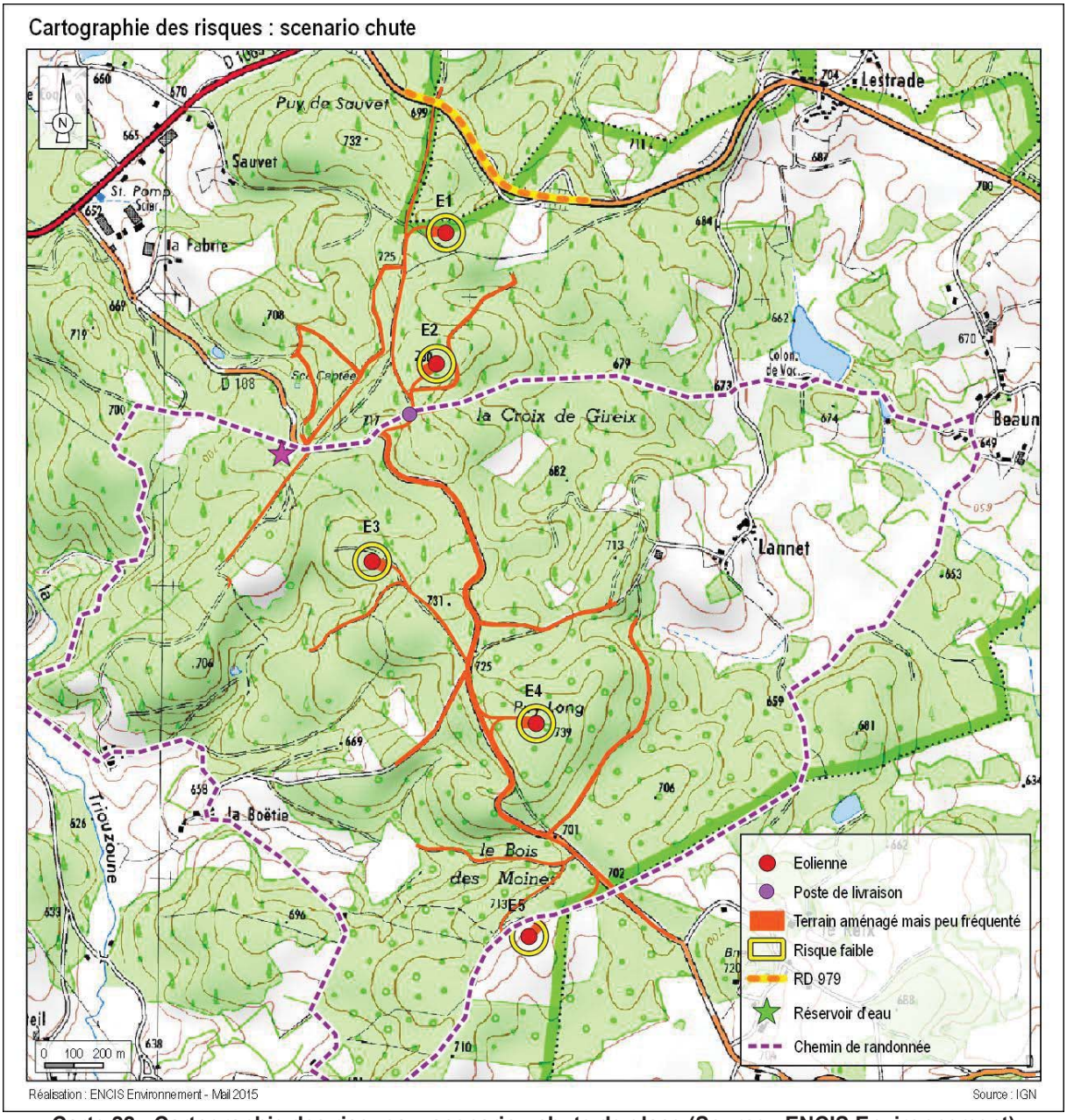
Eolienne	Enjeux humains
1	0,140012
2	0,636885
3	0,13508
4	0,153251
5	0,922685



Carte 21 : Cartographie des risques – scenario : chute d'élément (Source : ENCIS Environnement)

Exposition forte

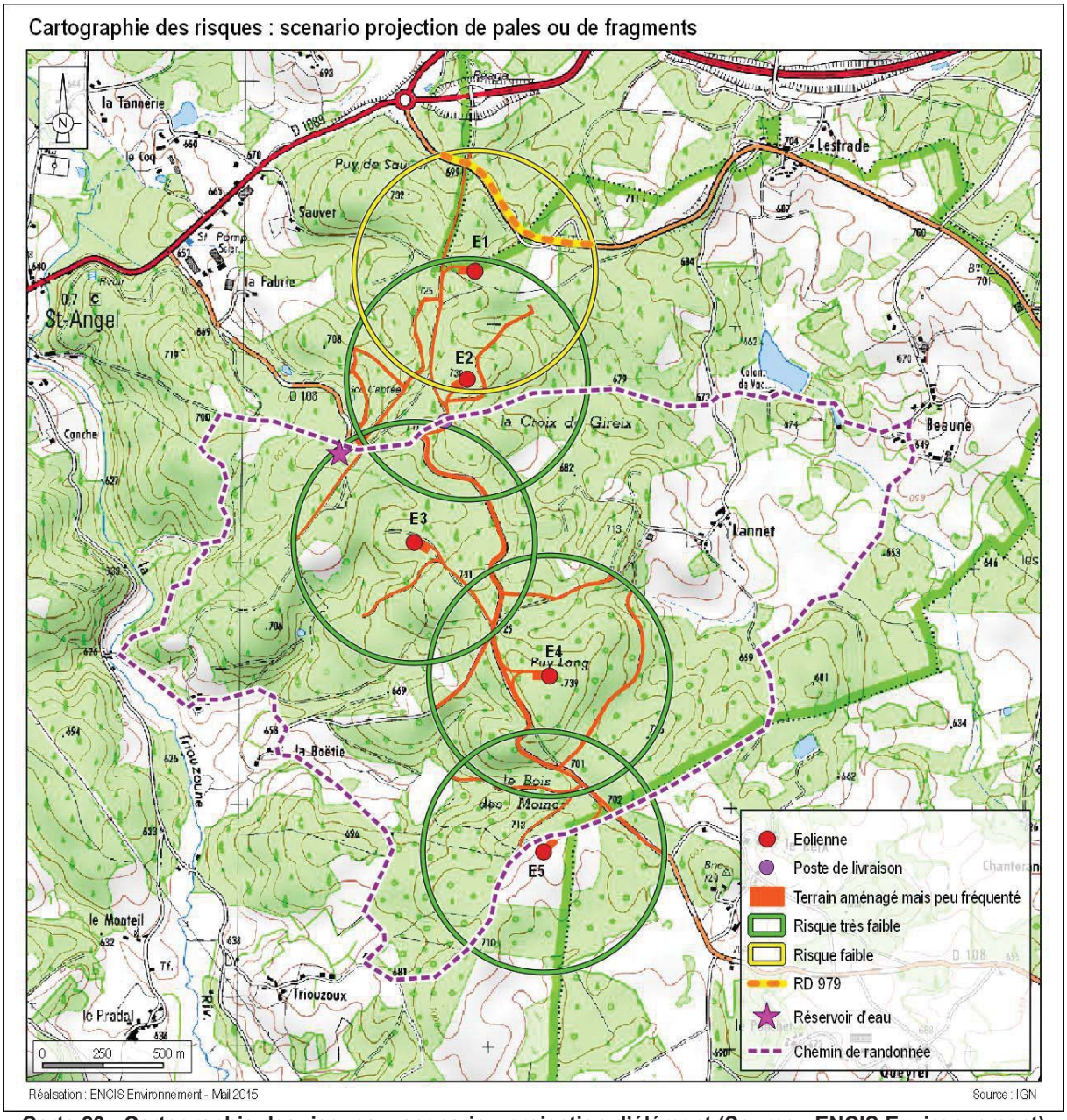
Eolienne	Enjeux humains
1	0,024327
2	0,027567
3	0,025704
4	0,026982
5	0,126001



Carte 22 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

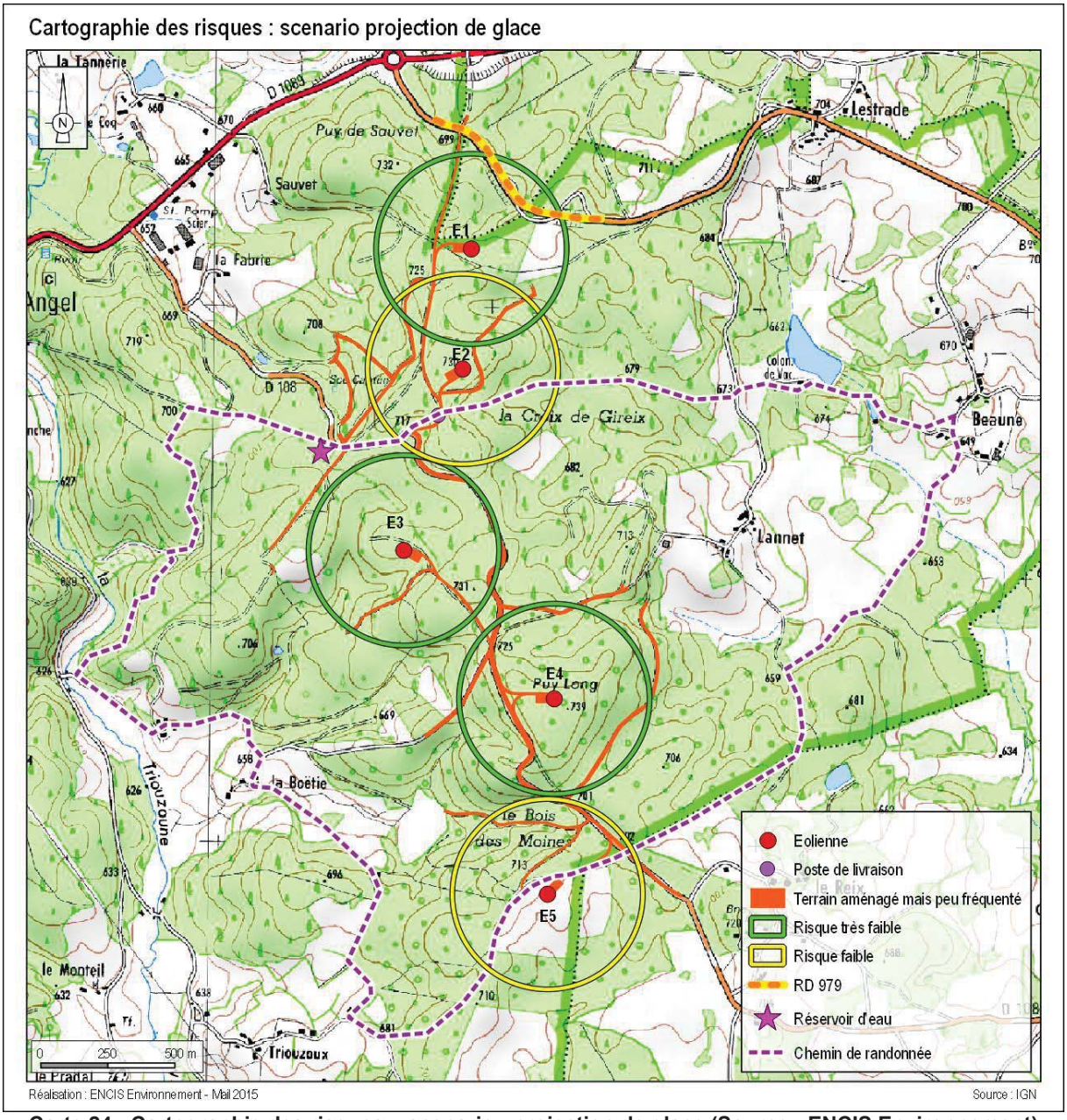
Eolienne	Enjeux humains
1	0,024327
2	0,027567
3	0,025704
4	0,026982
5	0,126001



Carte 23 : Cartographie des risques – scenario : projection d'élément (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

Eolienne	Enjeux humains
1	12,340676
2	3,118946
3	3,915533
4	1,157438
5	3,143013



Carte 24 : Cartographie des risques – scenario : projection de glace (Source : ENCIS Environnement)

Exposition modérée

Eolienne	Enjeux humains
1	0,507123
2	1,913011
3	0,51687
4	0,613341
5	2,082825

9. CONCLUSION

Suite à l'analyse menée dans cette étude de dangers, il ressort cinq accidents majeurs identifiés :

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

Pour chaque scenario, une probabilité a été calculée et une gravité donnée. Il en ressort que les risques sont très faibles (effondrement de l'éolienne, projection de glace pour E1, E3 et E4, projection d'éléments pour E2, E3, E4 et E5) et faibles (projection de pale ou de fragment de pale pour E1, projection de glace, chute de glace et chute d'élément), mais dans tous les cas acceptables.

Scénario	*Probabilité*	*Gravité*	*Acceptabilité*
Effondrement de l'éolienne	D	Modéré	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	C	Sérieux	Acceptable
Chute de glace	A	Modéré	Acceptable
Projection de pale ou de morceau de pale	D	Important pour E1 Sérieux pour E2, E3, E4 et E5	Acceptable
Projection de glace	B	Modéré pour E1, E3 et E4 Sérieux pour E2 et E5	Acceptable

Tableau 42 : Synthèse des scénarios et des risques

L'exploitant, de par sa démarche en amont, a réussi à limiter les risques. En effet, il a choisi de s'éloigner des habitations et les distances aux différentes infrastructures (ERP, routes) sont suffisantes pour avoir un risque acceptable.

De plus, son installation est conforme à la réglementation en vigueur (arrêté du 26/08/2011 relatif aux ICPE) et aux normes de construction.

Afin de garantir un risque acceptable sur l'installation, l'exploitant a mis en place des mesures de sécurité (voir tableau suivant) et a organisé une maintenance périodique (trois mois après le début de l'exploitation, puis tous les six mois).

Numéro de la fonction de sécurité	*Fonction de sécurité*	*Mesures de sécurité*
1	**Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace**	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.
2	**Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace**	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées
3	**Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques**	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement
4	**Prévenir la survitesse**	Détection de survitesse et système de freinage.
5	**Prévenir les courts-circuits**	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.
6	**Prévenir les effets de la foudre**	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur
7	**Protection et intervention incendie**	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours
8	**Prévention et rétention des fuites**	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution
9	**Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)**	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)
10	**Prévenir les erreurs de maintenance**	Procédure maintenance
11	**Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort**	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite
12	**Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau**	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.

Tableau 43 : Mesure de sécurité

ANNEXE 1 – METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE

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 (partie III.4), de comptabiliser les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) situés dans l'aire d'étude de l'éolienne considérée.

D'autre part, cette méthode permet ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques (partie 8).

Terrains non bâtis

Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) : 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...) : 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...) : compter la capacité du terrain et a minima 10 personnes à l'hectare.

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 véhicule/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

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 × 0,5 × 20 000/100 = 40 personnes.

Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic

Trafic (en véhicules/jour)	Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2 000	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8
3 000	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12
4 000	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16
5 000	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
7 500	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
10 000	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
20 000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
30 000	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
40 000	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
50 000	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
60 000	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
70 000	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280
80 000	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320
90 000	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360
100 000	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400

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.

Voies navigables

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

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.

Logements

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

Etablissements 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 ne se rencontreront peu en pratique.

Zones d'activité

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.

ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du guide sur l'élaboration de l'étude de dangers. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie 6. de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	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 suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
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.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
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	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
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 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	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	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	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.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
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	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	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	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
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)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	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 Beechcraftch (liaison 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.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	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	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bolléne	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	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	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entrainant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-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.		Interne SER-FEE	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		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	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	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	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.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissan-ce (en MW)	Année de mise en service	Techno-logie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

ANNEXE 3 – SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie VII.4.. Il 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).

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

Scénario G01

En cas de formation de glace, les systèmes de préventions 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.

Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrage 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 vents (vitesse de démarrage ou « cut in »), les projections resteront limitées au surplomb de l'éolienne. A vitesse de rotation nominale, les éventuelles projections seront susceptibles d'atteindre des distances supérieures au surplomb de la machine.

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

Les éventuels incendies interviendront dans le cas ou 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 scenarios devant être regardé :

- Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;
- Déterminer à l'aide de mot clé 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'utilités. 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, entrainant 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.

Scénarios relatifs aux risques de fuites (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, …).

Scénario F01

En cas de rupture de flexible, 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 :

- Ecoulement 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.

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.

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

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

Les scénarii 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.

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…

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'emballement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballement peut notamment être provoqué par la perte d'utilité décrite au 2.2 de la présente partie C (scénarios incendies).

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.

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, emballement de l'éolienne

Scénarios 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 pale en plusieurs tronçons.

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, …

ANNEXE 4 – PROBABILITE 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 :

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

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

$P_{orientation}$ = 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)

$P_{présence}$ = 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)

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.

ANNEXE 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 : Evénement 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.

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 mises à l'abri. La cinétique est rapide dans le cas contraire.

Danger : Cette notion définit une propriété intrinsèque à une substance (butane, chlore...), 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.

Evénement 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.

Evénement redouté central : Evénement 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 pré-accidentelle» 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 vulnérabilités données 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) vivantes ou matérielles, 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 exposées, 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 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 :

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

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 Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

[1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011

[2] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006

[3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum

[4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24

[5] 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

[6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004

[7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006

[8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005

[9] 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

[10] 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

[11] 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

[12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne

[13] 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

[14] Alpine test site Gütsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin etal.

[15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000

[16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtrois J.-P. - juillet 2004

[17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003

[18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005

5.3 - ARTICLE 24

PARC EOLIEN
DE SAINT-ANGEL

DOSSIER D'EXÉCUTION CONFORME À L'ARTICLE 24 ET AUX DISPOSITIONS DE L'ARTICLE 5 DU DÉCRET 2011-1697 DU 1ER DÉCEMBRE 2011

Création d'un réseau privé de lignes électriques souterraines HTA (20kv) pour le raccordement interne du parc éolien de Saint -Angel jusqu'au poste de livraison

Novembre 2015

« Les éoliennes d'un parc éolien doivent être raccordées entre elles jusqu'à un poste de livraison électrique par un réseau électrique souterrain, le réseau interne, appartenant au maître d'ouvrage. Ensuite, à partir de ce poste de livraison électrique, l'électricité va être livrée à ERDF et acheminée par ses soins, au frais du maître d'ouvrage, en liaison souterraine, jusqu'à un poste de transformation électrique capable d'accueil la puissance maximum du parc éolien.

Le raccordement électrique interne au parc éolien doit respecter l'Article 24 du Décret n° 2011-1697 du 1er décembre 2011. Cet Article 24 exige le respect de prescriptions techniques visant à éviter que ce raccordement compromette la sécurité des personnes et des biens, la sûreté de fonctionnement du système électrique ou la qualité de l'électricité, qu'il excède les normes en vigueur en matière de rayonnement électromagnétique.

Auparavant, l'administration exigeait un dossier indiquant le respect de cet Article 24 avant la réalisation des travaux. Aujourd'hui dans le cadre de l'Ordonnance n° 2014-355 du 20 mars 2014, ce dossier est exigé en amont, lors de la demande d'Autorisation Unique qui regroupe les différentes autorisations pour la réalisation du parc éolien.»

Les différents éléments du dossier indiquant le respect de cet Article 24 sont :

I - MÉMOIRE DESCRIPTIF

1) Présentation du parc éolien
2) Travaux de tranchée de liaison interne au parc
3) Ligne de 20 kV du réseau du parc

II - ETAT DES RENSEIGNEMENTS

1) Renseignements généraux
2) Système de distribution
3) Renseignements dur la distribution (au point de vue des voiries empruntées)

III - DETAILS TECHNIQUES SUR LES DIVERSES PARTIES DE LA DISTRIBUTION (Pour la description détaillée des supports, armements, isolateurs et postes voir plans type déposés)

IV – ANNEXES

1) Plans de raccordement (plan de situation, tracé du réseau, coupes types de tranchées et plan de pose des réseaux dans la tranchée, schéma du réseau HTA, synoptique du réseau HTA, état des conducteurs souterrains

I - MÉMOIRE DESCRIPTIF

1) Présentation du parc éolien

Il se compose de 5 éoliennes d'une puissance installée de 2.4 MW unitaire.

L'ensemble du parc développera à terme une puissance totale de 12 MW.

Les éoliennes sont reliées entre elles par un câble de moyenne tension 20kV jusqu'au poste de livraison. A l'extérieur du parc, une liaison moyenne tension 20kV sera réalisée par EDF afin de se raccorder au poste source le plus proche.

2) Travaux de tranchée de liaison interne au parc

* Réalisation de tranchée à la trancheuse sous terrain privée, de largeur 0,45m, et de profondeur 1,10m :

- décapage terre végétale, ouverture, fourniture et pose de grillage avertisseur et remblaiement avec matériaux extraits (intégrant la pose de ligne HTA protégée par un géotextile, de la Fibre Optique sous 1 fourreau PEHD de diamètre 40 extérieur, fourniture et pose d'une câblette de terre 50 mm² cuivre.

La couverture minimale au-dessus des câbles sera de 1,10m d'épaisseur.

* Réalisation de tranchée à la trancheuse sous accotement non revêtu, de largeur 0,30m, et de profondeur 0,90m :

- décapage terre végétale, ouverture, fourniture et pose de grillage avertisseur et remblaiement avec matériaux extraits (intégrant la pose de ligne HTA protégée par un géotextile, de la Fibre Optique sous 1 fourreau PEHD de diamètre 40 extérieur, fourniture et pose d'une câblette de terre 50 mm² cuivre.

La couverture minimale au-dessus des câbles sera de 0,90m : d'épaisseur.

* La pose des câbles se fera avant l'exécution des pistes d'accès et des fondations. Les câbles seront laissés en attente à 40,00 m de l'axe de l'éolienne dans une fosse de 5,00 m x 5,00 m balisée par un grillage de 1,00m de haut. Un lit de sable sera posé sur les câbles pour les protéger mécaniquement lors des travaux de voirie et fondation. Les câbles seront ensuite entrés dans l'éolienne après le remblaiement des fondations.

Un bornage du tracé du câble sera réalisé par nos soins après l'exécution des travaux.

En plein champ, la couche de terre végétale sera préalablement décapée sur une bande de 3,00m avant l'exécution de la tranchée.

Les dégâts occasionnés aux cultures seront indemnisés suivant les barèmes en vigueur régie par la chambre d'agriculture après constat contradictoire avec l'exploitant agricole.

Le règlement des indemnités sera versé directement par le maître d'ouvrage aux exploitants agricoles.

Le cahier des charges préconise des profondeurs d'enfouissement suivantes sur les réseaux HTA et Télécom:

- Sous accotement : 0,90m
- Sous chaussée : 0,90m
- En plein champ : 1,10m

Dans tous les cas, l'entreprise réalisant les travaux devra obligatoirement expédier une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) à tous les concessionnaires présent sur la commune (Mairie, ErDF, GrDF, Compagnie des Eaux, France Télécom,...). Des fouilles seront réalisées à la pelle mécanique pour repérer les ouvrages existants avant le passage de la trancheuse.

Conformément à l'arrêté technique de 2001, le Maître d'ouvrage s'engage à respecter les conditions d'éloignement de l'ouvrage projeté par rapport aux réseaux rencontrés ou découverts au cours du chantier :

- ouvrages recensés au travers des déclarations de travaux
- ouvrages potentiellement présents mais n'ayant pas répondu aux demandes de renseignements
- ouvrages qui seraient découverts pendant la phase travaux.

3) Ligne de 20 kV du réseau du parc

Pour connecter chaque éolienne à leur poste de Livraison respectif, une ligne HTA 20kV sera installée dans le parc, de manière à connecter en série les aérogénérateurs selon la disposition des différents schémas unifilaires.

Les câbles HTA sont à la norme NF C33-226. Ils seront implantés suivant le tracé présenté dans les plans d'exécution. Ces câbles seront de fourniture du maître d'Ouvrage.

L'arrivée des câbles au poste de livraison se fera grâce à des extrémités de type EUIC de marque NEXANS ou équivalent pour l'installation intérieure, adéquate aux tronçons de câble. Pour l'arrivée des câbles dans les éoliennes, la connexion se fera par des têtes K430TB de marque NEXANS ou équivalent.

Les câbles seront connectés aux cellules de sortie de 20kV prévues à cet effet.

II - ETAT DES RENSEIGNEMENTS

1) RENSEIGNEMENTS GENERAUX

Objets ou motif: **Parc Eolien de Saint-Angel**

Département: **Corrèze (19)**

Commune: **Saint-Angel**

Nature des ouvrages: **Souterrain**

Nature des canalisations: **Réseau électrique**

Catégorie: **2ème catégorie (1000V<U<50000V)**

Tension de service: **20kV**

2) SYSTEME DE DISTRIBUTION

Définition du système et description générale de la distribution (nature, tension, nombre de fils, existence ou non de ligne de tension différentes, de sous-stations, poste de transformation; etc...) :

Alternatif Triphasé à 50Hz

Caractéristiques maximales de l'ouvrage : **HTAS**

Transformateurs, emplacement et puissance : **Voir plan étude**

3) RENSEIGNEMENTS SUR LA DISTRIBUTION (au point de vue des voiries empruntées)

COMMUNE	VOIES PUBLIQUES EMPRUNTEES		DOMAINES PRIVES EMPRUNTES		OBSERVATIONS
	DESIGNATION	LONGUEUR (en m)	DESIGNATION	LONGUEUR (en m)	
SAINT-ANGEL	Chemin d'expl. entre AS24 et AS26	12	AS 24	103	
			AS 26	113	
	Chemin d'expl. entre AS27 et AS28	13	AS 27	113	
			AS 28	25	
	Chemin rural de VC6 à RN679	21	AS 88	560	
			AS 19	4	
	Voie communale n°6	139	AS9	158	
			AW79	209	
	Route départementale n°108	1917	AY99	182	
			AY40	179	
	Ancien chemin de Saint-Angel à Valiergues	343			
	Chemin entre AY38 et AY40	14			

III - DETAILS TECHNIQUES SUR LES DIVERSES PARTIES DE LA DISTRIBUTION (Pour la description détaillée des supports, armements, isolateurs et postes voir plans type déposés)

1) Supports

a) Nature et type des supports : **Néant**

b) Nature et type des armements : **Néant**

c) Distance maxi entre 2 supports consécutifs : **Néant**

d) Distance moyenne entre supports consécutifs : **Néant**

2) Isolateurs

a) Nature des isolateurs : **Néant**

b) Type : **Néant**

3) Conducteurs Aériens

a) Nature du métal : **Néant**

b) Section des conducteurs en mm² : **Néant**

c) Section et nature des conducteurs de terre : **Néant**

4) Conducteurs souterrains

a) Type de câble : **NF C33-226**

b) Nature de l'âme des conducteurs : **Aluminium**

c) Nombre, disposition et section des conducteurs :

- **HTA 3x240mm² Torsadé**
- **HTA 3x150mm² Torsadé**

d) Nature des couches isolantes : **Polyéthylène**

e) Caractéristiques du câble : **U.T.E.**

f) Profondeur du câble :

- **sous accotement : 0,90m**
- **sous terrain vierge : 1,10m**
- **sous chaussée : 0,90m**

g) Tranchées : **voir coupes types**

h) Protection : **Grillage avertisseur à 25cm au-dessus du câble**

5) Postes de transformation

a) Type de poste : **PAC**

b) Nature des matériaux : **Béton**

c) Alignement :

d) Protection contre l'incendie :

IV – ANNEXES

Dossier d'exécution conforme à l'article 24 et aux dispositions de l'article 5 du décret 2011-1697 du 1er décembre 2011

CONSTRUCTION D'UN PARC EOLIEN
sur la commune de SAINT-ANGEL
DEPARTEMENT DE LA CORREZE (19)

Maître d'ouvrage:
VSB Energies Nouvelles
Espace Performance Bât. G1
35760 Saint Grégoire

Création d'un réseau privé de lignes électriques souterraines HTA (20kv) pour le raccordement interne du parc éolien de SAINT-ANGEL jusqu'au poste de livraison

REVISION DU PLAN

Indice	Date	Désignation	Modifié par :	Vérifié par :	Approuvé par :
10					
9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1					
0	17/11/15	CRÉATION DU PLAN	G.LE BIHAN	J.LAMOTTE	J.LAMOTTE

APPROBATION DEFINITIVE ET CONTROLE QUALITE

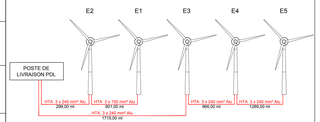
BUREAU ETUDE ou ENTREPRISE			Le représentant d' EIFFAGE ENERGIE
Nom	Date	Signature	Nom : Julien LAMOTTE
Eiffage Energie	17/11/15		Tél : 02-99-51-30-30
RECOLEMENT:		Entreprise	Fax : 02-99-32-29-29

INFORMATIONS DIVERSES:

EIFFAGE ENERGIE
EIFFAGE ENERGIE
Z.I. Sud Est - 4 rue des Charmilles
BP 91458 - 35514 CESSON SEVIGNE cedex
Tél: 02 99 51 30 30 Fax: 02 99 32 29 39

Date: 17/11/15
Echelle : 1/2000
Dessiné par: LE BIHAN
N° 311409
Indice 0

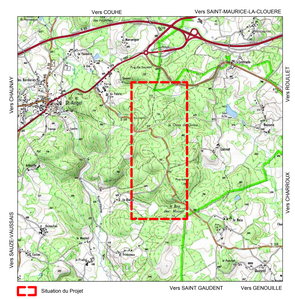
SYNOPTIQUE RESEAU HTA



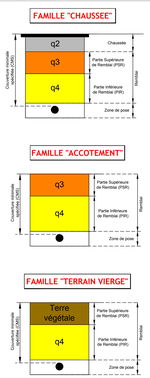
ETAT DES CONDUCTEURS SOUTERRAINS HTA

Repère plan	Section ou type	"Longueur électrique (m)"	Longueur géographique		
			"sous chaussée (tri-caudhe...)" (m)"	"sous accolement (m)"	"en terrain vierge (m)"
PDL-E2	HTA 3x240mm² Torsadé	299,00	8,00	28,00	227,00
E2-E1	HTA 3x150mm² Torsadé	901,00	28,00		836,00
PDL-E3	HTA 3x240mm² Torsadé	1715,00	15,00	1498,00	162,00
E3-E4	HTA 3x240mm² Torsadé	366,00	9,00	549,00	366,00
E4-E5	HTA 3x240mm² Torsadé	1299,00	33,00	545,00	966,00

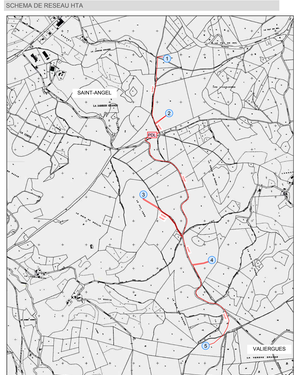
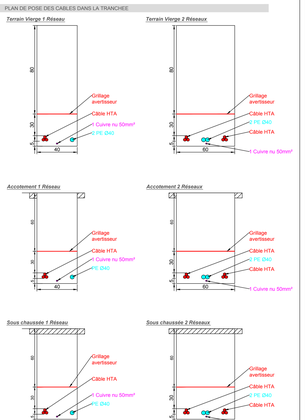
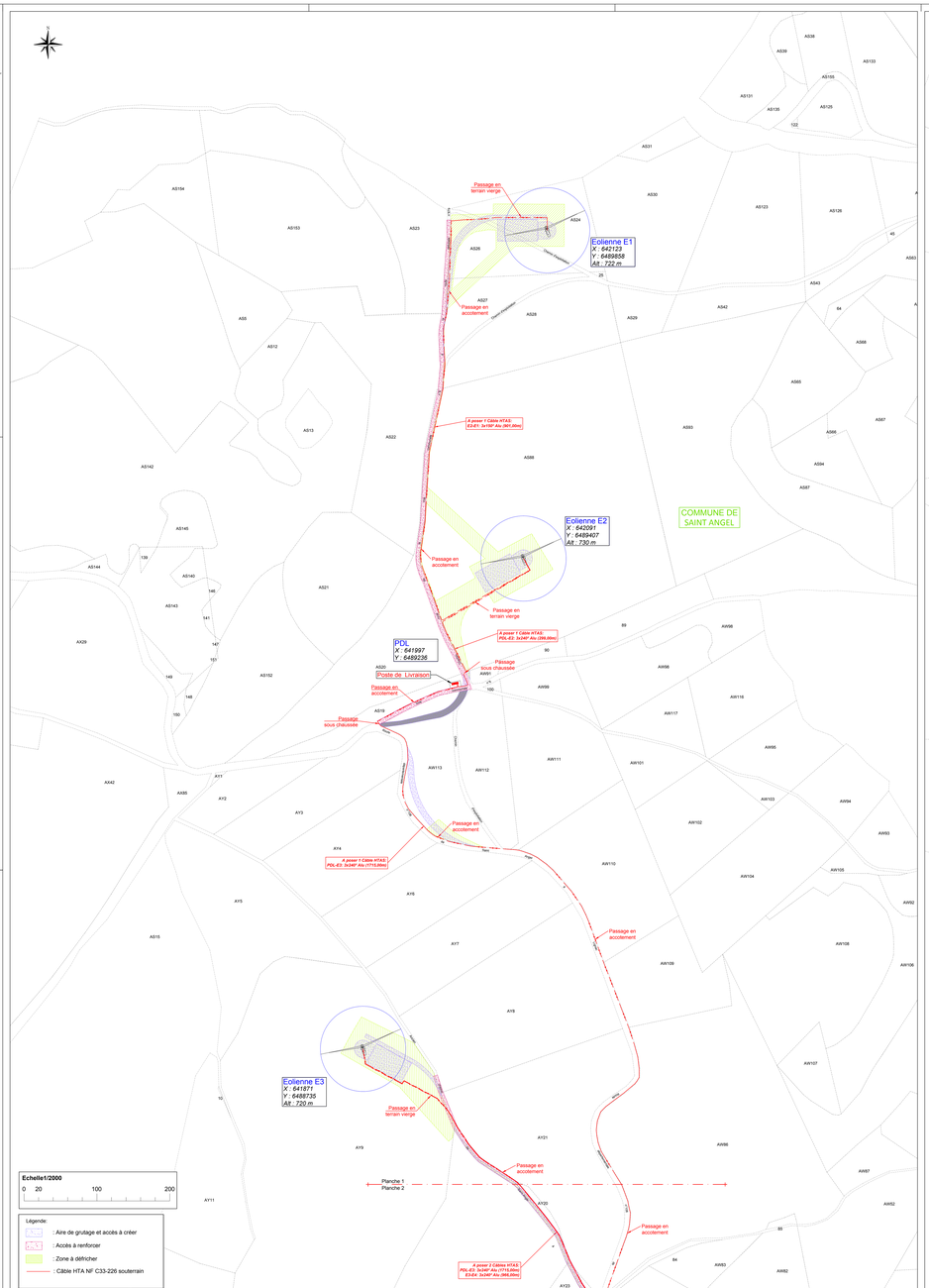
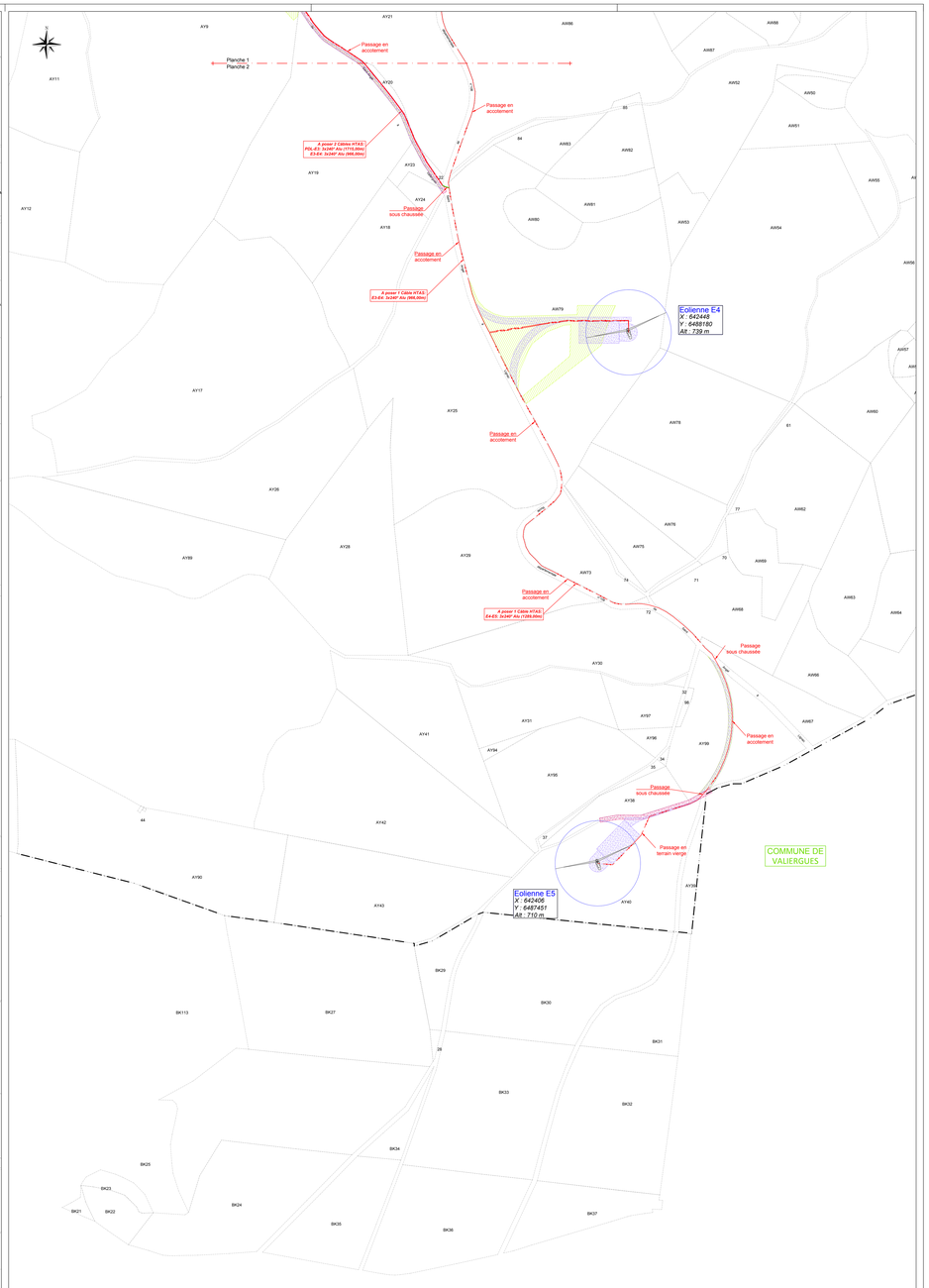
PLAN DE SITUATION



COUPE TYPE DE TRANCHEE



SCHEMA DE RESEAU HTA



PLAN DE POSE DES CABLES DANS LA TRANCHEE