



énergie
éolienne



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

*COMMUNES DE DOM-LE-MESNIL,
HANNOGNE-SAINT-MARTIN ET
SAPOGNE-ET-FEUCHERES (ARDENNES)*



ÉTUDE DE DANGERS

MAI 2014

**PARC EOLIEN NORDEX XXIX SAS
23 RUE D'ANJOU - 75008 PARIS**

INFORMATIONS SUR LE DOCUMENT

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| REDACTEUR | ILLAC Pierre |
| FONCTION | Environnementaliste |
| SOCIETE | QUADRAN Energies libres |
| DATE DE REDACTION | Mai 2014 |
| NOM DU FICHER | ED_Projet_éolien_Monts_Jumeaux |

PREAMBULE

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).

Fin 2013, la puissance installée en France atteignait ainsi 8 254 MW contre 7 564 MW en 2012 et 6 640 MW en 2011 (Source : GWEC – Global Wind Report).

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, 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 et à l'article 4 du décret n°2014-450 du 2 mai 2014 relatif à l'expérimentation d'une autorisation unique en matière d'ICPE, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de dangers.

Ainsi, la présente étude de dangers s'inscrit dans une démarche réglementaire permettant de vérifier que les risques potentiels du projet de parc éolien des Monts Jumeaux sont maîtrisés, et cela en toute transparence avec le grand public.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| I. RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE..... | 8 |
| I.1. INTRODUCTION | 8 |
| I.2. LOCALISATION DU PROJET | 8 |
| I.3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION | 8 |
| I.4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION PROJETEE | 12 |
| I.5. LES POTENTIELS DANGERS DE L'INSTALLATION..... | 14 |
| I.6. LES RETOURS D'EXPERIENCE | 15 |
| I.7. L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES..... | 16 |
| I.8. L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES | 18 |
| I.9. CONCLUSION | 21 |
| II. INTRODUCTION | 22 |
| II.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS | 22 |
| II.2. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE..... | 22 |
| II.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES..... | 23 |
| III. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION | 24 |
| III.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS..... | 24 |
| III.2. LOCALISATION DU SITE | 24 |
| III.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE..... | 24 |
| IV. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION | 27 |
| IV.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN..... | 27 |
| IV.1.1. Zones urbanisées et urbanisables | 27 |
| IV.1.2. Etablissement Recevant du Public (ERP) | 29 |
| IV.1.3. Installations Classées pour la Protection de l'Environnement et installations nucléaires de base | 30 |
| IV.1.4. Autres activités | 30 |
| IV.2. ENVIRONNEMENT NATUREL | 32 |
| IV.2.1. Contexte climatique | 32 |
| IV.2.2. Risques naturels..... | 34 |
| IV.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL | 38 |
| IV.3.1. Voies de communication | 38 |
| IV.3.2. Réseaux publics et privés | 39 |
| IV.3.3. Autres ouvrages | 40 |
| IV.4. SYNTHÈSE | 42 |
| IV.4.1. Equivalent personnes permanentes..... | 42 |

| | |
|--|-----------|
| IV.4.2. Cartographie | 42 |
| V. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION | 44 |
| V.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION | 44 |
| V.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien | 44 |
| V.1.2. Activité de l'installation | 46 |
| V.1.3. Composition de l'installation | 47 |
| V.1.4. Dimensions des éoliennes projetées | 47 |
| V.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION | 49 |
| V.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur | 49 |
| V.2.2. Découpage fonctionnel d'un aérogénérateur | 49 |
| V.2.3. Sécurité de l'installation | 53 |
| V.2.4. Moyens de secours et d'intervention | 55 |
| V.2.5. Opérations de maintenance de l'installation | 57 |
| V.2.6. Stockage et flux de produits dangereux | 60 |
| V.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION | 60 |
| V.3.1. Raccordement électrique | 60 |
| V.3.2. Autres réseaux | 61 |
| VI. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION | 62 |
| VI.1. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS | 62 |
| VI.1.1. Potentiels de dangers liés aux produits | 62 |
| VI.1.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation | 62 |
| VI.2. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE | 63 |
| VI.2.1. Principales actions préventives | 63 |
| VI.2.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles | 63 |
| VII. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE | 65 |
| VII.1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE | 65 |
| VII.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL | 66 |
| VII.3. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT | 68 |
| VII.4. SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE | 68 |
| VII.4.1. Analyse de l'évolution des accidents en France | 68 |
| VII.4.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents | 69 |
| VII.5. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE | 69 |
| VIII. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES | 70 |
| VIII.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES | 70 |
| VIII.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES | 70 |

| | |
|--|------------|
| VIII.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES | 71 |
| <i>VIII.3.1. Agression externes liées aux activités humaines</i> | 71 |
| <i>VIII.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels</i> | 71 |
| VIII.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES..... | 72 |
| VIII.5. EFFETS DOMINOS | 75 |
| VIII.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE | 75 |
| VIII.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES | 82 |
| IX. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES..... | 83 |
| IX.1. RAPPEL DES DEFINITIONS..... | 83 |
| <i>IX.1.1. Cinétique</i> | 83 |
| <i>IX.1.2. Intensité</i> | 83 |
| <i>IX.1.3. Gravité</i> | 84 |
| <i>IX.1.4. Probabilité</i> | 85 |
| IX.2. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS..... | 86 |
| <i>IX.2.1. Effondrement de l'éolienne</i> | 86 |
| <i>IX.2.2. Chute de glace</i> | 88 |
| <i>IX.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne</i> | 90 |
| <i>IX.2.4. Projection de pale ou de fragment de pale</i> | 92 |
| <i>IX.2.5. Projection de glace</i> | 94 |
| IX.3. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES..... | 96 |
| <i>IX.3.1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés</i> | 96 |
| <i>IX.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques</i> | 96 |
| <i>IX.3.3. Cartographie des risques</i> | 97 |
| X. CONCLUSION GENERALE DE L'ETUDE | 105 |
| ANNEXE 1 – METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE | 106 |
| ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE | 109 |
| ANNEXE 3 – SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES | 117 |
| ANNEXE 4 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL | 121 |
| ANNEXE 5 – GLOSSAIRE | 122 |
| ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES | 125 |
| ANNEXE 7 – DESCRIPTION TECHNIQUE DES AEROGENERATEURS NORDEX N117 | 126 |

I. RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE

I.1. INTRODUCTION

Le présent dossier concerne la mise en place du projet éolien des Monts Jumeaux. Ce projet concerne l'implantation de 6 éoliennes d'une capacité unitaire maximale de 3 000 kW et de 2 postes de livraison permettant de raccorder les éoliennes au réseau électrique EDF.

Dans le cadre de ce projet, et conformément à la réglementation relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement en vigueur ainsi qu'à l'article 4 du décret n°2014-450 du 2 mai 2014 relatif à l'expérimentation d'une autorisation unique en matière d'ICPE, une étude de dangers des installations doit être réalisée.

La présente étude de dangers a pour objectif de rendre compte de l'examen effectué par la société Quadran pour le compte de la SAS Parc Eolien Nordex XXIX afin de caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet éolien des Monts Jumeaux, 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 a été réalisée en conformité avec le guide technique de l'INERIS et du SER-FEE dans sa version de Mai 2012 – « *Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens* ».

Ce résumé non technique a été conçu pour faciliter la prise de connaissance par le public des informations contenues dans l'étude de dangers.

I.2. LOCALISATION DU PROJET

Le projet éolien est localisé sur les communes de Dom-le-Mesnil, Hannogne-Saint-Martin et Sapogne-et-Fechères dans le département des Ardennes (08), en région Champagne-Ardenne. Plus précisément, le projet est implanté en milieu rural, encadré par deux grandes agglomérations : Sedan à environ 10 km au nord-est, Charleville-Mézières à environ 11 km au nord-ouest.

La zone sur laquelle porte la présente étude de dangers est de 500 m autour de chaque éolienne.

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

Cette partie a eu 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).

ENVIRONNEMENT HUMAIN

Le site d'implantation du projet éolien des Monts-Jumeaux est localisé dans un secteur formé principalement de grandes cultures céréalières. A noter la présence d'une exploitation agricole dans la zone d'étude, à environ 380 m de l'éolienne E1.

Aucune activité commerciale ou industrielle n'est recensée dans la zone d'étude.

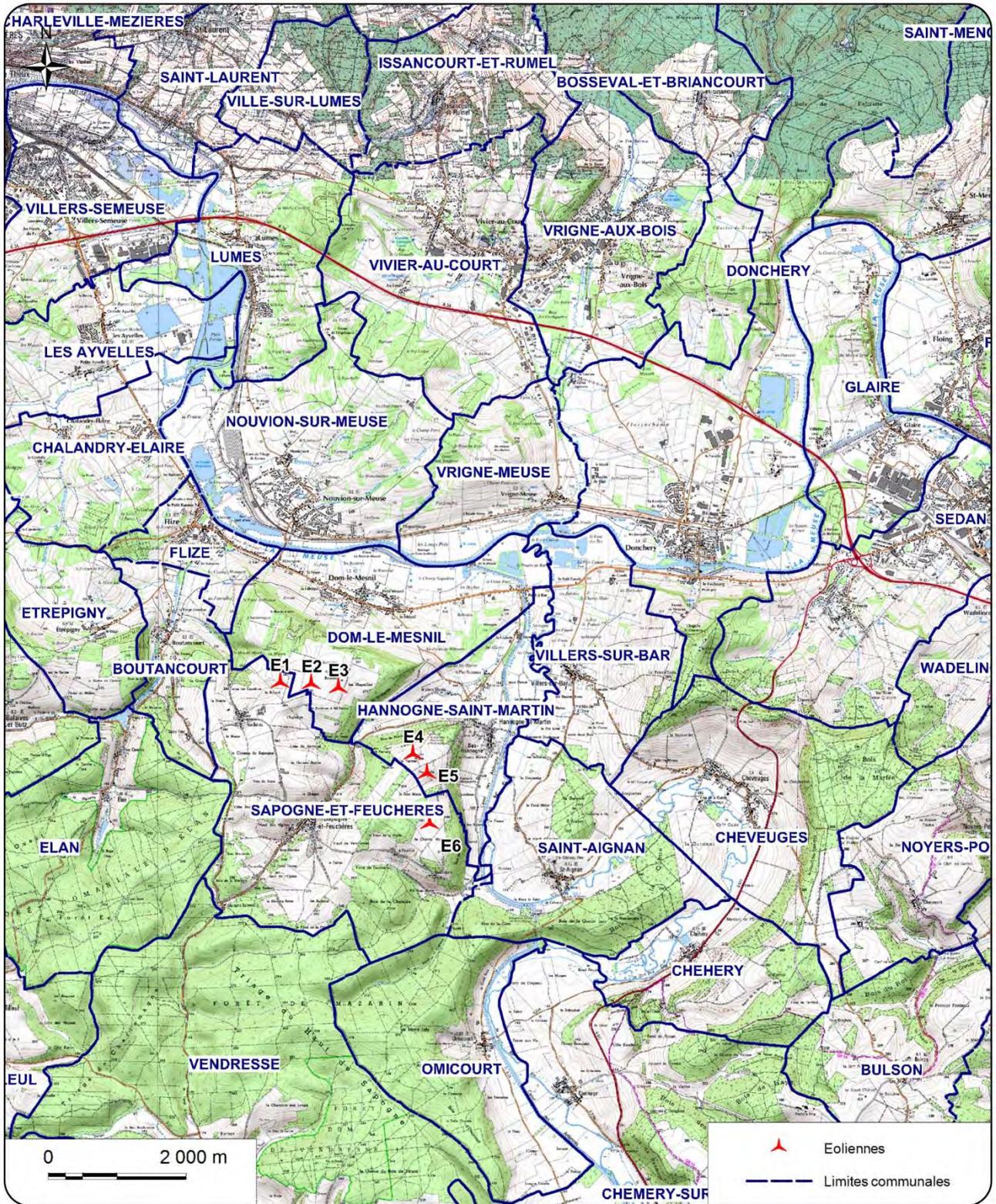
Conformément à la réglementation en vigueur, les projets éoliens sont implantés de telle sorte que les éoliennes sont situées à une distance minimale de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010. L'habitation la plus proche est située à environ 510 m.

Aucun Etablissement Recevant du Public (ERP) au sens de l'article R.123-2 du Code de la Construction et de l'Habitat, n'est recensé dans la zone d'étude.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Localisation du projet



Aucune installation Nucléaire de Base n'est installée dans la zone d'étude du projet. De même, aucune Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) n'est recensée.

ENVIRONNEMENT NATUREL

Le département des Ardennes fait la transition entre le climat océanique et le climat continental. Ainsi, le département ne bénéficie pas d'un climat uniforme sur tout son territoire, notamment pendant la période hivernale. Dans la région située au nord du département, dont fait partie la zone d'étude, le climat est considéré comme « *continental dégradé* » avec de fortes précipitations en automne et de fréquentes gelées en hiver.

Plusieurs phénomènes météorologiques sont recensés dans le département :

- le brouillard (visibilité < 1 km) : environ 184 jours par an contre 40 jours pour la moyenne nationale ;
- le gel (température < 0°C) : environ 8,9 jours par an contre 25 jours pour la moyenne nationale ;
- la neige : environ 21,4 jours de neige par an contre 14 jours de moyenne à l'échelle nationale.

Concernant les risques naturels, la zone d'étude est concernée par le risque sismique (niveau très faible – zone 1), le risque de foudroiement (risque faible), le risque de remontée de nappe (niveau faible) et l'aléa retrait – gonflement des argiles (aléa faible). Les autres risques naturels usuellement pris en compte sont anecdotiques voire inexistantes (inondation, tempête, incendie).

ENVIRONNEMENT MATERIEL

Le réseau routier au droit de la zone d'étude est composé de routes secondaires : la RD 12 avec un trafic de 1 000 véhicules/jour qui permet de rejoindre la RD 977 (Le Chesne) depuis la RD 764 (Dom-le-Mesnil) et des routes ainsi que des chemins communaux qui desservent les parcelles agricoles et relient les hameaux et lieux dits entre eux. Dans le cadre de la définition de l'implantation du projet éolien des Monts Jumeaux, un recul conservateur de minimum 150 m a été appliqué par le maître d'ouvrage. A noter qu'une infrastructure routière est considérée comme « *structurante* » si le trafic routier journalier est supérieur à 2 000 véhicules. Aussi, dans les aires d'études de 500 m des éoliennes, aucune infrastructure n'est considérée comme structurante.

Aucune ligne ferroviaire ou cours d'eau navigable ne sont présents dans la zone d'étude. A noter la présence de plusieurs chemins inscrits au Plan Départemental des Itinéraires de Promenade et de Randonnées (PDIPR) et de découverte. Ces sentiers sont peu fréquentés.

Aucune installation de type canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques) ou réseaux d'assainissement (stations d'épuration) n'est présente dans la zone d'étude.

Une ligne électrique aérienne THT traverse les aires d'études des éoliennes E1, E2 et E6 selon un axe nord-ouest/sud-est. Pour cette infrastructure, un recul conservateur de minimum 150 m a été appliqué par le maître d'ouvrage.

Deux captages d'eau potable sont recensés en bordure de la zone d'étude. Les aires d'études des éoliennes E1 à E3 sont concernées par un périmètre de protection. Toutefois, seule l'éolienne E3 est localisée dans un périmètre de protection (périmètre éloigné du captage d'Hannogne-Saint-Martin).

Enfin, aucune servitude radioélectrique n'est recensée dans la zone d'étude.

SYNTHESE DES SENSIBILITES

Dans le cadre du projet de parc éolien des Monts Jumeaux, les sensibilités sont relativement faibles compte tenu de l'occupation du sol (zone agricole) et l'absence d'infrastructures de transport structurante.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Synthèse des sensibilités

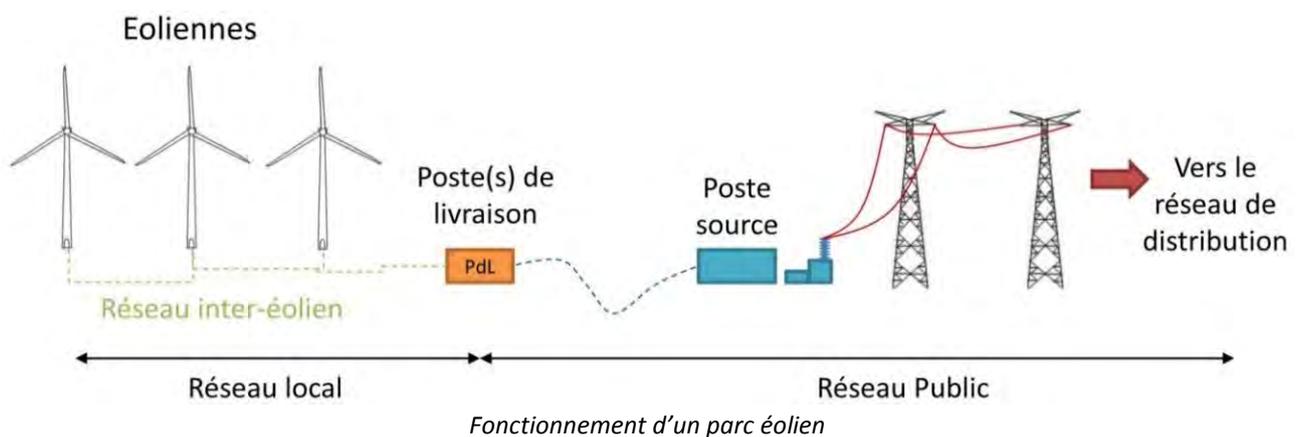


I.4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION PROJETEE

Cette partie a eu pour objectif de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement, en vue d'identifier les principaux potentiels de danger qu'elle représente, au regard notamment de la sensibilité de l'environnement qui sera étudiée dans la partie suivante.

Le présent projet éolien sera composé de **6 éoliennes NORDEX N117 et de ses annexes** :

- **six éoliennes d'une hauteur maximale de 149,4 m en bout de pale**, fixées sur une fondation adaptée et accompagnées d'une aire stabilisée appelée « aire de levage » ;
- **un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le poste de livraison électrique** (réseau appelé « inter-éolien »). L'itinéraire de ces câbles empruntera principalement les routes ainsi que les parcelles où seront implantées les éoliennes ;
- **deux postes de livraison électrique**, concentrant l'électricité de chaque éolienne et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité ;
- **un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au poste de livraison** ;
- **un réseau de chemins d'accès** aux éoliennes et au poste de livraison.



Les éoliennes projetées auront une puissance unitaire maximale de 3 MW, soit une puissance totale du parc de 18 MW.

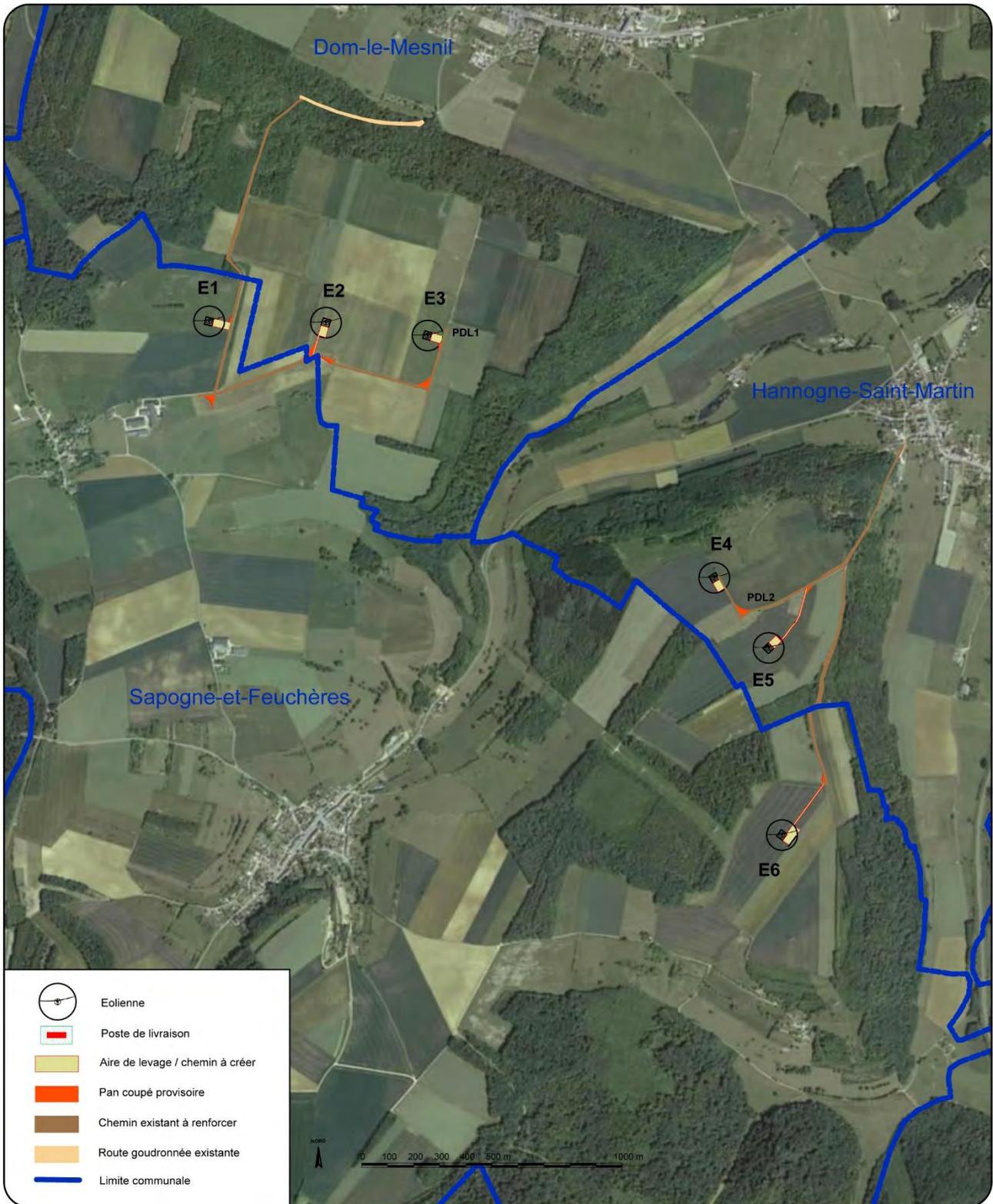
Les éoliennes sont composées de trois principaux éléments :

- **le rotor** : il est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent. **Dans le cas du présent projet éolien, le diamètre du rotor est de 116,8 m** ;
- **le mât** : il est composé plusieurs tronçons. Il abrite peut, selon les modèles, accueillir le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique. **Dans le cas du présent projet éolien, la hauteur du moyeu est de 91 m** ;
- **la nacelle** : elle abrite plusieurs éléments fonctionnels : le générateur (transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique) ; le système de freinage mécanique ; le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ; les outils de mesures du vent (anémomètre, girouette) ; le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aérienne.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Implantation projetée



I.5. LES POTENTIELS DANGERS DE L'INSTALLATION

Cette partie de l'étude de dangers a eu 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.

LES POTENTIELS 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 projet éolien 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,...) ;
- produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyants,...) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage,...).

Les produits utilisés dans les éoliennes ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, ils vont entretenir cet incendie.

LES POTENTIELS DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du projet éolien des Monts Jumeaux sont de 5 types :

- chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.) ;
- projection d'éléments (morceau de pale, brides de fixation, etc.) ;
- effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
- échauffement de pièces mécaniques ;
- courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

REDUCTION DES POTENTIELS DANGERS A LA SOURCE

Le choix opéré pour l'implantation d'un parc éolien tient compte de la distance séparant les éoliennes entre-elles et des servitudes liées à la présence d'infrastructures voisines.

Ainsi, dans le cadre de la définition du projet éolien des Monts Jumeaux, les contraintes techniques et sécuritaires du site d'étude ont été prises en compte. Des distances minimales d'éloignement ont été respectées dont :

- 500 m vis-à-vis des premières habitations et des zones urbanisables ;
- 300 m des établissements SEVESO ;
- 600 m des réseaux GRTgaz ;
- 150 m des routes départementales ;
- 150 m des lignes électriques aériennes HT et THT ;
- 150 m des bois et forêts.

Par ailleurs, l'ensemble des systèmes de sécurité ainsi que les opérations de maintenance des installations réalisées par le constructeur, contribuent à réduire à la source les potentiels de dangers liés au fonctionnement des installations.

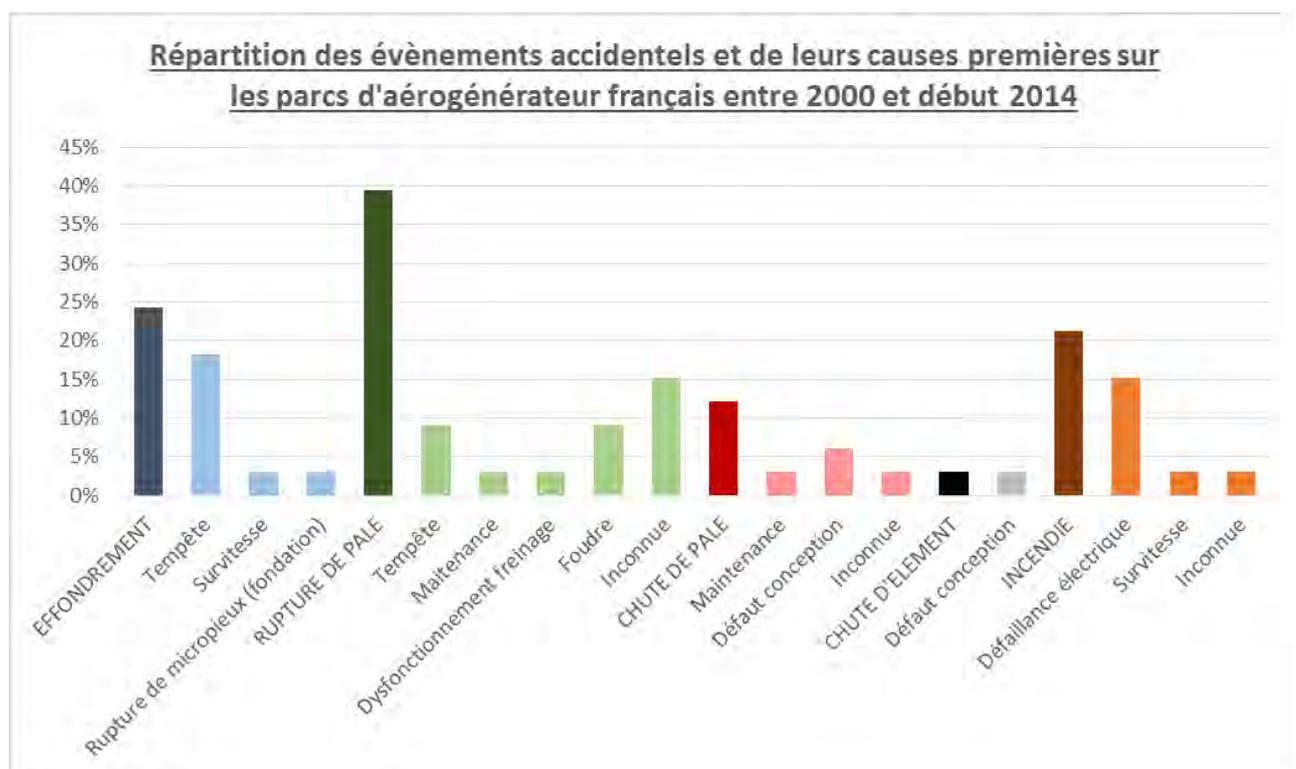
I.6. LES RETOURS D'EXPERIENCE

L'objectif de cette partie de l'étude de dangers a été de rappeler les différents incidents et accidents qui sont survenus dans la filière éolienne, en vue de l'analyse des risques pour l'installation projetée et d'en tirer des enseignements pour une meilleure maîtrise du risque dans les parcs éoliens.

INVENTAIRE ET EVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

L'inventaire qui a été repris dans le cadre de la présente étude de dangers est celui qui a été réalisé et validé par le groupe de travail constitué de l'INERIS et des professionnels du Syndicat des Energies Renouvelables (SER) et sa mise à jour par la société Quadran pour le compte de la SAS PARC EOLIEN NORDEX XXIX. Plusieurs sources ont été utilisées pour ce recensement ; il s'agit à la fois de sources officielles (Ministère du Développement Durable, Conseil Général des Mines), d'articles de presse locale ou encore de base de données mises en place par des associations anti-éolien.

Dans l'état actuel, un total de 48 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2014. A noter que la base de données établie apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000.



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

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 la tempête.

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

LES PRINCIPAUX EVENEMENTS REDOUTES

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

- effondrements ;
- ruptures de pales ;
- chutes de pales et d'éléments de l'éolienne ;
- incendie.

I.7. L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'objectif de cette partie a été d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets.

METHODOLOGIE

L'objectif *sus cité* a été atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accident potentiel pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible. Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. Cette hiérarchisation permet de « *filtrer* » les scénarios d'accident qui présentent des conséquences limitées et les scénarios d'accidents majeurs (ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les personnes tierces).

LES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

Deux types d'agressions externes sont recensés :

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

Dans la mesure où aucune voie de communication structurante, aucun aérodrome et aucun autre aérogénérateur que ceux du présent projet ne sont recensés à proximité immédiate des aérogénérateurs, les agressions externes potentielles liées aux activités humaines sont considérées comme négligeables dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux.

A noter que les éoliennes E1 et E6 sont localisées à environ 150 m d'une ligne électrique aérienne THT. Lors de la phase conception du projet, le maître d'ouvrage a intégré un recul de minimum 150 m vis-à-vis de ce type d'infrastructure, correspondant à une hauteur totale en bout de pale d'une éolienne projetée. Par ailleurs, les éoliennes concernées sont localisées à plus de 250 m des pylônes électriques cette ligne THT. Ces distances d'éloignement permettent de limiter le risque d'arc électrique, surtension.

Concernant les agresseurs externes liés à des phénomènes naturels, seul le risque de séisme et de foudre ont été identifiés sur la zone d'étude. Néanmoins, ils n'ont pas été retenus pour la suite de l'analyse car les éoliennes projetées sont conformes à la Norme IEC 61-400.

LES SCENARIOS D'ACCIDENT POTENTIELS

Pas moins de 27 scénarios regroupés en 6 thématiques ont été analysés dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques. Il s'agit de :

- 2 scénarios relatifs aux risques liés à la glace (dépôt de glace sur les pâles, le mât et la nacelle lorsque l'éolienne est arrêtée ; dépôt de glace sur les pales lorsque l'éolienne est en mouvement) ;
- 7 scénarios relatifs aux risques d'incendie (court-circuit ; échauffement des parties mécaniques et inflammation ; surtension ;...);
- 2 scénarios relatifs aux risques de fuites (fuite du système de lubrification, convertisseur, transformateur ; renversement de fluides lors des opérations de maintenance) ;
- 3 scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments de l'éolienne (défaut de fixation de la trappe ; défaillance fixation de l'anémomètre ; défaut fixation de la nacelle) ;
- 3 scénarios concernant les risques de projection (survitesse ; fatigue et corrosion, erreur de maintenance) ;
- 10 scénarios concernant les risques d'effondrement (vents forts ; fatigue ; crash d'aéronef ;...).

LES MESURES DE SECURITE MISES EN PLACE

Dans le cadre du présent projet éolien, et de manière générale, tous les parcs éoliens sont équipés de mesures de sécurité. Une liste reprenant uniquement les fonctions de sécurité est reprise ci-dessous :

- prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace ;
- prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace ;
- prévenir l'échauffement significatif de pièces mécaniques ;
- prévenir la survitesse ;
- prévenir les courts-circuits ;
- prévenir les effets de la foudre ;
- protection et intervention incendie ;
- prévention et rétention des fuites ;
- prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction-exploitation) ;
- prévenir les erreurs de maintenance ;
- prévenir la dégradation de l'état des équipements ;
- prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort ;
- prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques.

Les mesures pour chacune des fonctions de sécurité, concernent aussi bien les risques de glace (panneautage, éloignement des habitations,...), d'incendie (capteurs de températures, système de détection incendie,...), de fuites (détecteurs de niveau d'huiles, kit antipollution,...), de chute d'éléments et de projection ainsi que d'effondrement (contrôles réguliers, certification,...).

RESULTATS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Après avoir analysé les scénarios d'accidents potentiels en fonction des agressions externes potentielles et des mesures de sécurité mises en place, plusieurs scénarios ont été exclus pour la suite.

Au final, les 5 catégories de scénarios ont été conservées pour l'étude détaillée des risques, il s'agit donc :

- projection de tout ou une partie de pale ;
- effondrement de l'éolienne ;
- chute d'éléments de l'éolienne ;
- chute de glace ;
- projection de glace.

I.8. L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

L'étude détaillée des risques a visé à caractériser les scénarios sélectionnés à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Son objectif a donc été de préciser le risque généré par l'installation projetée et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre. Enfin, l'étude détaillée a permis de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

METHODOLOGIE

Dans le cadre de la présente étude de dangers, il a été utilisé la méthode *ad hoc* préconisée par le guide technique national relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

RESULTATS DE L'ETUDE DES RISQUES

Le tableau page suivante récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité.

Les paramètres présentés dans le tableau (cinétique, intensité, probabilité et gravité) ont été déterminés à partir du guide technique de l'étude de dangers cité précédemment.

Les éoliennes ayant le même profil de risque sont regroupées.

| SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|--------------|-----------|-----------|-------------------|----------|------------|
| Scénario | Eolienne | Zone d'effet | Cinétique | Intensité | Probabilité | Gravité | Référence |
| Effondrement de l'éolienne | E1 à E6 | 149,4 m | Rapide | Forte | D (Rare) | Sérieuse | 01 |
| Chute d'éléments de l'éolienne | E1 à E6 | 58,4 m | Rapide | Forte | C (Improbable) | Sérieuse | 02 |
| Chute de glace | E1 à E6 | 58,4 m | Rapide | Modérée | A (Courant) | Modérée | 03 |
| Projection de pale | E1 | 500 m | Rapide | Modérée | D (Rare) | Modérée | 04a |
| | E2 à E6 | 500 m | Rapide | Modérée | D (Rare) | Sérieuse | 04b |
| Projection de glace | E1 à E6 | 311,7 m | Rapide | Modérée | B (Probable) | Modérée | 05 |

L'ACCEPTABILITE DES RISQUES

En croisant la probabilité et la gravité des scénarios retenus dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques, pour chacun des scénarios identifiés précédemment, il est possible de déterminer l'acceptabilité des risques potentiels générés par chacune des 6 éoliennes projetées grâce à la matrice de détermination présentée ci-après.

| GRAVITE DES CONSEQUENCES | CLASSE DE PROBABILITE | | | | |
|--------------------------|-----------------------|----------|----|----|----|
| | E | D | C | B | A |
| DESASTREUSE | | | | | |
| CATASTROPHIQUE | | | | | |
| IMPORTANTE | | | | | |
| SERIEUSE | | 01 ; 04a | 02 | | |
| MODEREE | | 04b | | 05 | 03 |

Légende de la matrice :

| NIVEAU DE RISQUE | COULEUR/ ACCEPTABILITE |
|--------------------|------------------------|
| RISQUE TRES FAIBLE | Acceptable |
| RISQUE FAIBLE | Acceptable |
| RISQUE IMPORTANT | Non acceptable |

Dans un premier temps, il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée qu'aucun accident ne présente un risque important.

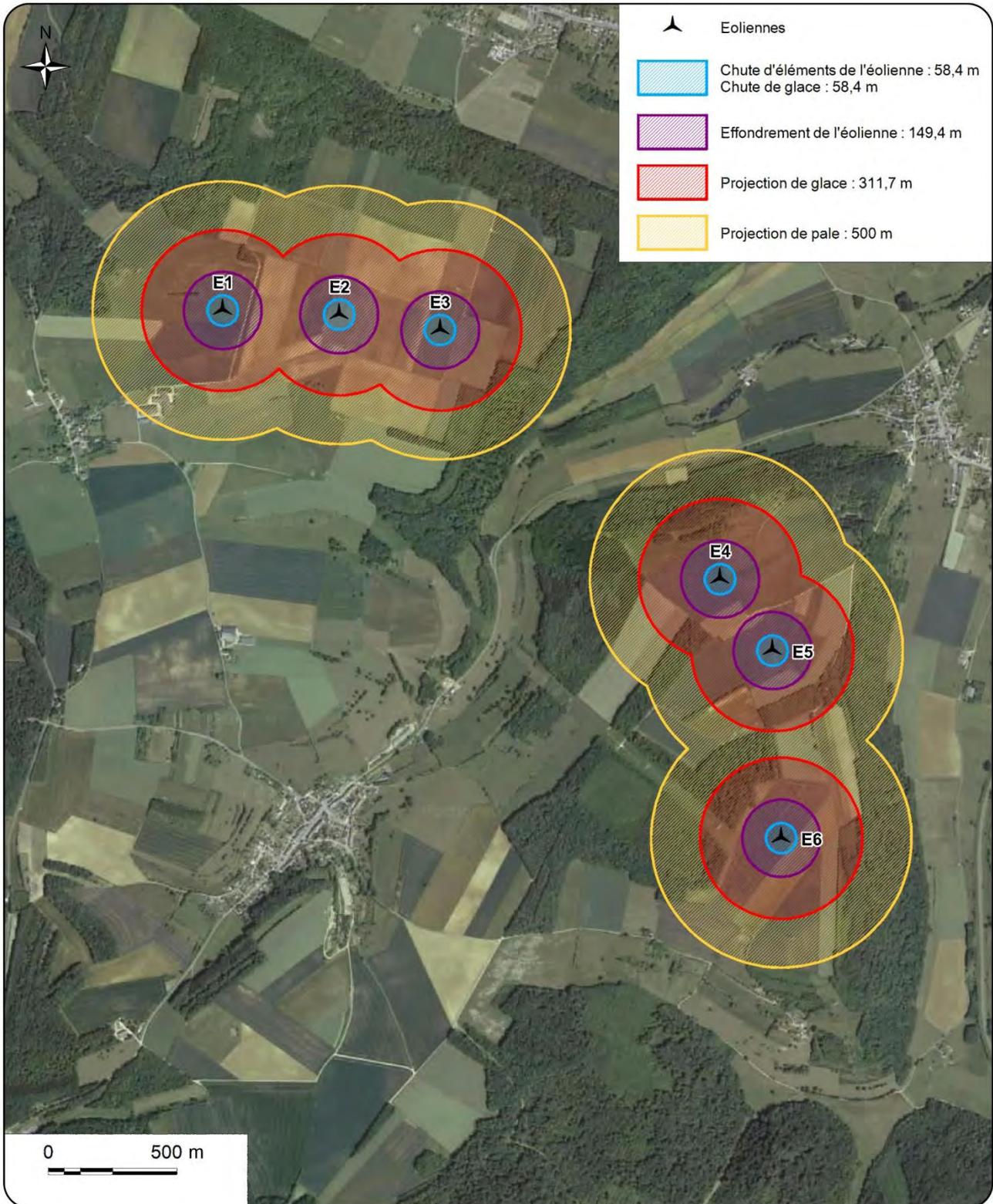
Dans un second temps, il apparaît que seuls les risques de chute d'éléments et de chute de glace de l'éolienne présentent un risque faible. Il convient de souligner, pour ces accidents, que les fonctions de sécurité listées précédemment sont mises en place.

Ainsi, les résultats de l'étude détaillée des risques ont permis de démontrer que tous les risques identifiés, et cela pour l'ensemble des aérogénérateurs du projet éolien des Monts Jumeaux, sont jugés « *acceptables* ».



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Synthèse des zones d'effet



I.9. CONCLUSION

Conçue dans le respect de l'environnement et de la réglementation en vigueur, l'étude de dangers du projet éolien des Monts Jumeaux s'est attachée à recenser les diverses infrastructures et activités présentes dans l'environnement des éoliennes sur le site, et à rendre compte de l'ensemble des démarches réalisées pour concevoir le projet, analyser les dangers inhérents et présenter les mesures de sécurité prises.

Les différentes activités et infrastructures, présentes dans la zone d'étude des 500 m autour des installations éoliennes, ont fait l'objet d'une attention particulière afin de déterminer le niveau de risque pour chaque installation. Ainsi, la surface agricole, les fréquentations des routes et chemins, ont été répertoriées et comptabilisées pour permettre d'affiner l'intensité et la gravité par type d'accident, développées dans l'analyse des risques.

Le recensement des potentiels de dangers et cette analyse de l'accidentologie ont permis de répertorier et classer les différents types et occurrences de phénomènes, afin de retenir 5 scénarios majeurs redoutés dans la suite de l'étude de dangers (effondrement de l'éolienne, chute d'éléments ou de glace, projection d'éléments ou de glace). L'analyse des risques a ainsi pu rendre compte pour chaque phénomène étudié le niveau de risque associé à chaque éolienne dans son environnement.

Les calculs précis effectués pour chaque aérogénérateur, dans les périmètres définis pour chaque scénario retenu dans l'analyse des risques, ont permis de définir comme acceptables les risques d'accidents. Il est important de noter que la plupart des éléments nécessaires aux calculs des zones d'impacts ont été majorés afin de ne pas sous-estimer l'intensité et la gravité des phénomènes retenus dans l'analyse des risques.

II. INTRODUCTION

II.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société Quadran pour le compte de la SAS PARC EOLIEN NORDEX XXIX pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet éolien des Monts Jumeaux, 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 des Monts Jumeaux. 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 dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, 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 exploitante 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.

II.2. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'Environnement relative aux installations classées. Selon l'article L.512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L.511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

L'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 [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.

II.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

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.

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

Le projet éolien des Monts Jumeaux 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.

III. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

III.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Une présentation détaillée de l'exploitant est consultable dans le dossier administratif de la demande d'autorisation d'exploiter. Seuls les principaux renseignements sont repris ci-après.

La société PARC EOLIEN NORDEX XXIX est le futur exploitant du parc éolien des Monts Jumeaux. Les principaux renseignements administratifs la concernant sont résumés ci-dessous.

| SOCIETE | |
|----------------------|---|
| DENOMINATION | Parc éolien Nordex XXIX SAS |
| N° SIRET | 501 739 031 00018 |
| CODE APE | 3511Z |
| REGISTRE DE COMMERCE | RCS PARIS |
| FORME JURIDIQUE | Société par actions simplifiée à associé unique |
| PRESIDENT | Anna-Katharina De TOURTIER |
| DIRECTEUR GENERAL | Gerd Georg-Werner VON BASSEWITZ |
| ADRESSE DU SIEGE | 23 rue d'Anjou 75008 Paris |

III.2. LOCALISATION DU SITE

Le présent projet éolien est localisé sur les communes de Dom-le-Mesnil, Hannogne-Saint-Martin et Sapogne-et-Feuchères dans le département des Ardennes (08), en région Champagne-Ardenne (cf. carte page suivante).

Plus précisément, le projet est implanté en milieu rural, encadré par deux grandes agglomérations : Sedan à environ 10 km au nord-est, Charleville-Mézières à environ 11 km au nord-ouest.

Les communes de Dom-le-Mesnil, Hannogne-Saint-Martin et Sapogne-et-Feuchères font parties de la Communauté d'Agglomération de Charleville-Mézières / Sedan.

III.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 IX.2.4.

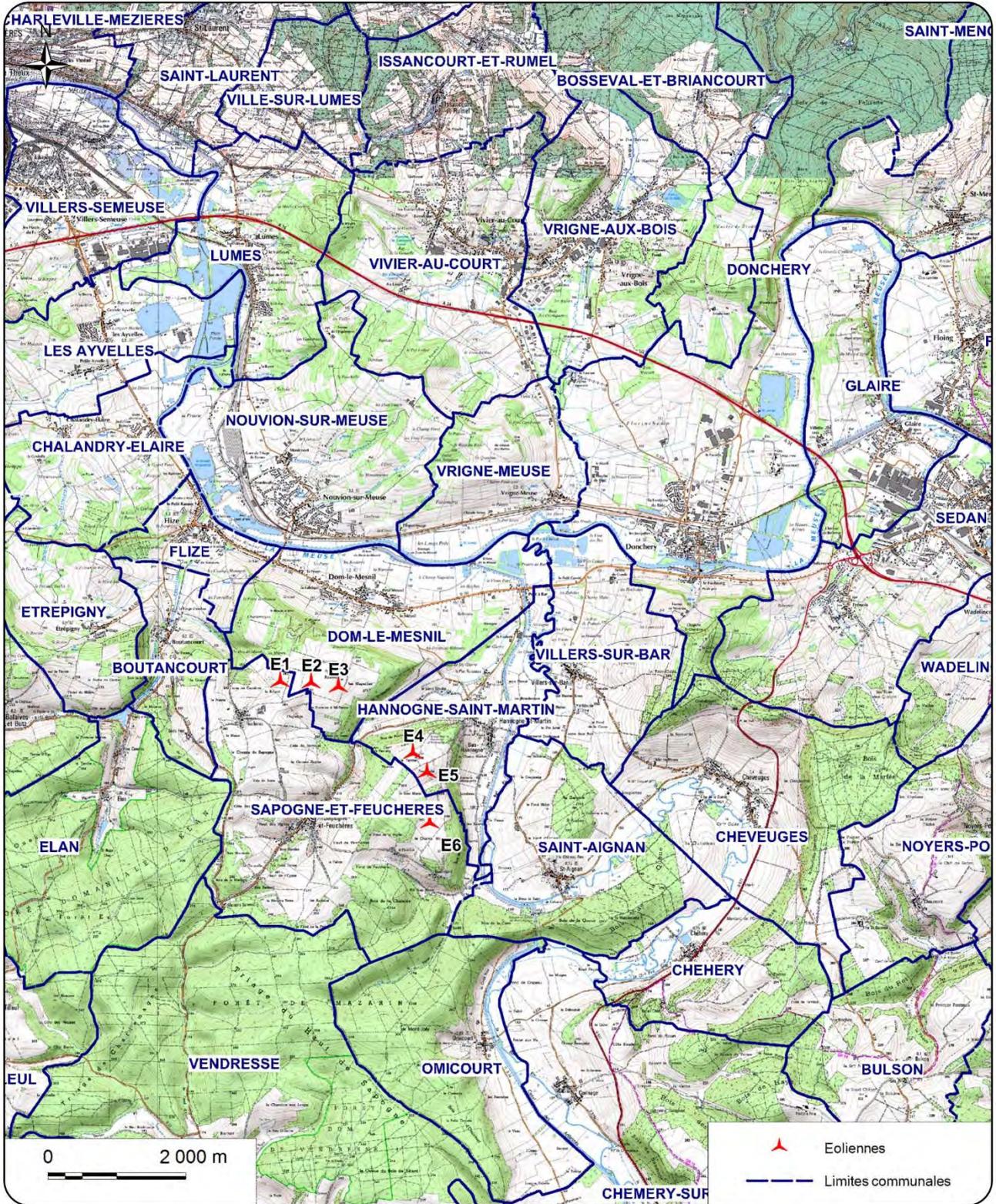
La présente étude n'intègre pas les environs des postes de livraison. En effet, les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont montré l'absence d'effet à l'extérieur d'un poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

Le projet de parc éolien des Monts Jumeaux étant composé de 6 aérogénérateurs, 6 aires d'étude ont été définies (cf. cartes pages suivantes). Ces 6 aires d'étude correspondent à la zone d'étude globale du projet.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

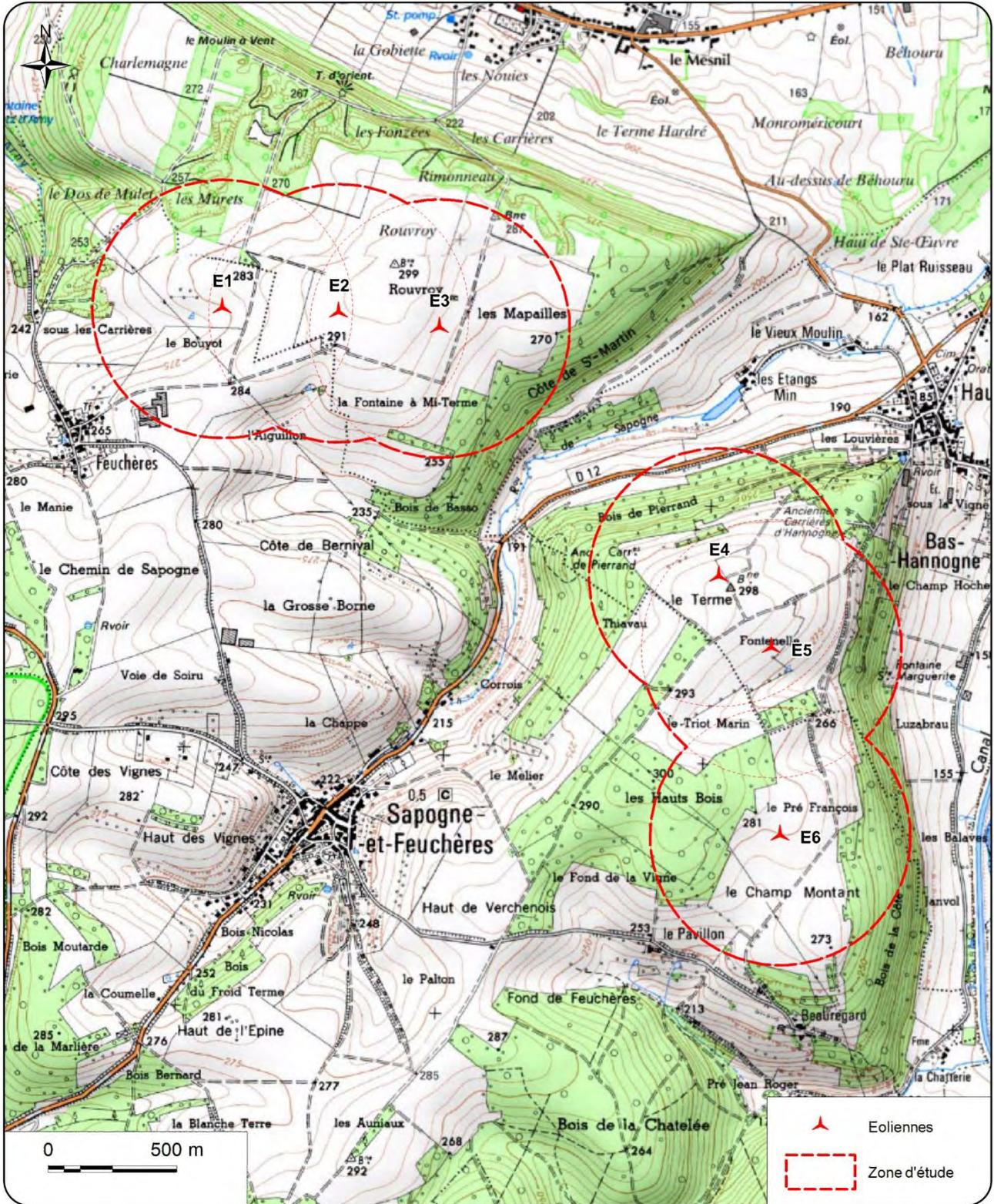
Localisation du projet





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Zone d'étude



IV. 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).

IV.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

IV.1.1. ZONES URBANISEES ET URBANISABLES

L'article 3 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 n°2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, prévoit que : « l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de [...] 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 ».

ZONES URBANISEES

Conformément à l'article cité précédemment, le présent projet éolien est implanté de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de 500 m de toute construction à usage d'habitation et de tout immeuble habité.

Le tableau ci-dessous renseigne sur les distances entre les aérogénérateurs et les habitations les plus proches.

| LIEUDIT | COMMUNE CONCERNEE PAR LES HABITATIONS LES PLUS PROCHES | EOLIENNE LA PLUS PROCHE | DISTANCE |
|--------------------|--|-------------------------|----------|
| Feuchères | Sapogne-et-Feuchères | E1 | 530 m |
| Sous les Carrières | Sapogne-et-Feuchères | E1 | 710 m |
| Le Terme | Boutancourt | E1 | 1 500 m |
| Les Nouies | Dom-le-Mesnil | E3 | 1 050 m |
| Les Etangs Min | Hannogne-St-Martin | E4 | 735 m |
| Les Louvières | Hannogne-St-Martin | E4 | 840 m |
| Le Champ Hochet | Hannogne-St-Martin | E5 | 910 m |
| Le Haut d'Orcival | St-Aignan | E6 | 1 265 m |
| La Chatterie | Sapogne-et-Feuchères | E6 | 1 040 m |
| Beauregard | Sapogne-et-Feuchères | E6 | 580 m |
| Le Pavillon | Sapogne-et-Feuchères | E6 | 630 m |
| Corrois | Sapogne-et-Feuchères | E4 | 1 125 m |
| Voie de Soiru | Sapogne-et-Feuchères | E1 | 1 350 m |

Ces distances sont toutes supérieures aux 500 m réglementaires, et ce quelle que soit l'éolienne considérée.

La zone bordant le site est proprement rurale et les communes concernées par la zone d'étude sont de taille modeste (moins de 1 100 habitants).

| | DOM-LE-MESNIL | HANNOGNE-SAINT-MARTIN | SAPOGNE-ET-FEUCHERES |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| NOMBRE D'HABITANTS | 1 066 habitants | 462 habitants | 523 habitants |
| DENSITE DE POPULATION | 133 hab./Km ² | 98 hab./Km ² | 49 hab./Km ² |

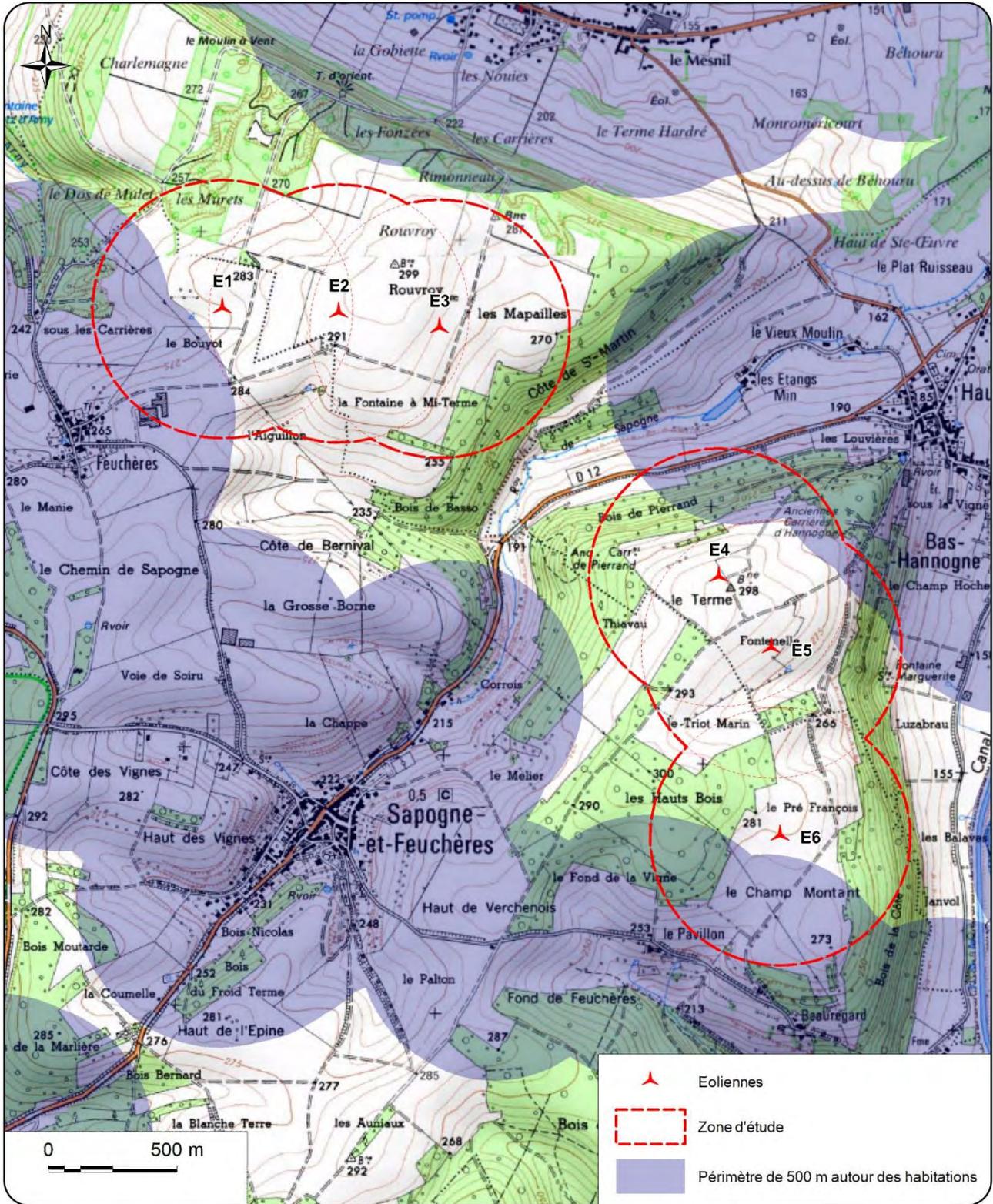
Recensement de la population 2011 – Source : INSEE

A titre de comparaison, la densité de population moyenne en France est de 108 hab./Km².



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Zones urbanisées



ZONES URBANISABLES

La commune de Dom-le-Mesnil dispose d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) qui a été révisé en février 2008. Le secteur d'étude est localisé en zone A (agricole) et N (naturelle et forestière dont Nb correspondant aux carrières d'extraction de la pierre de Dom). Les secteurs A et N autorisent les constructions à usage d'équipements publics tout en interdisant les ICPE autres qu'agricoles. L'article 90-IX (loi du 12 juillet 2010) précise que « *les dispositions d'un PLU relatives aux installations classées approuvées avant la date d'entrée en vigueur de la présente loi ne sont pas applicables aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent.* ». Ainsi l'interdiction des ICPE autres qu'agricoles ne s'applique pas et le caractère « *à usage d'équipements publics* » est retenu.

La commune de Hannogne-Saint-Martin dispose d'une carte communale, approuvée en février 2012. Le secteur d'étude est classé en zone N (naturelle) non constructible à l'exception des constructions et installations nécessaires à des équipements collectifs à condition qu'elles ne soient pas incompatibles avec une activité agricole et qu'elles ne portent pas atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages.

La commune de Sapogne-et-Feuchères ne dispose d'aucun document d'urbanisme. Elle est ainsi soumise au Règlement National d'Urbanisme (RNU). Le RNU, prévoit à travers l'article L.111-1 du Code de l'Urbanisme que « *Les règles générales applicables, en dehors de la production agricole, en matière d'utilisation du sol, notamment en ce qui concerne la localisation, la desserte, l'implantation et l'architecture des constructions, le mode de clôture et la tenue décente des propriétés foncières et des constructions, sont déterminées par des décrets en Conseil d'État.* ».

Par ailleurs, l'article L.111-1 du Code de l'Urbanisme prévoit qu' « *En l'absence de plan local d'urbanisme ou de carte communale opposable aux tiers, ou de tout document d'urbanisme en tenant lieu, seules sont autorisées, en dehors des parties actuellement urbanisées de la commune :*

1° L'adaptation, le changement de destination, la réfection ou l'extension des constructions existantes ;

2° Les constructions et installations nécessaires à des équipements collectifs, à la réalisation d'aires d'accueil ou de terrains de passage des gens du voyage, à l'exploitation agricole, à la mise en valeur des ressources naturelles et à la réalisation d'opérations d'intérêt national ;

3° Les constructions et installations incompatibles avec le voisinage des zones habitées et l'extension mesurée des constructions et installations existantes.

4° Les constructions ou installations, sur délibération motivée du conseil municipal, si celui-ci considère que l'intérêt de la commune, en particulier pour éviter une diminution de la population communale, le justifie, dès lors qu'elles ne portent pas atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages, à la salubrité et à la sécurité publique, qu'elles n'entraînent pas un surcroît important de dépenses publiques et que le projet n'est pas contraire aux objectifs visés à l'article L.110 et aux dispositions des chapitres V et VI du titre IV du livre 1er ou aux directives territoriales d'aménagement précisant leurs modalités d'application ».

Au droit du site d'implantation, les zones constructibles sont recensées en continuité des constructions existantes et donc à l'extérieur des aires d'étude (environ 510 m).

Compte tenu des éléments *sus cités*, la zone d'implantation du présent projet éolien est compatible avec l'implantation d'aérogénérateurs conformément à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011.

IV.1.2. ETABLISSEMENT RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Le terme Etablissement Recevant du Public (ERP), défini à l'article R.123-2 du Code de la Construction et de l'Habitation, désigne en droit français les lieux publics ou privés accueillant des clients ou des utilisateurs autres que les employés (salariés ou fonctionnaires) qui sont, eux, protégés par les règles relatives à la santé et sécurité au travail.

Aucun ERP n'est recensé dans la zone d'étude.

IV.1.3. INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET INSTALLATIONS NUCLEAIRES DE BASE

L'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011 prévoit que : « l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de [...] 300 mètres d'une installation nucléaire de base visée par l'article 28 de la loi n°2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire ou d'une installation classée pour l'environnement soumise à l'arrêté du 10 mai 2000 susvisé en raison de la présence de produits toxiques, explosifs, comburants et inflammables ».

Aucune Installation Nucléaire de Base (INB) n'est recensée dans la zone d'étude. De même, aucune Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumise à autorisation (SEVESO et non SEVESO) n'est recensée dans la zone d'étude.

Ainsi, compte tenu des informations sus citées, le présent projet éolien est conforme à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011.

IV.1.4. AUTRES ACTIVITES

Il n'existe aucune activité industrielle dans les différentes aires d'études. De même, aucune activité de tourisme n'est recensée. L'activité économique locale repose essentiellement sur l'agriculture. Il s'agit principalement d'une agriculture intensive et mécanisée, caractérisée par un système de grande culture à dominante céréalière.

A noter la présence d'une exploitation agricole au droit de l'aire d'étude de l'éolien E1. Plus précisément, cette exploitation est localisée à environ 380 m de l'éolienne E1 et se compose de plusieurs bâtiments de stockage. L'exploitation compte 3 à 4 salariés selon les saisons. Toutefois, l'exploitation ne compte au maximum que 2 salariés présent simultanément sur le site.



Exploitation agricole au lieudit de Feuchères

Enfin, plusieurs boisements sont recensés dans la zone d'étude (Bois de Pierrand, Bois de la Côte, les Hauts Bois, Bois de Basso).

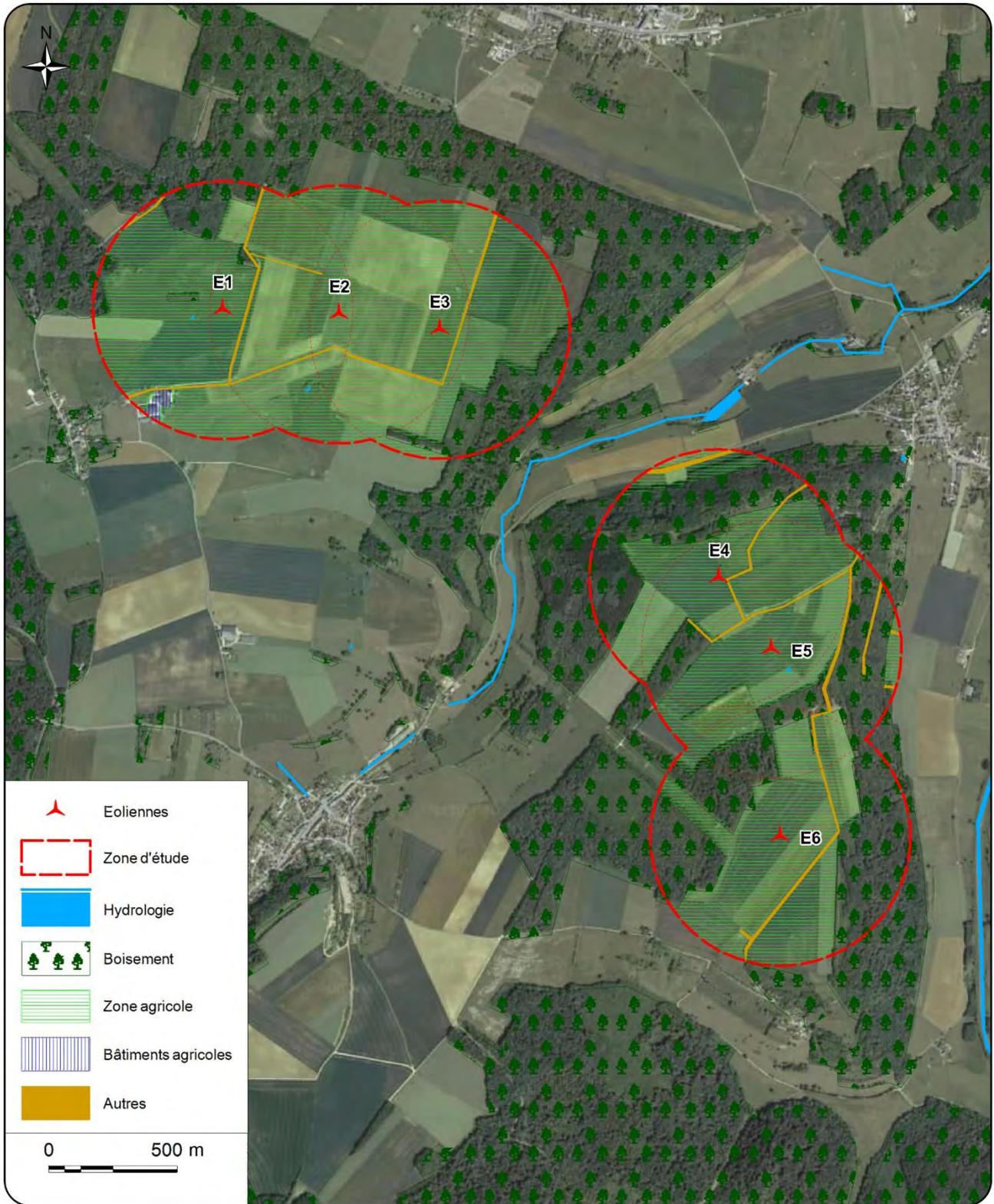
Le tableau suivant présente l'occupation du sol des différentes aires d'étude.

| EOLIENNE | CHAMPS CULTIVES | BOISEMENTS | COURS D'EAU | BATIMENTS AGRICOLES | AUTRES |
|-----------|-----------------|------------|-------------|---------------------|--------|
| E1 | 88,2% | 8,8% | 0,04% | 1,1% | 1,9% |
| E2 | 97,6% | 0,4% | 0,02% | 0,0% | 1,9% |
| E3 | 84,5% | 14,2% | 0,00% | 0,0% | 1,3% |
| E4 | 67,3% | 30,6% | 0,02% | 0,0% | 2,0% |
| E5 | 70,5% | 26,6% | 0,02% | 0,0% | 2,8% |
| E6 | 56,5% | 42,1% | 0,00% | 0,0% | 1,4% |



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Occupation du sol



IV.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

IV.2.1. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département des Ardennes fait la transition entre le climat océanique et le climat continental. Ainsi, le département des Ardennes ne bénéficie pas d'un climat uniforme sur tout son territoire, notamment pendant la période hivernale.

Dans la région située au nord du département qui va de la limite du département de l'Aisne et la frontière avec la Belgique jusqu'au centre du département aux environs du canton d'Omont et le sud de la vallée de la Meuse, le climat est considéré comme « *continental dégradé* » (fortes précipitations en automne et fréquentes gelées en hiver), alors que le reste du département subit un climat « *océanique dégradé* » ou « *tempéré continental* » (par rapport au climat océanique, les hivers sont plus froids et les étés plus chauds, les précipitations en plaine sont moins importantes et les vents perdent de leur force). Tout ceci découle de la situation géographique du département qui se trouve à mi-chemin entre la Manche, la Mer du Nord et l'intérieur de l'Europe.

La station d'étude climatologique de référence pour la zone d'étude est la station Météo France de Charleville-Mézières, localisée à environ 10 km au nord-ouest de la zone d'implantation.

LES TEMPERATURES

Dans le département des Ardennes, la température annuelle moyenne est de 9,4°C avec un minimum en janvier (2,2°C) et un maximum en juillet (17,2°C).

Les températures moyennes mensuelles sont toujours supérieures à 0°C. Toutefois, on dénombre en moyenne 68 jours par an où les températures ont été inférieures à 0°C.

| | JANV. | FEV. | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL. | AOUT | SEPT. | OCT. | NOV. | DEC. | AN. |
|---------------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| TEMPERATURE MAXIMALE (°C) | 5,2 | 6,9 | 11,0 | 14,5 | 18,7 | 21,5 | 23,5 | 23,5 | 19,3 | 14,7 | 8,8 | 5,4 | 14,4 |
| TEMPERATURES MOYENNE (°C) | 2,2 | 3,0 | 5,9 | 8,5 | 12,5 | 15,1 | 17,2 | 17,0 | 13,3 | 9,9 | 5,6 | 2,6 | 9,4 |
| TEMPERATURE MINIMALE (°C) | -0,6 | -0,6 | 1,2 | 2,7 | 6,7 | 9,8 | 11,7 | 11,1 | 8,1 | 5,6 | 2,6 | 0,0 | 4,9 |

Températures moyennes relevées entre 1981 et 2010 à la station de Charleville-Mézières – Météo France

ENSOLEILLEMENT

La durée d'insolation est d'environ 1511,7 heures/an, valeur très faible.

| | JANV. | FEV. | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL. | AOUT | SEPT. | OCT. | NOV. | DEC. | AN. |
|----------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| INSOLATION (H) | 54,6 | 70,1 | 121,3 | 162,1 | 180,1 | 215,2 | 198,4 | 182,7 | 139,4 | 100,4 | 40,6 | 46,8 | 1511,7 |

Insolations moyennes relevées entre 1981 et 2010 à la station de Charleville-Mézières – Météo France

LES PRECIPITATIONS

Sur une année, les précipitations dans le département des Ardennes sont fréquentes avec un nombre moyen de jours avec précipitations d'environ 135 jours, soit plus d'un jour sur trois. Elles sont réparties sur toute l'année (667,3 mm) avec un maximum au mois de décembre (78,9 mm) et un minimum au mois de juin (38,9 mm).

Les épisodes pluvieux intenses (> 10 mm) sont importants (environ 30 jours par an environ).

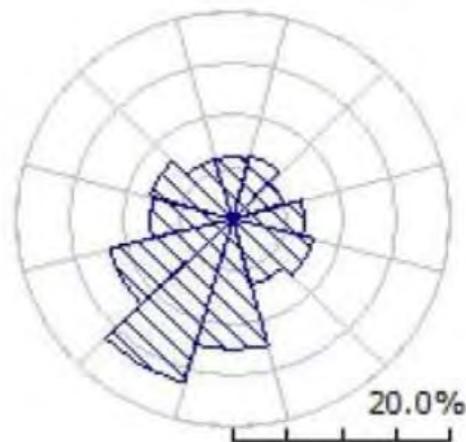
| | JANV. | FEV. | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL. | AOUT | SEPT. | OCT. | NOV. | DEC. | AN. |
|----------------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-----|
| PRECIPITATIONS (MM) | 69,9 | 61,8 | 54,7 | 41,3 | 46,1 | 38,9 | 58,7 | 56,6 | 41,1 | 53,5 | 65,8 | 78,9 | 667 |

Précipitations moyennes relevées entre 1981 et 2010 à la station de Charleville-Mézières – Météo France

LES VENTS

Les données de vents sont issues du mât de mesure qui est installé sur la zone d'étude par Nordex France SAS.

La rose des vents ci-dessous présente la répartition fréquentielle des vents à une hauteur de 80 m sur une période d'environ 10 mois.



Rose des vents issue du mât de mesure installé sur le site – Source : Quadran

Les vents dominants en énergie (plus forts) sont de secteur sud-ouest. Par ailleurs, l'analyse des mesures montre que la vitesse de vent moyenne est de 5,7 m/s à 80 m.

PHENOMENES METEOROLOGIQUES

Le tableau ci-dessous renseigne sur les différents phénomènes météorologiques recensés sur le département des Ardennes.

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | MOYENNE |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| BROUILLARD | 178 | 171 | 160 | 157 | 132 | 131 | 192 | 248 | 249 | 222 | 184 |
| ORAGE | 14 | 9 | 16 | 11 | 4 | 5 | 6 | 10 | 12 | 2 | 8,9 |
| NEIGE | 19 | 30 | 17 | 6 | 19 | 16 | 38 | 15 | 19 | 35 | 21,4 |

Répartition annuelle des jours de neige, d'orages et de brouillards entre 2004 et 2013 à la station de Charleville-Mézières – Météo France

A titre de comparaison, la moyenne nationale pour le nombre de jours avec du brouillard (visibilité < 1 km) est d'environ 40 jours. Concernant la neige, la moyenne nationale pour le nombre de jours avec de la neige est d'environ 14 jours. Le brouillard et la neige sont donc des phénomènes météorologiques très présents dans le secteur d'étude.

Pour ce qui est du nombre de jour avec de l'orage, on dénombre en moyenne à l'échelle nationale environ 25 jours orageux par an. Le secteur d'étude est donc en dessous de la moyenne nationale avec en moyenne 8,9 jours sur les 10 dernières années.

IV.2.2. RISQUES NATURELS

Les informations ci-après sont extraites de la base de données *prim.net* qui renseigne sur les risques naturels et technologiques des communes françaises.

ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES

Les arrêtés relatifs à la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle enregistrés sur les communes concernées par les aires d'étude du présent projet éolien sont les suivants :

| COMMUNE | ÉVÈNEMENT RECENSE | DEBUT DE L'ÉVÈNEMENT | FIN DE L'ÉVÈNEMENT | DATE D'ARRETE | DATE DE PUBLICATION |
|--|---|----------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| Dom-le-Mesnil | Inondations et coulées de boue | 14/04/1983 | 15/04/1983 | 16/05/1983 | 18/05/1983 |
| | Inondations et coulées de boue | 07/02/1984 | 12/02/1984 | 11/05/1984 | 24/05/1984 |
| | Inondations et coulées de boue | 26/07/1985 | 26/07/1985 | 02/10/1985 | 18/10/1985 |
| | Inondations et coulées de boue | 31/12/1990 | 15/01/1991 | 28/03/1991 | 17/04/1991 |
| Sapogne-et-Feuchères | Inondations et coulées de boue | 11/01/1993 | 22/01/1993 | 18/05/1993 | 12/06/1993 |
| Dom-le-Mesnil | Inondations et coulées de boue | 05/07/1993 | 05/07/1993 | 26/10/1993 | 03/12/1993 |
| Dom-le-Mesnil ; Sapogne-et-Feuchères | Inondations et coulées de boue | 19/12/1993 | 02/01/1994 | 27/05/1994 | 10/06/1994 |
| | Inondations et coulées de boue | 20/12/1993 | 02/01/1994 | 11/01/1994 | 15/01/1994 |
| | Inondations et coulées de boue | 17/01/1995 | 31/01/1995 | 06/02/1995 | 08/02/1995 |
| Dom-le-Mesnil ; Hannogne-Saint-Martin ; Sapogne-et-Feuchères | Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain | 25/12/1999 | 29/12/1999 | 29/12/1999 | 30/12/1999 |
| Sapogne-et-Feuchères | Inondations et coulées de boue | 09/05/2002 | 09/05/2002 | 29/10/2002 | 09/11/2002 |
| Dom-le-Mesnil | Inondations et coulées de boue | 23/05/2012 | 23/05/2012 | 08/06/2012 | 14/06/2012 |

RISQUE D'INONDATIONS ET REMONTEES DE NAPPES

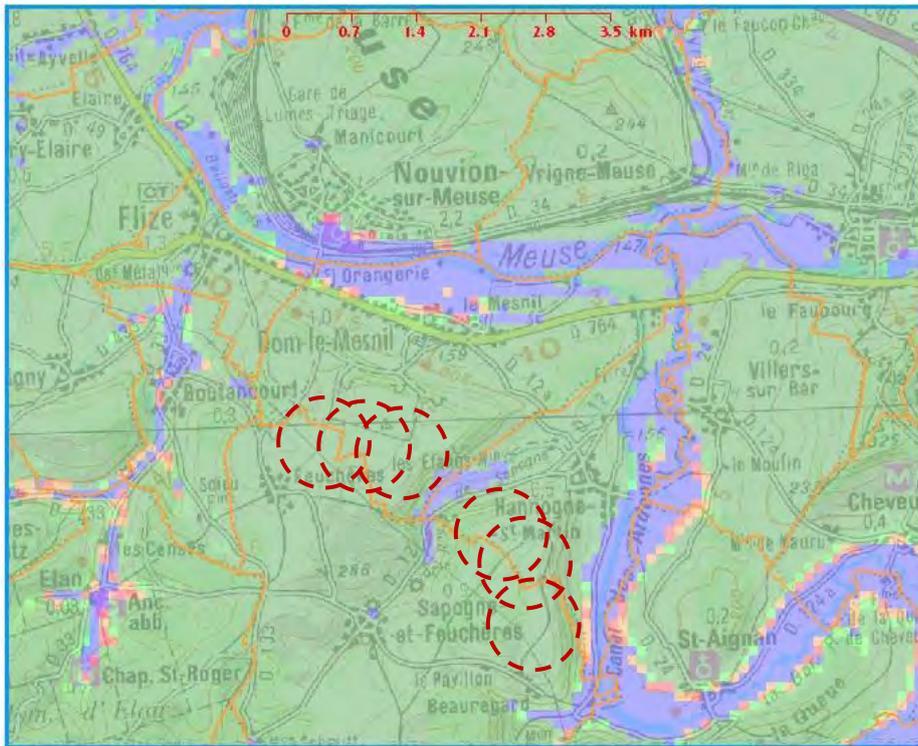
De manière générale, les inondations sont liées à des remontées de nappe ou au ruissellement des eaux pluviales sur des terres agricoles et/ou des surfaces bâties, provoquant le débordement des cours d'eau du bassin versant concerné.

Les communes de Dom-le-Mesnil et Hannogne-Saint-Martin sont recensées comme étant soumises au risque « *Inondation* » et sont concernées par le Plan de Prévention des Risques naturel d'inondation de la Meuse (approuvé en 2003). Par ailleurs, la commune de Dom-le-Mesnil est également intégrée dans l'Atlas des Zones Inondables de la « *Meuse et la Chiers* ».

Au droit de la zone d'étude, le risque d'inondation est faible dans la mesure où le projet est localisé sur les points haut et à une distance suffisante des cours d'eau dont la Meuse.

Concernant le risque de remontées de nappe, la zone d'étude est localisée dans un secteur dont la sensibilité est très faible à ponctuellement très élevée. Au droit des éoliennes projetées, la sensibilité est très faible.

Les appareillages électriques d'un parc éolien sont confinés dans des locaux parfaitement hermétiques (mât de l'éolienne, poste de livraison). Les câbles électriques enterrés sont entourés de protections résistantes à l'eau. Les fondations prendront en compte les sous pressions hydrauliques existantes si l'étude géotechnique révèle un niveau d'eau subaffleurant. Par conséquent, on retiendra qu'il existe un risque de remontées de nappe qui devra être pris en compte lors de l'étude géotechnique qui sera réalisée préalablement à la phase travaux de construction du parc.



 Zone d'étude

Légende sédiment

-  Sensibilité très faible à inexistant
-  Sensibilité très faible
-  Sensibilité faible
-  Sensibilité moyenne
-  Sensibilité forte
-  Sensibilité très élevée, nappe affleurante
-  Non réalisé

Risque lié à la remonté de nappe – Source : BRGM

RISQUE SISMIQUE

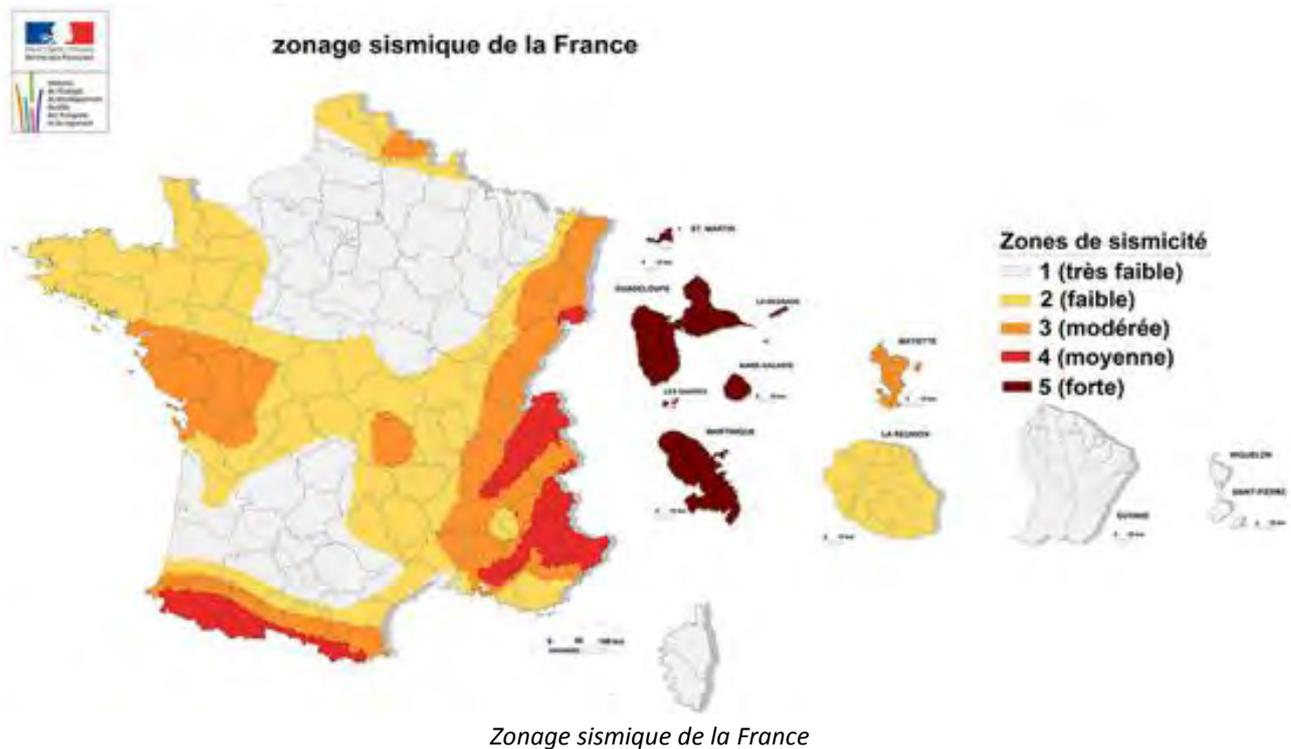
Le risque sismique est présent partout sur la surface du globe, son intensité variant d'une région à une autre. La France n'échappe pas à la règle, puisque l'aléa sismique peut être très faible à moyen en métropole, et fort dans les DOM-TOM.

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes :

- une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les bâtiments à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible) ;
- quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux bâtiments, et aux bâtiments anciens dans des conditions particulières.

Le risque sismique dans le département des Ardennes est très faible à faible (zone 1 à 2). Au droit de la zone d'étude, le risque sismique est très faible (zone 1).

Aucun séisme n'a été ressenti sur les communes de Dom-le-Mesnil, Hannogne-Saint-Martin et Sapogne-et-Feuchères.



RISQUE DE FOUOROIEMENT

La foudre est un risque naturel fréquent d'autant plus important que le climat est régulièrement orageux. Les types de risques liés à la foudre sont de deux ordres :

- les risques directement liés à la foudre = le foudroiement ;
- les conséquences induites liées à la chute de la foudre = les perturbations électromagnétiques venant de l'arc en retour de la décharge de foudre.

L'activité orageuse a souvent été définie par le niveau kéraunique (Nk), c'est-à-dire le nombre de jours où le grondement du tonnerre est entendu. Le nombre de jours d'orage est une valeur équivalente au niveau kéraunique. Néanmoins, le critère du nombre de jours d'orage ne caractérise pas l'importance des orages. En effet, un impact de foudre isolé ou un orage violent seront comptabilisés de la même façon.

La meilleure représentation de l'activité orageuse est la densité d'arcs (Da) qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km² et par an. La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,84 arcs/km²/an (=Ng).

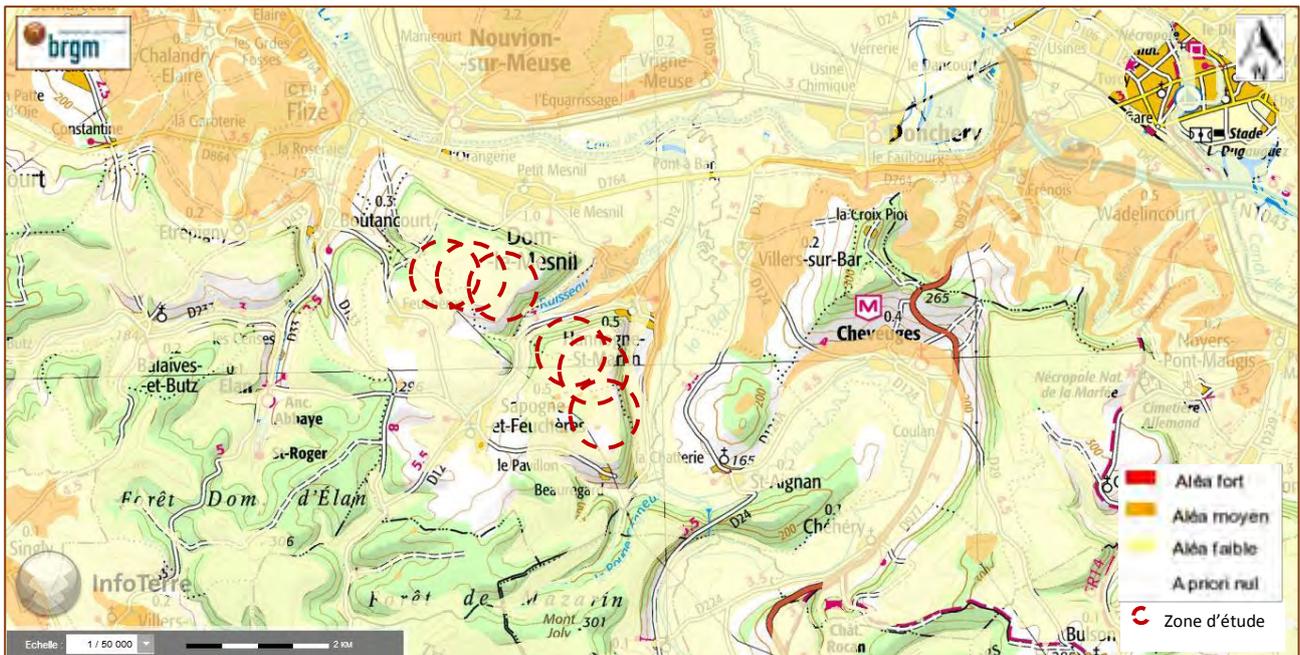
A l'échelle du département des Ardennes, la densité de foudroiement est d'environ 1,5 Ng.

Les départements dont la densité de foudroiement est supérieure à 2,5 Ng requièrent, selon les prescriptions de la norme NF C 15-100, l'installation obligatoire de parafoudres sur les constructions. On peut donc constater que le département des Ardennes, où se situe le projet, n'est pas concerné par ces risques de foudroiement élevés.

ALÉA RETRAIT – GONFLEMENT D'ARGILES

Le risque survient lorsque la teneur en eau des matériaux argileux est modifiée et se traduit par une variation significative du volume des sols. En période de sécheresse, les argiles se tassent verticalement et entraînent des mouvements différentiels qui peuvent affecter les constructions.

A l'échelle de la zone d'étude, l'aléa de retrait-gonflement des argiles varie de nul à moyen. Au droit de l'emplacement des éoliennes projetées, l'aléa est faible (Source : BRGM).



Zones de retrait et gonflement des argiles – *Source : BRGM*

On retiendra par conséquent l’existence de ce risque potentiel, qui devra être pris en compte, principalement au moment de l’élaboration des massifs de fondation, même si la présence de cet aléa ne présente pas de risque important ou de caractère d’incompatibilité avec le projet. Une étude géotechnique, comprenant des forages dans le sol et le sous-sol, sera réalisée préalablement à la phase de travaux de construction du parc afin de déterminer le dimensionnement des fondations.

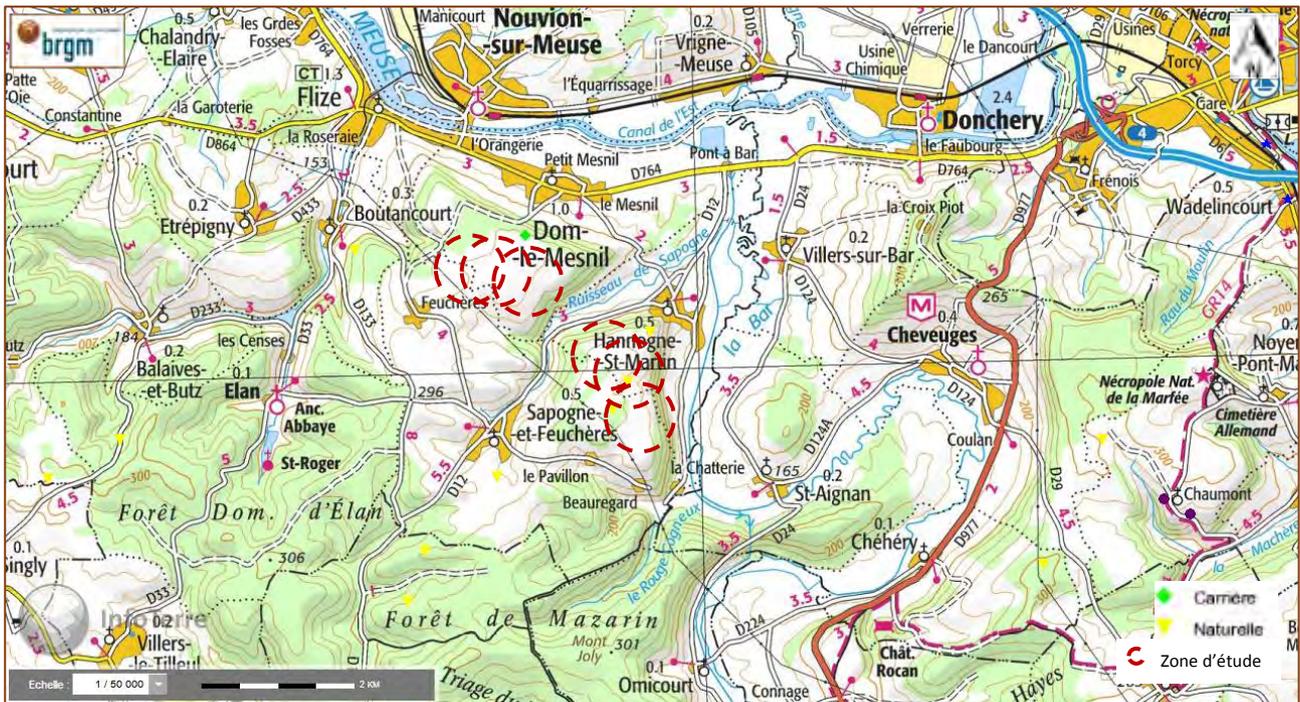
RISQUE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN ET CAVITES SOUTERRAINE

La commune de Sapogne-et-Feuchère est concernée par le risque de mouvement de terrain. Toutefois, aucun Plan de Prévention des Risques (PPR) lié à cette problématique n’est recensé sur cette commune ni sur les communes de Dom-le-Mesnil et Hannogne-Saint-Martin (*Source : BRGM*).

Au droit de la zone d’étude, aucun mouvement de terrain n’est recensé (*Source : BRGM*).

Concernant les carrières et les cavités souterraines, 2 cavités naturelles sont recensées dans les aires d’études des éoliennes E3 à E6. Ces dernières sont à plus de 400 m des éoliennes projetées.

On retiendra par conséquent l’existence de ce risque potentiel, qui devra être pris en compte, principalement au moment de l’élaboration des massifs de fondation, même si la présence de cet aléa ne présente pas de risque important ou de caractère d’incompatibilité avec le projet. Une étude géotechnique, comprenant des forages dans le sol et le sous-sol, sera réalisée préalablement à la phase de travaux de construction du parc afin de déterminer la présence éventuelle de cavités et le dimensionnement des fondations.



Cavité souterraines – Source : BRGM

RISQUE DE FEUX DE FORETS

Les communes de Dom-le-Mesnil, Hannogne-Saint-Martin et Sapogne-et-Feuchères ne sont pas concernées par le risque de feux de forêt (Source : MEEDDM, 2010).

RISQUE DE TEMPÊTES

Aucun arrêté relatif à la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle couvrant le risque de tempête n'est à déclarer sur les communes de Dom-le-Mesnil, Hannogne-Saint-Martin et Sapogne-et-Feuchères.

IV.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

IV.3.1. VOIES DE COMMUNICATION

TRANSPORT ROUTIER

Le réseau routier au droit de la zone d'étude est composé de routes secondaires :

- la RD 12 qui permet de rejoindre la RD 977 (Le Chesne) depuis la RD 764 (Dom-le-Mesnil). Elle traverse la zone d'étude selon un axe nord-est/sud-ouest à environ 450 m de l'éolienne E4. Elle supporte un trafic de 1 000 véhicules/jour (Source : CG08) ;
- des routes et chemins communaux qui desservent les parcelles agricoles et relient les hameaux et lieux dits entre eux.

Par un arrêté préfectoral en juillet 2005, une distance minimale de sécurité d'une fois la hauteur totale de l'éolienne à partir de la limite du domaine public routier est à respecter. Dans le cadre de la définition de l'implantation du projet éolien des Monts Jumeaux, un recul conservateur de minimum 150 m a ainsi été appliqué par le maître d'ouvrage.

Concernant les voies de communication autoroutière, l'infrastructure la plus proche est l'A34 localisée à plus de 5 km au nord de l'éolienne la plus proche (E3). Elle relie Reims à la frontière Belge en passant par Charleville-Mézières et Sedan.

Une infrastructure routière est considérée comme « structurante » si le trafic routier journalier est supérieur à 2 000 véhicules. Aussi, aucune route n'est considérée comme structurante au droit de la zone d'étude du présent projet éolien.

TRANSPORT FERROVIAIRE

Aucune voie ferroviaire n'est recensée dans la zone d'étude. L'infrastructure la plus proche est localisée à environ 2 km au nord de l'éolienne E1. Il s'agit de la ligne Stenay/Charleville-Mézières.

TRANSPORT FLUVIAL

Aucune voie fluviale n'est recensée dans la zone d'étude. Le cours d'eau navigable le plus le plus proche est la Meuse. Ce dernier est localisé à environ 2 km de l'éolienne la plus proche (E3). A noter la présence du Canal des Ardennes à environ 750 m de l'éolienne E6.

TRANSPORT AERIEN

Dans un rayon de 30 km autour de la zone d'étude, les aéroports faisant l'objet d'un usage civil sont :

- l'aérodrome de Sedan/Douzy à environ 15 km à l'est ;
- l'aérodrome des Ardennes, à environ 15 km au nord-ouest.

A noter également la présence d'une plateforme de parapente et delta-plane sur la commune de Stonne à environ 15 km au sud-est.

Associées à ces infrastructures, les servitudes aéronautiques sont destinées à assurer la protection d'un aérodrome contre les obstacles, de façon à ce que les avions puissent y atterrir et en décoller dans de bonnes conditions de sécurité et de régularité.

Au droit de la zone d'étude, aucune servitude aéronautique relevant de l'aviation civile n'est relevée. De même, aucune servitude aéronautique relevant du ministère de la Défense n'est relevée dans la zone d'étude.

AUTRES VOIES DE COMMUNICATION

Au droit de la zone d'étude, Plusieurs chemins inscrits au Plan Départemental des Itinéraires de Promenade et de Randonnées (PDIPR) et de découverte (Routes des Forêts, Lacs et Abbayes) sont recensés. Pour la plus part, ces sentiers correspondent à des chemins d'exploitation agricole voire à des routes départementales dont la RD12. Ces sentiers sont peu fréquentés.

IV.3.2. RESEAUX PUBLICS ET PRIVES

Au droit de la zone d'étude, aucune installation de type canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques) ou réseaux d'assainissement (stations d'épuration) n'est présente.

Une ligne électrique aérienne THT (400 kV) traverse les aires d'études des éolienne E1, E2 et E6 selon un axe nord-ouest/sud-est. Pour cette infrastructure, un recul conservateur de minimum 150 m a été appliqué par le maître d'ouvrage.

Des captages d'eau potable sont recensés en bordure de la zone d'étude. La zone d'étude est concernée par les périmètres de protection de ces captages :

- Hannogne Saint-Martin – Source de Bois Saint-Martin : localisé à plus de 550 m au sud-est de l'éolienne E3. Les aires d'études des éoliennes E1 à E3 sont concernées par le périmètre de protection éloigné de ce captage. En outre, l'aire d'étude de l'éolienne E2 et E3 sont concernées par le périmètre de protection rapproché.
- Dom-le-Mesnil : localisé à plus de 800 m au nord de l'éolienne E1. Les aires d'études des éoliennes E1 à E3 sont concernées par le périmètre de protection éloigné de ce captage.

Seule l'éolienne E3 est localisée dans un périmètre de protection de captage (périmètre éloigné du captage d'Hannogne-Saint-Martin).

Enfin, aucune servitude radioélectrique n'est recensée dans la zone d'étude.

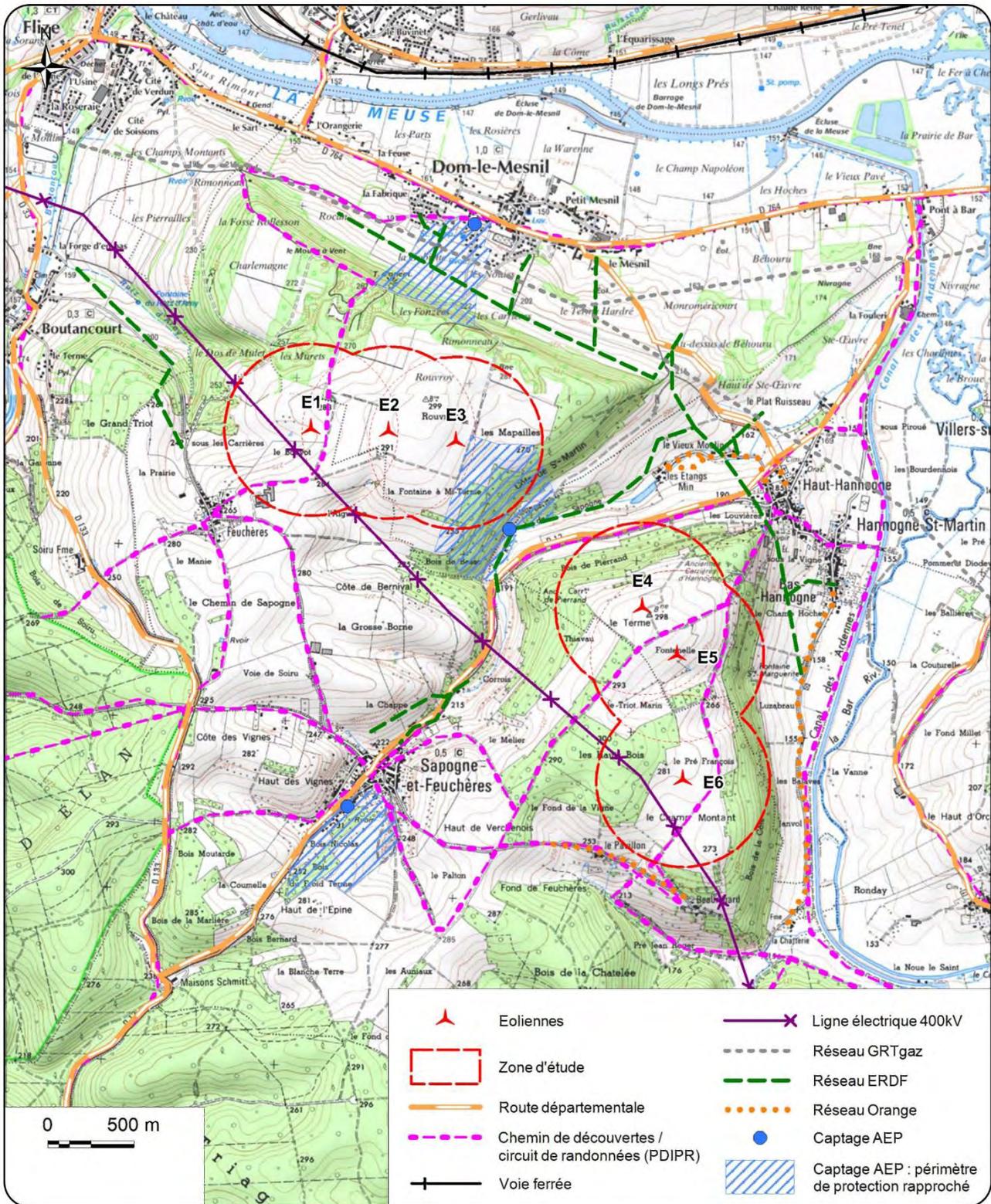
IV.3.3. AUTRES OUVRAGES

Aucun barrage, digue, château d'eau, ou bassins de rétention n'est recensé dans la zone d'étude.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Réseaux et servitudes



IV.4. SYNTHÈSE

IV.4.1. EQUIVALENT PERSONNES PERMANENTES

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) permet d'identifier les enjeux à protéger dans une aire d'étude.

La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur/infrastructure est présentée en annexe 1. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologique applicables aux études de dangers.

| SECTEUR/INFRASTRUCTURE | TYPE | EQUIVALENT PERSONNES PERMANENTES | EOLIENNES CONCERNEES (AIRE D'ETUDE DE 500 M) |
|------------------------------|--|----------------------------------|--|
| Chemins agricoles | Terrains aménagés mais peu fréquentés | 1 personne/10 hectares | E1 ; E2 ; E3 ; E4 ; E5 ; E6 |
| Sentiers de randonnées | Terrains aménagés mais peu fréquentés | 1 personne/10 hectares | E1 ; E2 ; E4 ; E5 ; E6 |
| RD12 | Terrains aménagés mais peu fréquentés | 1 personne/10 hectares | E4 |
| Chemins communaux | Terrains aménagés mais peu fréquentés | 1 personne/10 hectares | E1 ; E2 ; E3 ; E4 ; E5 ; E6 |
| Exploitation agricole | Zone d'activité | Nombre de salariés | E1 |
| Champs, prairies, Boisements | Terrains non aménagés et très peu fréquentés | 1 personne/100 hectares | E1 ; E2 ; E3 ; E4 ; E5 ; E6 |

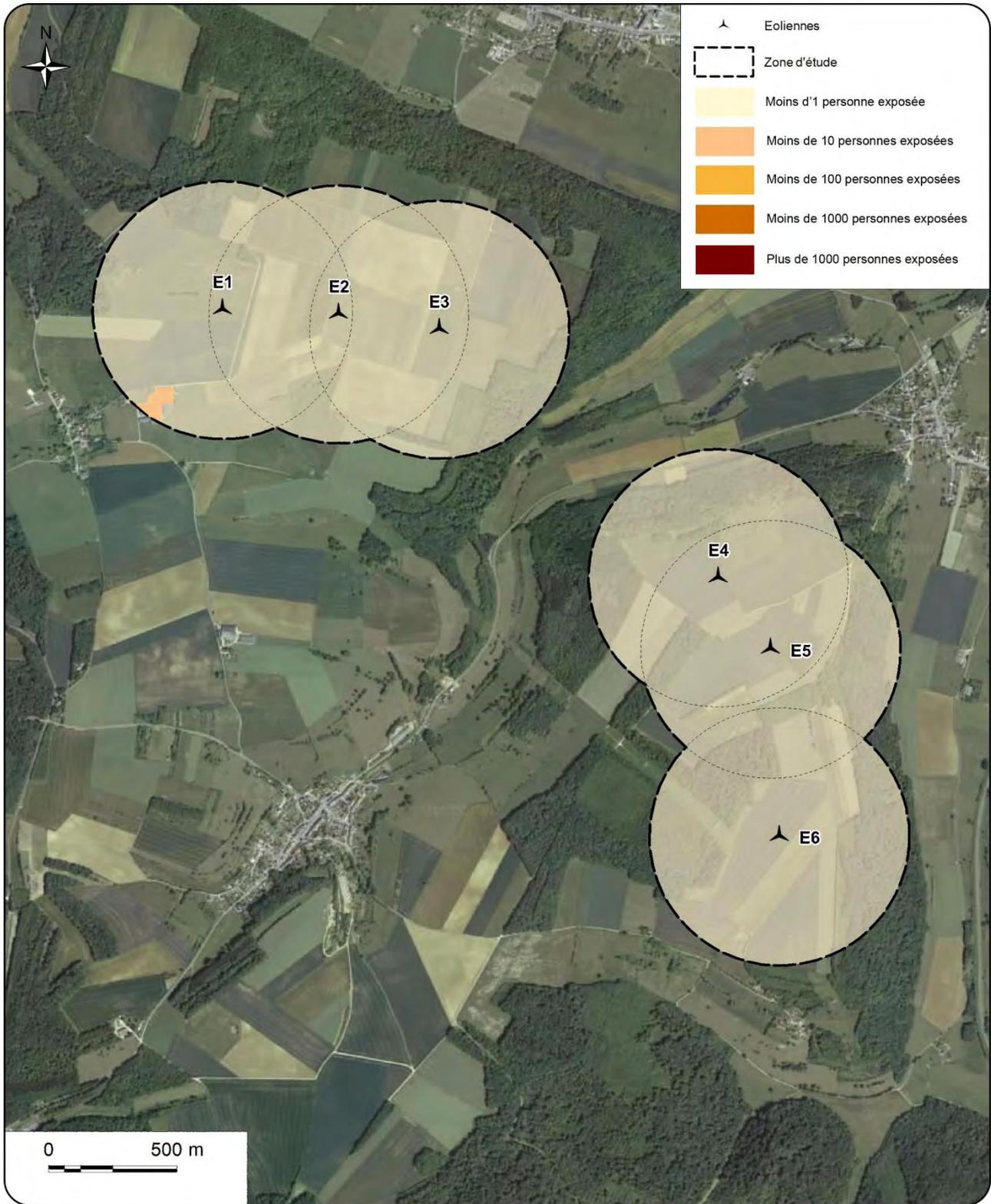
Dans le cadre du projet de parc éolien des Monts Jumeaux, les sensibilités sont relativement faibles compte tenu de l'occupation du sol (zone agricole) et l'absence d'infrastructures de transport structurante.

IV.4.2. CARTOGRAPHIE

La carte page suivante, permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans les aires d'étude pour chacun des 6 aérogénérateurs projetés. Cette dernière a été réalisée à partir des données du tableau précédent.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX
Synthèse des sensibilités



V. 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 V), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

V.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

V.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 :

- 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.

ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AEROGENERATEUR

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, les aérogénérateurs 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 (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 5 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté 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 qui 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.

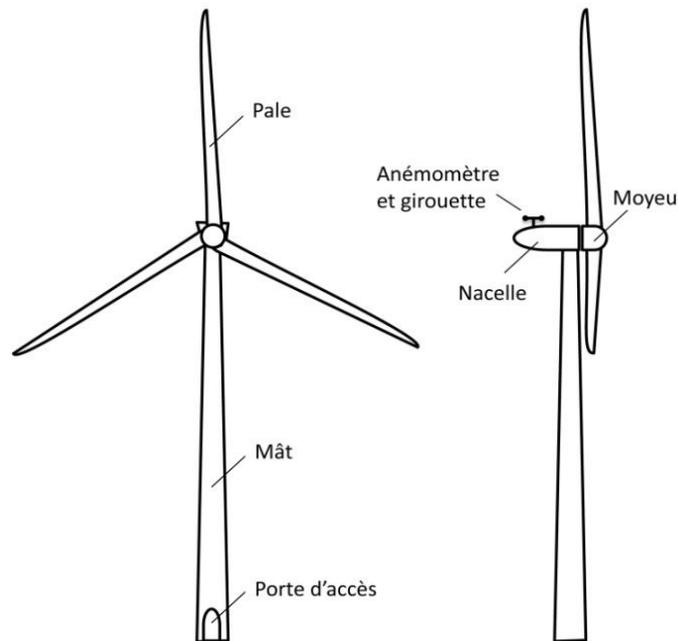


Schéma simplifié d'un aérogénérateur

EMPRISE AU SOL

Plusieurs emprises au sol sont nécessaires pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien :

- **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.

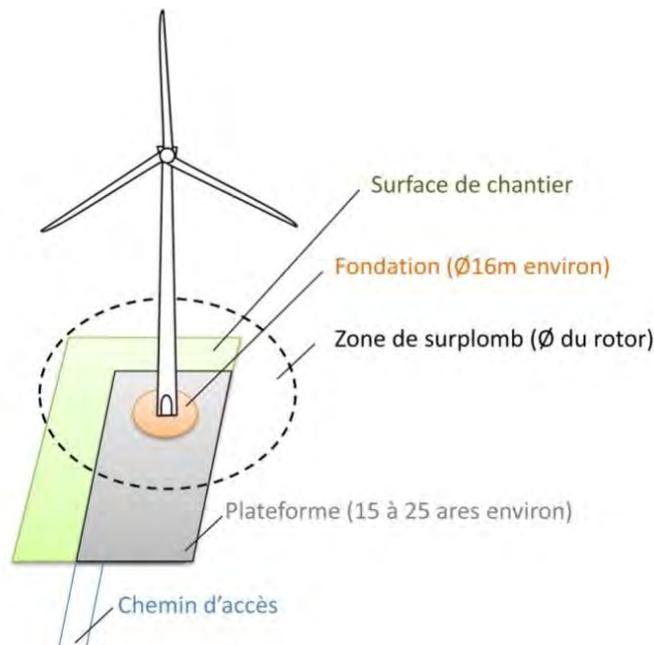


Illustration des emprises au sol d'une éolienne

CHEMINS D'ACCES

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 agricoles existants ;
- si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles.

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

AUTRE INSTALLATION

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

V.1.2. ACTIVITE DE L'INSTALLATION

L'activité principale du futur parc éolien des Monts Jumeaux sera la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) d'environ 93 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique n°2980 des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

V.1.3. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le futur parc éolien des Monts Jumeaux sera composé de 6 aérogénérateurs Nordex N117 et de 2 postes de livraison. Chaque aérogénérateur aura une hauteur de moyeu de 91 m et un diamètre de rotor de 116,8 m, soit une hauteur totale en bout de pale de 149,4 m.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs projetés :

| INSTALLATION | COORDONNEES LAMBERT II ETENDU | | COORDONNEES WGS84 | | ALTITUDE DU TERRAIN EN M NGF | ALTITUDE AU SOMMET DE L'INSTALLATION EN M NGF |
|--------------|----------------------------------|---------|----------------------|-------------|---------------------------------|---|
| | X | Y | EST | OUEST | | |
| E1 | 777327 | 2522897 | 4,79098741 | 49,67805287 | 277 m | 426,4 m |
| E2 | 777776 | 2522894 | 4,79719881 | 49,67790779 | 295 m | 444,4 m |
| E3 | 778166 | 2522847 | 4,80258268 | 49,67737434 | 284 m | 433,4 m |
| E4 | 779275 | 2521916 | 4,81751695 | 49,66870328 | 292 m | 441,4 m |
| E5 | 779486 | 2521646 | 4,82031339 | 49,66621888 | 284 m | 433,4 m |
| E6 | 779543 | 2520921 | 4,82078273 | 49,65969283 | 275 m | 424,4 m |
| PDL1 | 778226 | 2522853 | 4,80340819 | 49,67741238 | - | - |
| PDL2 | 779450 | 2521791 | 4,81987037 | 49,66752669 | - | - |

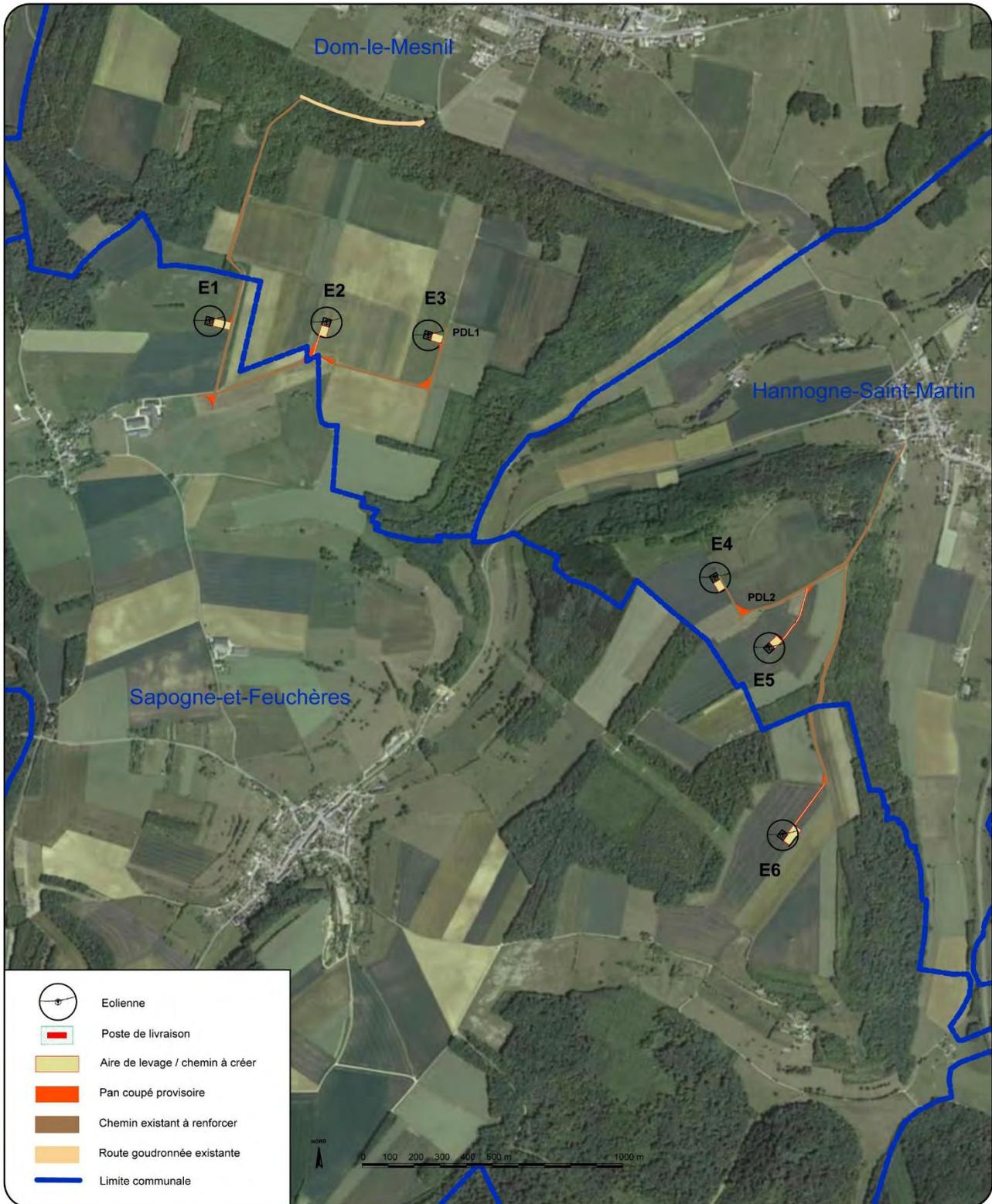
* E = Eolienne / PDL = Poste de livraison

V.1.4. DIMENSIONS DES EOLIENNES PROJETEES

| ELEMENT DE L'INSTALLATION | CARACTERISTIQUES |
|---------------------------|--|
| Mât | Hauteur du mât / du moyeu : 92,8 m / 91 m Largueur à la base du mât : 4,04 m |
| Rotor / pales | Diamètre du rotor : environ 116,8 m Longueur de la pale : environ 57,3 m Longueur à la base de la pale : environ 4 m |



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX
Implantation projetée



V.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

V.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.

V.2.2. DECOUPAGE FONCTIONNEL D'UN AEROGENERATEUR

Le tableau suivant décrit les principales unités fonctionnelles d'un aérogénérateur.

Une description technique détaillée des aérogénérateurs projetés (Nordex N117) est présentée en annexe 7.

| ELEMENT DE L'INSTALLATION | FONCTION | CARACTERISTIQUES |
|---------------------------|--|--|
| La fondation | <i>Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol</i> | <p>Le massif de fondation est composé de béton armé. Il est constitué soit d'une virole d'ancrage métallique préfabriquée, soit d'une cage d'ancrage à tirants post-contraints, tous deux enchâssés dans un réseau de fers à béton.</p> <p>Le dimensionnement des fondations est réalisé sur la base des descentes de charges fournies par le constructeur des aérogénérateurs. Ces documents de descentes de charges décrivent dans des situations de chargement prédéfinies par les normes IEC 61400-1, les torseurs (forces et mouvements) ramenés au pied du mât que subiront les fondations sur l'intégralité de sa durée de vie de minimum de 20 ans.</p> <p>Le dimensionnement des massifs prend en compte les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ le type d'éolienne ; ▪ la nature des sols ; ▪ les conditions météorologiques extrêmes ; ▪ les conditions de fatigue. <p>De manière générale, les fondations font entre 2,5 et 3,5 m d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre de 15 à 20 m. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes.</p> <p>Le dimensionnement et la construction des fondations sont soumis en France au Contrôle Technique Obligatoire. Les constructeurs imposent également un droit de regard et de revue des designs de massifs de fondations, afin de s'assurer que ceux-ci respectent les règles et spécifications définies par les constructeurs.</p> <p>Avant toute opération de montage des éoliennes, la bonne planéité du massif réalisé fait l'objet d'un contrôle rigoureux.</p> |
| Le mât | <i>Supporter la nacelle et le rotor</i> | <p>Le mât des aérogénérateurs est constitué de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride aux tiges d'ancrage disposées dans le massif de fondation, le mât est autoportant.</p> <p>La hauteur du mât, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée.</p> <p>Pour les machines dont l'axe de rotation du rotor dépasse une certaine hauteur (variable selon les constructeurs, environ 100 m), le mât est constitué en partie basse d'une structure en béton préfabriqué et en partie haute par des sections de mât acier. Cette structure hybride permet d'atteindre des hauteurs de moyeu bien plus importantes et ainsi des régimes de vent plus élevés et plus stables.</p> <p>L'accès au mât se fait par une porte verrouillable dans le pied du mât. À l'intérieur du mât, il est possible de monter dans la nacelle à l'abri des intempéries avec un ascenseur (facultatif) ou une échelle avec système antichute. Des plates-formes fermées par des trappes se trouvent aux passages des segments du mât.</p> <p>Le mât est doté d'un dispositif d'éclairage assurant un éclairage intégral des plates-formes et de la montée. En cas de coupure d'électricité, l'éolienne est également dotée d'un système d'éclairage d'urgence alimenté par batteries, afin de garantir une évacuation sans danger de l'éolienne.</p> <p>Le mât permet également le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle. Il abrite notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs ; ▪ les cellules de protection électriques. |

| ELEMENT DE L'INSTALLATION | FONCTION | CARACTERISTIQUES |
|---------------------------|---|--|
| <p>La nacelle</p> | <p><i>Supporter le rotor</i></p> <p><i>Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i></p> | <p>La nacelle se situe au sommet du mât et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne. Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent. Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent.</p> <p>Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire plusieurs tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà d'un certain seuil (variable selon les constructeurs), un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.</p> <p>La nacelle contient la chaîne cinématique et la génératrice (synchrone ou asynchrone) qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.</p> <p>Les composants présents dans la nacelle peuvent être pilotés par le système de commande. Ce système prescrit notamment des valeurs de consigne pour l'angle des pales du rotor et le couple de la génératrice. Les données suivantes sont constamment contrôlées :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ tension, fréquence et position de phase du réseau ▪ vitesse de rotation du rotor, du multiplicateur, de la génératrice ▪ diverses températures ▪ secousses, vibrations, oscillations ▪ pression d'huile ▪ usure des garnitures de frein ▪ torsion des câbles ▪ données météorologiques <p>Les fonctions les plus critiques sont contrôlées de façon redondante et peuvent déclencher un arrêt d'urgence rapide de l'éolienne via une chaîne de sécurité à câblage direct, même sans système de commande ni alimentation électrique externe. Ceci signifie une sécurité maximale même en cas de problèmes tels qu'une panne de secteur, la foudre ou autres. Les données d'exploitation peuvent être consultées à distance, de sorte que l'exploitant aussi bien que l'équipe de maintenance dispose à tout moment de toutes les informations sur le statut de l'éolienne.</p> |
| <p>Le rotor</p> | <p><i>Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</i></p> | <p>Le rotor se compose de trois pales bridées sur le moyeu du rotor via des paliers.</p> <p>Les pales, conçues pour allier solidité, légèreté, comportement aérodynamique et émissions acoustiques minimales utilisent une construction sandwich en matériau composite renforcé de fibres de verres. Elles font l'objet d'une certification-type selon le référentiel IEC 61400 incluant des tests exhaustifs visant à reproduire avec des facteurs de sécurité importants les contraintes statiques, dynamiques et les phénomènes de fatigue auxquels seront soumis les pales sur leur durée de vie.</p> |

| ELEMENT DE L'INSTALLATION | FONCTION | CARACTERISTIQUES |
|--|--|---|
| | | <p>Leur revêtement résiste aux UV et protège des influences de l'humidité.</p> <p>Un système de captage de la foudre constitué d'un collecteur métallique associé à un câble électrique ou méplat courant à l'intérieur de la pale permet d'évacuer les courants de foudre vers le moyeu puis vers la tour, la fondation et le sol.</p> <p>Lorsque les conditions de vent permettent d'atteindre la plage de charge nominale, l'éolienne tourne à couple nominal constant. Les modifications de vitesse dues aux variations de la vitesse du vent sont compensées par l'adaptation de l'angle des pales.</p> <p>Ainsi, afin d'adapter l'éolienne aux conditions de vent, les pales pivotent autour de leur axe longitudinal grâce à des moteurs de réglage à courant continu tournant simultanément, ces moteurs agissant sur la denture extérieure du palier par l'intermédiaire d'un engrenage planétaire et d'un pignon.</p> <p>Mise à part la fonction de régulation du couple au régime nominal, la deuxième fonction essentielle du réglage des pales est une fonction de sécurité puisqu'il sert de frein primaire à l'éolienne. L'éolienne est en effet freinée par le réglage des pales du rotor en position de drapeau (frein primaire aérodynamique). Chacun des trois dispositifs de réglage sur la pale est entièrement indépendant. En cas de panne secteur, les moteurs sont alimentés par les jeux d'accumulateurs tournant avec les pales. Le réglage d'une seule pale de rotor est suffisant pour amener l'éolienne dans une plage de vitesse sûre. Ceci fournit un système de sécurité triple et redondant.</p> <p>Le système de freinage primaire est en exécution « <i>fail-safe</i> » (technique à sécurité intégrée). Si un dysfonctionnement est détecté lors de la surveillance du système de freinage, alors l'éolienne est commutée en mode de sécurité.</p> <p>Plusieurs notions caractérisent les pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ la longueur, fonction de la puissance désirée ; ▪ la corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ; ▪ les matériaux, fonction de la résistance souhaitée. |
| <p>Le transformateur</p> | <p><i>Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i></p> | <p>Le transformateur permet l'élévation en tension de l'énergie électrique produite par l'aérogénérateur. Il est composé d'un transformateur élévateur ainsi que d'une cellule de protection du transformateur et de cellules interrupteur-sectionneurs permettant de mettre hors tension les câbles HTA souterrains auxquels l'aérogénérateur est raccordé.</p> <p>Selon les modèles, ce poste de transformation peut-être situé soit en pied de mât, soit dans une cabine externe à côté de l'éolienne. Dans les configurations poste de transformation interne, les transformateurs utilisés sont des transformateurs secs afin d'éviter la présence d'huile et les risques d'incendie associés.</p> |
| <p>Liaisons inter-éoliennes</p> | <p><i>Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i></p> | <p>Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ERDF ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.</p> <p>Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.</p> <p>Les liaisons électriques entre éoliennes et poste(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.</p> |

V.2.3. SECURITE DE L'INSTALLATION

La description des différents systèmes de sécurité de l'installation sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie VIII.6 de la présente étude de dangers. Seule une présentation des principaux éléments de sécurité sont présentés ci-après.

QUALITE DES CONSTRUCTIONS ET CONTROLES

Les aérogénérateurs sont conformes 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, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011.

En dehors d'un glissement de terrain, les causes de chute d'une éolienne sont essentiellement liées à une mauvaise construction des massifs de soutien ou à une dégradation de la structure portante. A ce titre un contrôle strict sera réalisé sur les massifs en phase chantier. Ce contrôle portera sur la nature des matériaux utilisés et leur conformité avec le cahier des charges ainsi que sur les caractéristiques techniques de l'ouvrage (dimension, qualité). Ce contrôle sera réalisé par l'entreprise de travaux dans le cadre de son PAQ (Plan Assurance Qualité) et par le Maître d'œuvre à réception des ouvrages de fondations.

Le dimensionnement de ces ouvrages étant sécurisé par une marge de 25%, de ce fait le risque de chute liée à une mauvaise réalisation technique des fondations est réduit.

Par ailleurs, l'ensemble des éléments métalliques exposés de la structure portante sont traités contre la corrosion.

Enfin, le cahier des charges relatif aux soudures et les contrôles réalisés par l'entreprise de travaux et le Maître d'œuvre permettent de garantir la qualité des dites soudures. De plus, une vérification de la structure portante sera réalisée sur une base décennale ou suite à une constatation de dégradation lors des visites de maintenance annuelle.

L'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité de son installation à la réglementation en vigueur.

SECURITE VIS-A-VIS DU RISQUE ELECTRIQUE

La nature des installations fait qu'il existe un risque électrique du fait de la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 20 000 volts). Celui-ci peut se traduire par des surtensions, des surintensités ou encore des courts-circuits au sein des appareils de production, pouvant mener au déclenchement d'un incendie ou nuire à la production du parc éolien.

L'ensemble des systèmes électriques est construit dans les règles de l'art et le respect des normes internationales affiliées et vise à éviter toute dégradation liée à une surtension. Plus précisément, les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables. Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente. La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 susvisé.

Par ailleurs, le réseau électrique Moyenne Tension (MT) dispose d'une protection primaire dans une armoire électrique située au pied de la tour de chaque éolienne, avec un éclateur à étincelle. Une protection secondaire intervient sur les réseaux MT de la zone nacelle et de l'armoire électrique par des varistances. La puissance des fusibles est adaptée en fonction des tensions prévues dans la nacelle et le pied de mât.

SECURITE VIS-A-VIS DU RISQUE INCENDIE

Les sources d'inflammation sont réduites mais existent du fait de l'activité électrique, et sont donc toujours susceptibles en cas de dysfonctionnement de produire des étincelles voire des arcs électriques. De plus, des courts-circuits pourraient intervenir et induire un risque d'incendie.

Pour limiter le risque incendie, les éoliennes sont principalement élaborées en matériaux non combustibles. La majorité des composants de l'éolienne sont en métal. Les composants sont essentiellement :

- pales du rotor et cabine qui sont fabriqués en matière plastique renforcée de fibres de verre ;
- câbles et petites pièces électriques ;
- lubrifiants et huiles ;
- tuyaux et autres petites pièces en matière plastique ;
- accumulateurs.

Les mesures constructives et les caractéristiques intrinsèques des matériels retenus pour le circuit électrique font que la probabilité d'apparition d'un incendie est presque nulle et que sa propagation est limitée au maximum par le choix des matériaux et des traitements appliqués.

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher en raison d'une éventuelle surchauffe ou de court-circuit, sont continuellement surveillés par des capteurs lors du fonctionnement, et cela en premier lieu afin de s'assurer de leur bon fonctionnement. Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est stoppée.

SECURITE VIS-A-VIS DU RISQUE Foudre

Les éoliennes sont équipées d'une protection anti-foudre et d'un système de mise à la terre conformes aux normes à la norme IEC 61 400-24, destinés à protéger l'éolienne des dommages directs (par exemple coups de foudre) ou indirects. Les récepteurs des pales, la nacelle et le paratonnerre interceptent l'éclair et dévient le courant produit vers la terre, par des voies bien définies. Les composants électriques et électroniques de l'éolienne sont protégés des champs parasites et de la tension perturbatrice par des barrières de surtension.

SECURITE VIS-A-VIS DU RISQUE GLACE

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Ceci arrive le plus souvent lorsque l'air est très humide, ou en cas de pluie ou de neige et à des températures proches de 0°C. Les dépôts de glace et de givre peuvent réduire le rendement et accroître la sollicitation du matériel (déséquilibre du rotor) et la nuisance sonore. La glace formée peut également présenter un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre.

Les caractéristiques aérodynamiques des pales de rotor sont très sensibles aux modifications des contours et de la rugosité des profils de pale causées par le givre ou la glace. Le système de détection de givre/glace utilise la modification importante des caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/puissance/angle de pale) en cas de formation de givre ou de glace sur les pales du rotor.

Une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance de l'éolienne et de la courbe d'angle de pale. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

Ainsi, chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011.

SYSTEME DE FREINAGE

En fonctionnement, les éoliennes sont exclusivement freinées d'une façon aérodynamique par inclinaison des pales en position drapeau. Pour ceci, les trois entraînements de pales indépendants mettent les pales en position de drapeau (c'est-à-dire « *les décrochent du vent* ») en l'espace de quelques secondes. La vitesse de l'éolienne diminue sans que l'arbre d'entraînement ne soit soumis à des forces additionnelles.

Bien qu'une seule pale en drapeau (frein aérodynamique) suffise à stopper l'éolienne, cette dernière possède 3 freins aérodynamiques indépendants (un frein par pale).

Le rotor n'est pas bloqué même lorsque l'éolienne est à l'arrêt, il peut continuer de tourner librement à très basse vitesse. Le rotor et l'arbre d'entraînement ne sont alors exposés à pratiquement aucune force. En fonctionnement au ralenti, les paliers sont moins soumis aux charges que lorsque le rotor est bloqué.

L'arrêt complet du rotor n'a lieu qu'à des fins de maintenance et en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence. Dans ce cas, un frein d'arrêt supplémentaire se déclenche lorsque le rotor freine partiellement, les pales s'étant inclinées. Le dispositif de blocage du rotor ne peut être actionné que manuellement et en dernière sécurité, à des fins de maintenance.

En cas d'urgence (par exemple, en cas de coupure du réseau), chaque pale du rotor est mise en sécurité en position de drapeau par son propre système de réglage de pale d'urgence alimenté par batterie. L'état de charge et la disponibilité des batteries sont garantis par un chargeur automatique.

V.2.4. MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION

a. Moyens interne

MOYENS D'ALERTE

Le système est prévu pour générer un appel téléphonique du personnel d'astreinte lors d'évènements ou d'incidents prédéterminés au site. Deux messages seront enregistrés :

- alarme défaut urgent ;
- alarme défaut non urgent.

Le dispositif est susceptible d'utiliser plusieurs numéros de téléphone et d'effectuer des reports en cas de plages horaires. Le personnel d'astreinte peut alors faire intervenir les services compétents dans les meilleurs délais et ce à n'importe quel moment du jour et de la nuit. Le personnel d'astreinte dispose à cette fin de toutes les coordonnées nécessaires.

MOYENS D'INTERVENTION SUR SITE

En l'absence de personnel, il n'y a pas de moyens particuliers de protection sur le site en lui-même. En revanche une équipe dédiée chargée de la maintenance peut intervenir pour des opérations de contrôle ou d'entretien dès qu'une défaillance est détectée par le système de télésurveillance. Les équipes de maintenance disposeront toutefois d'extincteurs adaptés au feu avec composants électriques, de sorte que si un départ d'incendie avait lieu en leur présence, ils puissent intervenir.

NUMEROS D'URGENCE

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours seront placés sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mâts des éoliennes et poste de livraison) conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011.

Les coordonnées de l'exploitant (numéro d'astreinte) seront indiquées sur les panneaux d'affichage.

CIRCUITS D'EVACUATION EN CAS DE SINISTRE

Chaque aérogénérateur compte à minima 2 issues (cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât) :

- 1 porte en pied de tour ;
- 1 trappe dans la nacelle, qui permet l'évacuation par la nacelle à l'aide d'un dispositif de secours et d'évacuation (chaque aérogénérateur est équipé d'un tel dispositif, le nombre de dispositifs étant toutefois à adapter en fonction du nombre de personnes intervenant simultanément dans la nacelle).

Le personnel intervenant dans les aérogénérateurs est formé à l'utilisation du dispositif de secours et d'évacuation. Si des personnes non formées à l'utilisation de ce système sont amenées à intervenir dans un aérogénérateur, elles sont accompagnées et supervisées par un nombre suffisant de personnes formées.

En cas d'incident, un périmètre de sécurité est délimité dans un rayon de 500 m des aérogénérateurs.

MOYENS DE DETECTION ET/OU D'EXTINCTION INCENDIE

Conformément à l'article 24 de l'arrêté du 26 août 2011, chaque aérogénérateur est doté de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :

- un système d'alarme et qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal ;
- au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils sont positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

De même chaque poste de livraison est équipé d'extincteurs portatifs.

PREMIERS SECOURS

Le personnel intervenant sur les aérogénérateurs est formé aux premiers secours. Il connaît également les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement.

Chaque aérogénérateur est équipé de 2 boîtes de premiers secours (1 en pied de tour, 1 en nacelle). Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

Les véhicules des techniciens de maintenance sont également dotés d'une boîte de premiers secours.

En cas de choc électrique, 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 Haute-Tension (HT), conformément aux instructions données lors des formations de préparation à l'habilitation électrique.

b. Moyens externe

Les coordonnées des moyens de sécurité publics auxquels il peut être fait appel en cas d'accident et dont la liste est rappelée ci-dessous, sont affichées en permanence sur le site et dans les locaux, à proximité d'un poste de télécommunication :

- Pompiers : 18 / 112 ;
- Gendarmerie Nationale : 17 ;
- SAMU (Urgences médicales) : 15 ;
- Centre hospitalier de Sedan : 03 24 22 80 00 ;
- DREAL / Unité Territoriale des Ardennes : 03 24 59 71 20.

Dès la mise en service du parc, l'exploitant transmettra au SDIS les informations suivantes :

- un plan d'ensemble au 25 000^{ème} ;
- un plan des installations au 1 000^{ème} ;
- les coordonnées des techniciens qualifiés d'astreinte ;
- la notice hygiène et sécurité de l'installation.

Des exercices d'entraînement pourront être organisés avec les services de secours afin de mieux appréhender les risques présentés par l'installation ainsi que les moyens mis en œuvre pour les éviter.

Le parc éolien disposera en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours conformément à l'article 7 de l'arrêté du 26 août 2011.

c. Traitement de l'alerte

Chaque aérogénérateur est doté d'un système de détection qui permet d'alerter un cas de situation anormale de l'installation. Les paramètres sont retransmis au centre de surveillance de l'exploitant et de l'opérateur de maintenance, en continu via le système SCADA en place sur le parc.

Une alerte est envoyée en moins d'une minute au centre de contrôle, qui est à même de contacter les services compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.

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.

V.2.5. OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

La maintenance et l'entretien des éoliennes jouent un rôle important dans la sécurité de l'installation. L'objectif de ces opérations est de contrôler le bon fonctionnement des installations et d'identifier tout phénomène d'usure ou de dégradation des matériels, notamment électriques, avant que ces phénomènes ne deviennent des facteurs de risques.

La maintenance des éoliennes sera assurée par le constructeur qui dans le cadre d'un contrat global de performances, garantit entre autre la fiabilité et la disponibilité de ses machines.

CONDUITE DU SYSTEME

Les éoliennes sont des équipements de production d'énergie qui ne nécessitent pas de présence permanente de personnel. Bien que certaines opérations nécessitent des interventions sur site, les éoliennes sont surveillées et pilotées à distance.

Tous les paramètres de marche de l'éolienne (conditions météorologiques, vitesse de rotation des pales, production électrique, niveau de pression du réseau hydraulique, etc.) sont transmis par fibre optique puis par liaison sécurisée au centre de commandement du parc éolien.

Pour cela, les installations sont équipées d'un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui permet le pilotage à distance à partir des informations fournies par les capteurs. Le parc éolien est ainsi relié à un centre de télésurveillance permettant le diagnostic et l'analyse de leur performance en permanence, ainsi que certaines actions à distance. Ce dispositif assure la transmission de l'alerte en temps réel en cas de panne ou de simple dysfonctionnement. Il permet également de relancer aussitôt les éoliennes si les paramètres requis sont validés et les alarmes traitées. C'est notamment le cas lors des arrêts de l'éolienne par le système normal de commande (en cas de vent faible, de vent fort, de température extérieure trop élevée ou trop basse, de perte du réseau public,...).

Par contre, en cas d'arrêt lié à un déclenchement de capteur de sécurité (déclenchement détecteur d'arc électrique, température haute,...), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut avant de pouvoir relancer un démarrage.

PERSONNEL ET DOCUMENTS CADRES

La maintenance sera réalisée par une équipe dédiée, formée aux risques présentés induits par l'intervention sur les éoliennes, conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 août 2011.

Les personnes étrangères à l'installation n'ont pas accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs. Les accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison sont maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements, conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011.

Les constructeurs et fournisseurs produiront des manuels de maintenance et d'opération pour tous les éléments. Ces manuels auront pour objet de faciliter les opérations de maintenance et de guider les opérateurs. Ils répondront au cahier des charges présenté dans le tableau suivant :

| TYPE DE MANUEL | DESCRIPTION |
|-------------------------------|--|
| Manuels de maintenance | <p>Tout équipement individuel, composant l'éolienne, est fourni avec son manuel de maintenance qui décrit et illustre les pratiques acceptables, les procédures et les précautions à prendre lors des travaux de maintenance.</p> <p>Les manuels contiennent les séquences d'assemblage, de désassemblage et les tolérances dimensionnelles des composants, de même que la liste des outillages nécessaires pour ces travaux spécifiques. Une liste complète des pièces de rechange est incluse. Elle permet une identification claire et rapide de tous les numéros de pièces. Leur numérotation est telle qu'elle permet une identification aisée sur les dessins.</p> <p>Le manuel de maintenance des composants contient un planning de maintenance recommandée ainsi que les procédures détaillées de maintenance avec des diagrammes illustratifs.</p> |
| Manuel d'opération | <p>Le manuel d'opération couvre les aspects suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ les instructions pour la mise en place des équipements et leur démarrage ; ▪ les instructions pour opérer les systèmes de contrôle commande et tous les autres systèmes ; ▪ les données techniques ; ▪ les tables de « <i>Trouble shooting</i> » ; ▪ les maintenances recommandées. <p>Une description des causes possibles des alarmes, les actions à mener en ce cas pour,</p> |

| TYPE DE MANUEL | DESCRIPTION |
|----------------|--|
| | soit diagnostiquer la faute, poursuivre le fonctionnement ou procéder à l'arrêt. Un détail des procédures à effectuer en cas d'urgence un dossier d'essais effectués et réceptionnés en usine et sur site Une description détaillée et claire du fonctionnement du système complet avec une description de la manière dont chaque composant individuel fonctionne. Par ailleurs, les activités de maintenance (notamment le renouvellement des huiles) sont guidées par des procédures spécifiques, et notamment : <ul style="list-style-type: none"> ▪ procédure de renouvellement des huiles (enlèvement, remplacement, élimination) ; ▪ procédure relative à la conduite à tenir en cas d'écoulement accidentel. |

L'exploitant disposera d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation. De même, l'exploitant tient à jour pour chaque installation un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées, conformément à l'article 19 de l'arrêté du 26 août.

MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

Un système de télésurveillance (via le SCADA) permettra d'être informé des éventuels dysfonctionnements ou dérives de performances, de manière à prendre les dispositions idoines (préparation d'une intervention de maintenance, reparamétrage à distance, mise en sécurité,...).

Les principales mesures de prévention concernent les aspects liés à la maintenance. La maintenance des éoliennes couvre la tour, la nacelle et ses composants, le rotor, les systèmes de contrôle et de commande.

En dehors des opérations de maintenance systématique et préventive, des inspections et des interventions en maintenance curative seront réalisées chaque fois que cela est nécessaire sur les éoliennes dans leur globalité ou sur un ou plusieurs composants particuliers.

| TYPE DE MAINTENANCE | DESCRIPTION |
|-------------------------------|--|
| Maintenance préventive | La maintenance préventive est réalisée en fonction des préconisations établies par les constructeurs et listées dans les manuels de maintenance. Les éléments contrôlés durant la phase de maintenance sont les suivants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ systèmes électriques ; ▪ systèmes mécaniques ; ▪ resserrage des fixations ; ▪ changement des liquides de lubrification ; ▪ réglage des paramètres de contrôles ; ▪ structure de l'éolienne (sur une base décennale) ; ▪ entretien des plantations (en vue de limiter les risques de propagation de feu d'origine externe). |
| Maintenance curative | Il s'agit des opérations de maintenance réalisées suite à des défaillances de matériels ou d'équipements (<i>ex</i> : remplacement d'un capteur défaillant, ajout de liquide de refroidissement faisant suite à une fuite, ...). Ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement, de façon à rendre l'équipement à nouveau opérationnel. |

CONTROLES REGLEMENTAIRES PERIODIQUES

Les contrôles réglementaires concernent les installations électriques, les équipements et accessoires de levage ou les équipements sous pression (accumulateurs hydropneumatiques). Ils sont réalisés par des organismes agréés.

Le matériel incendie est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.

Conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011, avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements. Ces essais comprennent :

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

De plus, 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.

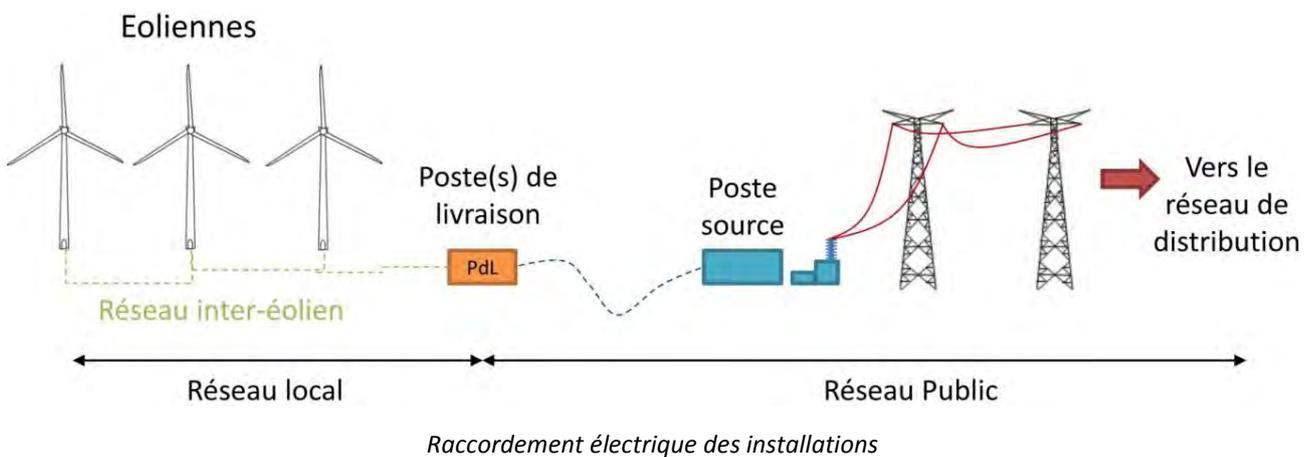
Conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle de l'aérogénérateur consistant en un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât. De plus, selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité. Ces contrôles font l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspection des installations classées

V.2.6. 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.

V.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

V.3.1. RACCORDEMENT ELECTRIQUE



RESEAU INTER-EOLIEN

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât 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.

Le raccordement inter-éoliennes est assuré par un câblage en réseau sous-terrain (20 000 volts – 150 mm² Alu) enfoui à une profondeur de 80 à 100 cm. Pour chaque câble, des gaines blindées seront utilisées pour assurer la protection et réduire le niveau de rayonnement électromagnétique.

L'itinéraire de ces câbles empruntera principalement les routes ainsi que les parcelles où seront implantées les éoliennes. Toutes les lignes électriques construites dans le cadre du projet seront enfouies. L'exploitant est propriétaire du réseau électrique inter-éolien jusqu'au poste de livraison.

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 Tensions).

La structure correspond à une cabine préfabriquée de 18,2 m², intégrant les différentes cellules de protection électrique, ainsi que les équipements de comptage énergétique, de contrôle et de surveillance de la qualité de l'énergie réinjectée dans le réseau de distribution publique. Elle reposera sur une dalle béton coulée sur un lit de sable et dans laquelle seront intégrés les fourreaux pour le passage des câbles.

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

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, 2 postes de livraison seront nécessaires. Ils seront implantés sur les communes de Dom-le-Mesnil et d'Hannogne-Saint-Martin, à proximité des éoliennes E3 et E5.

RESEAU ELECTRIQUE EXTERNE

Le réseau électrique externe relie le ou les postes 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.

Il est prévu dans le cadre de ce projet de se raccorder soit sur le poste source de Poix-Terron, situé à environ 15 km à l'ouest du projet, soit sur le poste source de Floing, situé à environ 13 km au nord-est du projet.

V.3.2. AUTRES RESEAUX

Le projet éolien des Monts Jumeaux 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.

VI. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

Ce chapitre 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.

VI.1. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS

VI.1.1. 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 projet éolien des Monts Jumeaux 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,...).

Concernant la dangerosité des produits utilisés, les huiles et les graisses 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.

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 poste de livraison. 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.

Enfin, il n'existe ni gaz de substance explosive, ni stock de produits inflammables, ni appareil de combustion dans les aérogénérateurs. Les risques d'explosion ou chimique sont donc absents

VI.1.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du projet éolien des Monts Jumeaux sont de cinq types :

- chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.) ;
- projection d'éléments (morceau de pale, brides de fixation, etc.) ;
- effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
- échauffement de pièces mécaniques ;
- courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

| INSTALLATION OU SYSTEME | FONCTION | PHENOMENE REDOUTE | 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 | Energie cinétique de projection |
| | | Chute de nacelle | Energie cinétique de chute |
| Rotor | Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique | Projection d'objets | Energie cinétique des objets |

VI.2. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

VI.2.1. PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES

AMENAGEMENT DU PARC EOLIEN

Le choix opéré pour l'implantation d'un parc éolien tient compte de la distance séparant les éoliennes entre elles et des servitudes liées à la présence d'infrastructures voisines.

Ainsi, dans le cadre de la définition du projet éolien des Monts Jumeaux, les contraintes techniques et sécuritaires du site d'étude ont été prises en compte. Des distances minimales d'éloignement ont été respectées dont :

- 500 m vis-à-vis des premières habitations et des zones urbanisables ;
- 300 m des établissements SEVESO ;
- 600 m des réseaux GRTgaz ;
- 150 m des routes départementales ;
- 150 m des lignes électriques aérienne HT et THT ;
- 150 m des bois et forêts.

Ainsi, l'ensemble de ces considérations ont permis de réduire à la source les potentiels dangers liés au fonctionnement de l'installation.

Par ailleurs, il est rappelé que les aérogénérateurs sont équipés en série, de systèmes de sécurité qui contribuent également à réduire à la source les potentiels dangers liés au fonctionnement de l'installation (cf. V.2.3.).

VI.2.2. 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.

Depuis les débuts du développement de l'éolien, des évolutions technologiques ont permis de mettre en place des équipements plus performants en termes d'optimisation des rendements et de diminution des risques :

- remplacement de pales métalliques par des pales en matériaux composites, plus légères et moins sujettes aux phénomènes de fatigue ;
- dispositif d'orientation des pales permettant de fonctionner par vent faible et de diminuer les contraintes par vent fort ;
- dispositif aérodynamique d'arrêt en cas de survitesse ;
- dispositifs de surveillance des dysfonctionnements électriques (détecteur d'arcs notamment).

Ces évolutions se poursuivent toujours afin d'améliorer la sécurité (recherche de systèmes de détection de givre sur les pales et de systèmes de dégivrage, mise en place de systèmes d'extinction incendie...).

VII. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

L'objectif de ce chapitre de l'étude de dangers est de rappeler les différents incidents et accidents qui sont survenus dans la filière éolienne, afin d'en faire une synthèse en vue de l'analyse des risques pour l'installation projetée et d'en tirer des enseignements pour une meilleure maîtrise du risque dans les parcs éoliens.

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 IX pour l'analyse détaillée des risques.

VII.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 les éoliennes du projet éolien des Monts Jumeaux. 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 (mars 2012).

L'inventaire des incidents et accidents *sus-cité* a été mis à jour par la société Quadran pour le compte de la SAS Parc Eolien Nordex XXIX dans le cadre de la présente étude de dangers.

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.

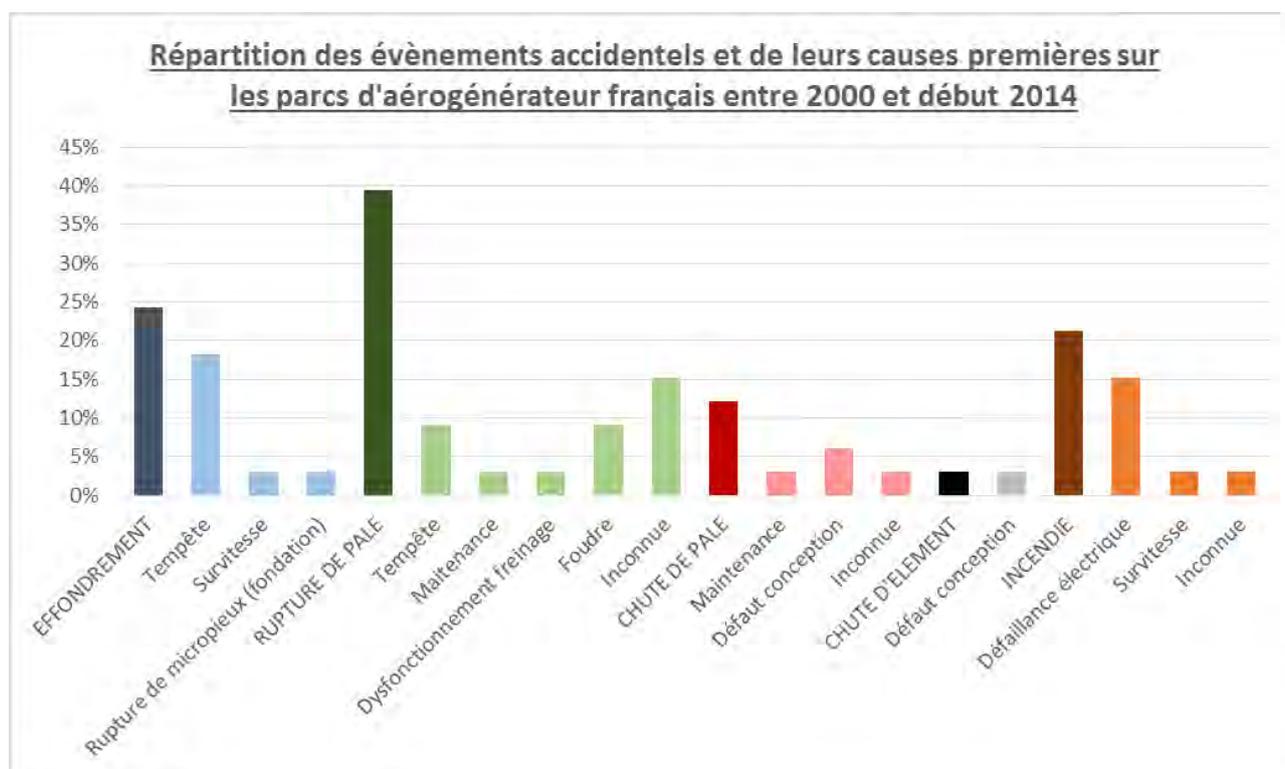
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens et la mise à jour par la société Quadran pour le compte de la SAS Parc Eolien Nordex XXIX, apparaît comme représentative 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 48 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2014 (voir tableau détaillé en annexe 2).

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 début 2014. 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.

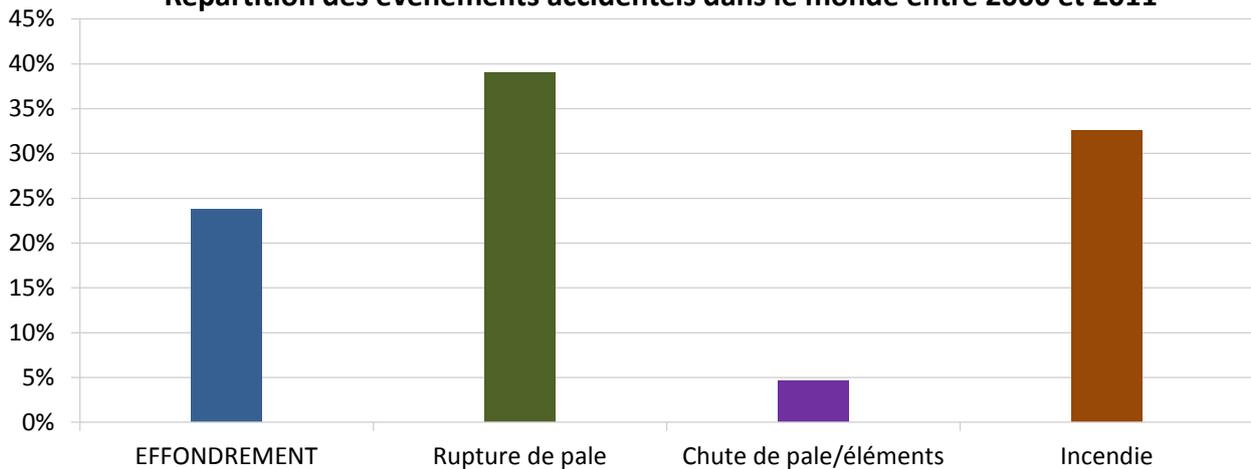
VII.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

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

La synthèse ci-après 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.

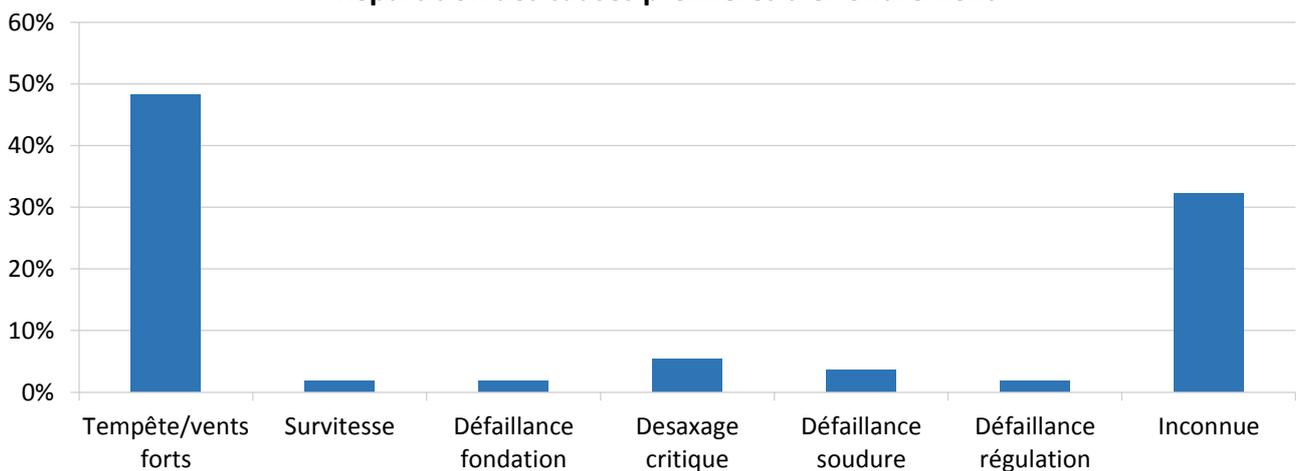
Le graphique page suivante montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

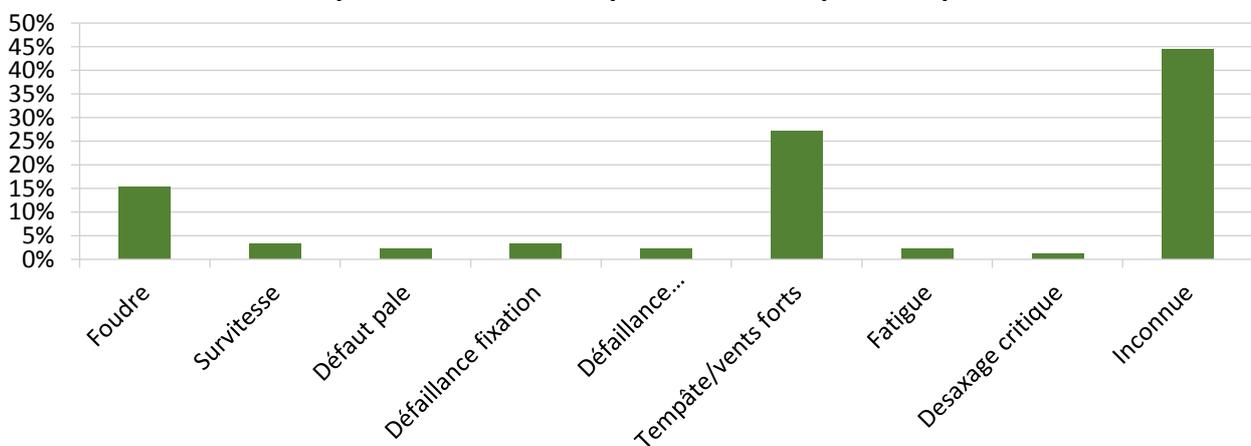


Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

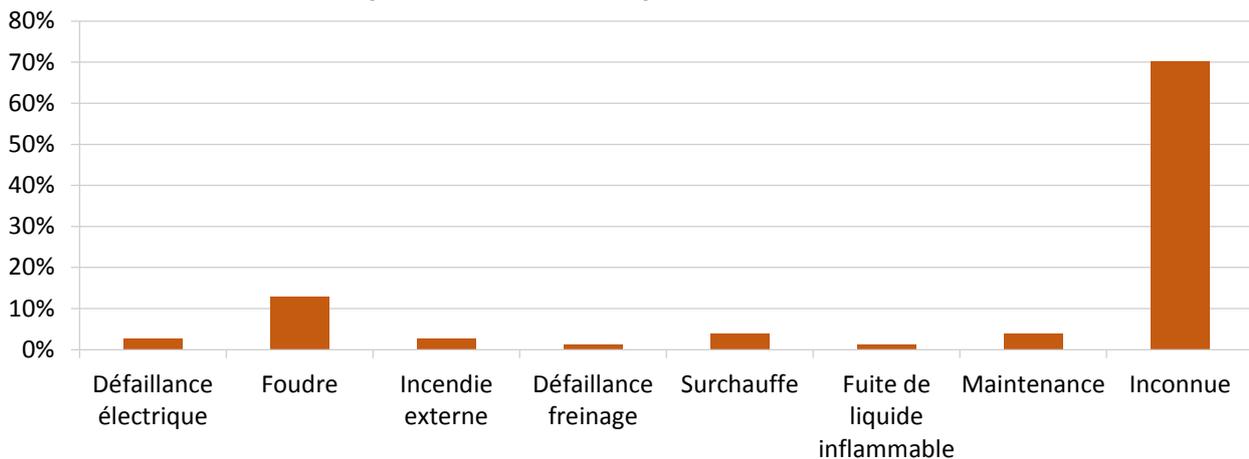
Répartition des causes premières d'effondrement



Répartition des causes premières de rupture de pale



Répartition des causes premières d'incendie



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.

VII.3. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT

Dans le cadre de ses activités, le groupe Nordex recense 1 incident majeur n'ayant eu aucun dommage corporel. Il s'agit de l'incendie en 2014 d'une éolienne sur le parc de Vent de Thiérache 02 dans les Ardennes.

L'évènement initiateur de l'incident est un défaut électrique dans les câbles de puissance reliant la nacelle au transformateur de l'éolienne. Les éoliennes du parc de Vent de Thiérache 02 sont des Nordex N100. A noter que le défaut a été corrigé sur l'ensemble des éoliennes ce par ce que des mesures de sécurité supplémentaires (contrôle des câbles de puissance) sont désormais mis en place de manière systématique et périodique par le constructeur afin qu'un tel incident ne se reproduise pas.

Les principales caractéristiques de cet incident sont présentées dans le tableau suivant et en annexe 2.

| ZONE D'EFFET | ÉVÈNEMENT INITIATEUR | PHÉNOMÈNE REDOUTE | ENSEIGNEMENTS TIRES |
|--|---|--|--|
| Limité à l'éolienne (nacelle et mât) avec chute de débris de la machine sur un rayon de quelques centaines de mètres (débris épars et volume réduit) ainsi qu'une coulée d'huiles et graisse sur la tour de la turbine | Défaut électrique dans les câbles de puissance reliant la nacelle au transformateur de l'éolienne | L'incendie pouvant entraîner la projection et/ou la chute d'éléments de l'éolienne | Mise en place de contrôles supplémentaires |

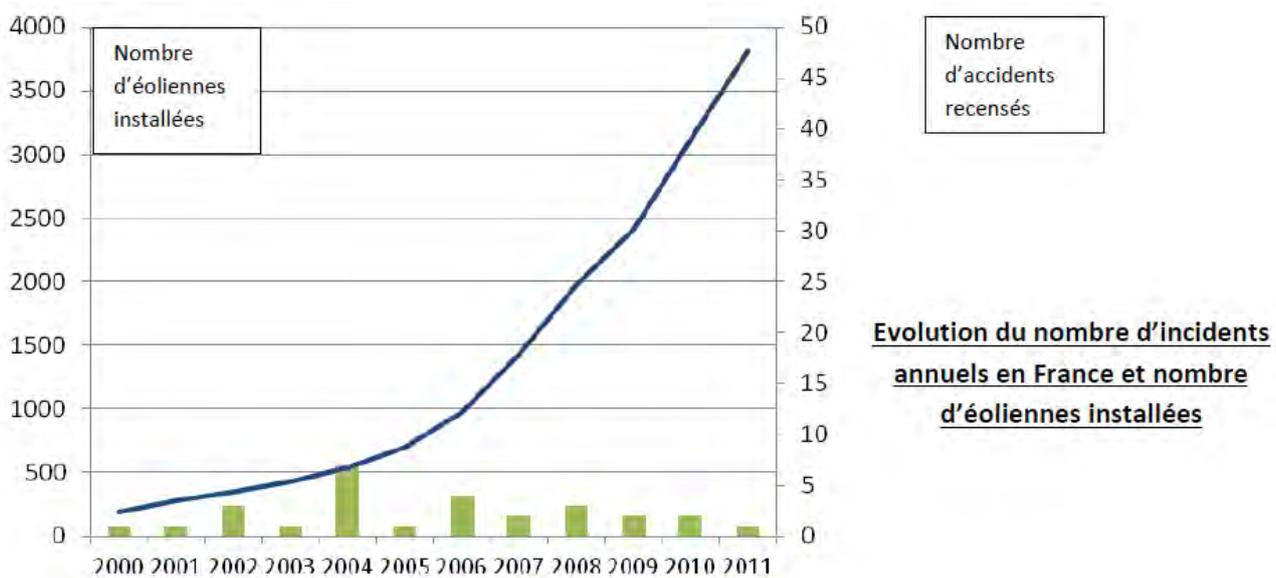
VII.4. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

VII.4.1. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION 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-après 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.



VII.4.2. 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.

VII.5. 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.

VIII. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'objectif de cette partie est de guider le lecteur dans l'analyse de risque. Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). Dans le cadre de cette étude de dangers, la méthode APR a été utilisée car elle se révèle être la plus adaptée au contexte éolien.

VIII.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accidents majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accidents 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.

VIII.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS 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.

VIII.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

VIII.3.1. AGRESSION EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES

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

| INFRASTRUCTURE | FONCTION | EVENEMENT REDOUTE | DANGER POTENTIEL | PERIMETRE CONSIDERE | DISTANCE PAR RAPPORT AU MAT DES EOLIENNES |
|---|--------------------------|---|--|---------------------|--|
| Voies de circulation structurantes | Transport | Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules | Energie cinétique des véhicules et flux thermiques | 200 m | Aucune voie de circulation structurante dans un rayon de 200 m |
| Ligne THT | Transport d'électricité | Rupture de câble | Arc électrique, surtensions | 200 m | Les éoliennes E1 et E6 sont localisées à environ 150 m d'une ligne THT |
| Autres aérogénérateurs (autres que le parc projeté) | Production d'électricité | Accident générant des projections d'éléments | Energie cinétique des éléments projetés | 500 m | Aucun aérogénérateur autre que ceux projetés dans un rayon de 500 m |
| Aérodrome | Transport aérien | Chute d'aéronef | Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique | 2 000 m | Aucun aérodrome dans un rayon de 2 000 m |

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, seule la présence d'une ligne électrique aérienne THT (400 kV) au droit des éoliennes E1 et E6, représente une source d'agression externe liée aux activités humaines.

Lors de la phase conception du projet, le maître d'ouvrage a intégré un recul de minimum 150 m vis-à-vis de ce type d'infrastructure, correspondant à une hauteur totale en bout de pale d'une éolienne projetée. Par ailleurs, les éoliennes concernées sont localisées à plus de 250 m des pylônes électriques cette ligne THT. Ces distances d'éloignement permettent de limiter le risque d'arc électrique, surtension.

Ainsi, les agressions externes potentielles liées aux activités humaines sont considérées comme négligeables dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux.

VIII.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS

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

| AGRESSION EXTERNE | INTENSITE |
|---|---|
| Tempête | Aucun évènement similaire n'a été recensé sur le territoire étudié |
| Foudre | 1,5 Ng (moyenne nationale comprise entre 1,5 et 2,5 Ng) Respect de la norme IEC 61 400-24 (juin 2010). |
| Glissements de sols/affaissement miniers | Aucun évènement similaire n'a été recensé au droit des éoliennes projetées |

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. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité n°6 ci-après (cf. VIII.6.).

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

VIII.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Le tableau page suivante présente une proposition d'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'effet attendue de ces événements.

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

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

Les différents scénarios listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience du 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).

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

Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe 3.

| N° | EVENEMENT INITIATEUR | EVENEMENT INTERMEDIAIRE | EVENEMENT REDOUTE CENTRAL | FONCTION DE SECURITE | PHENOMENE DANGEREUX | INTENSITE |
|-----|---|--|---|--|--|-----------|
| 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 |
| 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° | ÉVÉNEMENT INITIATEUR | ÉVÉNEMENT INTERMÉDIAIRE | ÉVÉNEMENT REDOUTE CENTRAL | FONCTION DE SÉCURITÉ | PHÉNOMÈNE DANGEREUX | INTENSITÉ |
|-----|--|--|-----------------------------------|--|---|-----------|
| C03 | Défaut fixation nacelle – pivot central – mât | Chute nacelle | Chute d'élément de l'éolienne | Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction/exploitation) (N° 9) | Impact sur cible | 1 |
| P01 | Survitesse | Contraintes trop 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 | Prévenir les erreurs de maintenance (N°10) | 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) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques (N°13) | Projection/chute fragments et chute mât | 2 |
| 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 |

VIII.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* ».

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

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets 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 ».

C'est la raison pour laquelle, il est proposé de négliger les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

VIII.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 le futur parc éolien des Monts Jumeaux. 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 » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité ;
- Numéro de la fonction de sécurité : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple ;
- 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 SECURITE | PREVENIR LA MISE EN MOUVEMENT DE L'EOLIENNE LORS DE LA FORMATION DE GLACE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 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 | Chaque aérogénérateur est équipé en standard d'un système de détection, qui permet d'efficacement détecter la présence de givre aussi bien sur une éolienne en rotation que sur une éolienne à l'arrêt. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site. Tous les arrêts et redémarrages des éoliennes sont enregistrés et répertoriés dans le système SCADA. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne. | | |
| Maintenance | Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR L'ATTEINTE DES PERSONNES PAR LA CHUTE DE GLACE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 2 |
|----------------------------|---|-------------------------------|---|
| Mesures de sécurité | Panneautage en pied de machine, sur le poste de livraison, ainsi que sur les voies d'accès au parc. 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% 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 SECURITE | PREVENIR L'ECHAUFFEMENT SIGNIFICATIF DES PIECES MECANQUES | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 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. | | |
| Description | Tous les principaux composants sont équipés de capteurs de température. Un certain nombre de seuils sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne. En cas de dépassement de seuils (caractéristiques sur chaque type d'aérogénérateur, type de composant et prédéfinis), des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR L'ECHAUFFEMENT SIGNIFICATIF DES PIECES MECANIQUES | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 3 |
|-------------------------|---|-------------------------------|---|
| | Tout phénomène anormal est automatiquement répertorié, tracé via le système SCADA du parc et donne lieu à des analyses et si nécessaire interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | NA. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | Vérification à chaque maintenance de la cohérence des valeurs des capteurs dédiés. | | |
| 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. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LA SURVITESSE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 4 |
|----------------------------|---|-------------------------------|---|
| Mesures de sécurité | Détection de survitesse et système de freinage. | | |
| Description | <p>Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.</p> <p>Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et d'un frein mécanique auxiliaire.</p> <p>Le frein aérodynamique est assuré par trois pales de l'éolienne, chacune équipée de contrôleurs indépendants, de moteurs de calage et d'alimentation de secours, assurant un niveau élevé de redondance.</p> <p>Le freinage aérodynamique devient effectif en pivotant les pales jusqu'à la position dite en drapeau, avec la possibilité d'obtenir différentes vitesses de calage pour éviter les efforts trop importants. Chaque système de calage est complètement indépendant. En cas de perte de réseau, les moteurs de calage sont alimentés par des jeux d'accumulateurs.</p> <p>La force de freinage liée au réglage d'une seule pale est suffisante pour ralentir l'éolienne à une vitesse sécurisée. Le système de freinage est donc trois fois redondant.</p> <p>Le système de freinage du rotor mécanique est installé sur l'arbre rapide. Il est activé en cas de défaillance partielle ou totale des systèmes de sécurité principaux et arrête le rotor conjointement au système de réglage des pales. Il est également utilisé pour immobiliser le rotor une fois celui-ci arrêté par le système de freinage aérodynamique afin de sécuriser les opérations de maintenance.</p> <p>Le système de freinage est conçu pour remplir la fonction « <i>fail safe</i> ». Cela signifie qu'en cas de dysfonctionnement d'un composant du système, l'éolienne est arrêtée en toute sécurité.</p> <p>La remise en marche n'est admissible que si la cause qui a entraîné son déclenchement a été éliminée.</p> | | |
| Indépendance | <p>Oui.</p> <p>Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc (régulation d'angle des pales).</p> <p>Le système de détection de survitesse est un système mécanique indépendant dont la fonction est dédiée à la sécurité.</p> <p>Le système coupe l'alimentation électrique des pitch. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales.</p> | | |
| Temps de réponse | <p>Temps de détection < 1 minute.</p> <p>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.</p> | | |
| 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. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LA SURVITESSE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 4 |
|----------------------|---|-------------------------------|---|
| 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. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LES COURTS-CIRCUITS | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 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 SECURITE | PREVENIR LES EFFETS DE LA Foudre | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 6 |
|----------------------------|---|-------------------------------|---|
| Mesures de sécurité | Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur. | | |
| Description | L'éolienne est pourvue d'une installation de protection anti-foudre et satisfait au degré de protection défini dans la norme internationale IEC 61024-1 II. La foudre est capturée par des récepteurs dans les pales du rotor et déviée depuis le rotor vers le mât via des contacts glissants et des éclateurs au niveau du moyeu et du châssis de la nacelle. Le courant de foudre est ainsi évacué dans le sol via des prises de terre de fondation. Des parasurtenseurs sont présents sur les circuits électriques BT. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | Immédiat dispositif passif. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | La valeur de mise à la terre est contrôlée avant la mise en service. | | |
| 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. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PROTECTION ET INTERVENTION INCENDIE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 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 au système SCADA qui émet une alarme au centre 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, qui se charge de contacter les services | | |

| FONCTION DE SECURITE | PROTECTION ET INTERVENTION INCENDIE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 7 |
|-------------------------|---|-------------------------------|---|
| | <p>d'urgence compétents.</p> <p>En outre, un système de détection incendie relié à une alarme est mis en œuvre : des détecteurs sont placés au voisinage des principaux composants électriques (transformateur, convertisseur, génératrice) et permettent, en cas de détection :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ d'arrêter l'éolienne ; ▪ d'émettre une alarme sonore afin d'informer les éventuelles équipes de maintenance en cours d'intervention dans l'éolienne ; ▪ d'émettre une alarme informant immédiatement de la survenance de l'incendie, ce qui peut lui permettre d'informer les services de secours. <p>A noter que si un incendie se déclare en nacelle ou dans le mât, le système de freinage principal de l'éolienne (frein aérodynamique par pitch) reste fonctionnel et permet la mise en arrêt de l'éolienne. Si un incendie se déclare dans le moyeu, il est considéré comme improbable qu'il entraîne simultanément, sans défaillance préalable et sans signe avant-coureur la mise hors d'état des trois systèmes autonomes et indépendants de pitch. De plus, le système de freinage secondaire d'urgence par le frein mécanique sur l'arbre du rotor ne pourrait être affecté instantanément par un incendie dans le moyeu. 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).</p> | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | < 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme. L'exploitant 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 | / | | |
| 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 fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENTION ET RETENTION DES FUTTES | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 8 |
|----------------------------|--|-------------------------------|---|
| Mesures de sécurité | Détecteurs de niveau d'huiles. Procédure d'urgence. Kit antipollution. | | |
| Description | <p>De nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence sont présents dans l'éolienne.</p> <p>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.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. <p>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.</p> | | |
| Indépendance | Oui. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENTION ET RETENTION DES FUITES | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 8 |
|-------------------------|---|-------------------------------|---|
| Temps de réponse | Dépendant du débit de fuite. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | / | | |
| Maintenance | Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LES DEFAUTS DE STABILITE DE L'ÉOLIENNE ET LES DEFAUTS D'ASSEMBLAGE (CONSTRUCTION – EXPLOITATION) | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 9 |
|----------------------------|---|-------------------------------|---|
| Mesures de sécurité | 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 « <i>Exigence pour la conception des aérogénérateurs</i> » fixe les prescriptions propres à fournir « <i>un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie</i> » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, 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 protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Les procédures de certification-type des aérogénérateurs, couplées aux procédures de qualification fournisseurs, contrôles qualité, respect scrupuleux des instructions de montage et maintenance des machines, permettent d'assurer un niveau de sécurité important. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | NA. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | NA. | | |
| 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, 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. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LES ERREURS DE MAINTENANCE | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 10 |
|----------------------------|--|-------------------------------|----|
| Mesures de sécurité | Procédure maintenance. | | |
| Description | Préconisations du manuel de maintenance. Formation du personnel de manière à prévenir les erreurs de maintenance. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | NA. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | / | | |
| Maintenance | NA. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LA DEGRADATION DE L'ÉTAT DES EQUIPEMENTS | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 11 |
|----------------------------|--|-------------------------------|----|
| Mesures de sécurité | Inspection. | | |
| Description | Toutes les pièces de l'éolienne sont protégées contre la corrosion et les autres influences néfastes de l'environnement au moyen d'un revêtement spécial à plusieurs couches. Des fonctions d'alarme sont intégrées en cas de dégradation anormale des performances aérodynamique de l'éolienne (ce qui peut être causé par une dégradation des pales). | | |
| Indépendance | Oui. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LA DEGRADATION DE L'ETAT DES EQUIPEMENTS | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 11 |
|-------------------------|---|-------------------------------|----|
| Temps de réponse | NA. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | / | | |
| Maintenance | Des contrôles visuels sont prévus lors de toutes les maintenances préventives, suivant les préconisations du manuel de maintenance. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LES RISQUES DE DEGRADATION DE L'EOLIEENNE EN CAS DE VENT FORT | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 12 |
|----------------------------|--|-------------------------------|----|
| 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 | Une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée. L'éolienne est mise à l'arrêt progressivement si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | < 1 min. | | |
| Efficacité | 100%. | | |
| Tests | Un test d'arrêt de survitesse est réalisé avant la mise en service de l'éolienne. | | |
| Maintenance | La procédure de maintenance inclut les tests d'arrêt de survitesse. | | |

| FONCTION DE SECURITE | PREVENIR LES RISQUES DE DEGRADATION DE L'EOLIEENNE EN CAS DE CYCLONES DANS LES ZONES CYCLONIQUES | N° DE LA FONCTION DE SECURITE | 13 |
|----------------------------|---|-------------------------------|----|
| Mesures de sécurité | Mise en place d'une procédure de veille cyclonique et d'intervention. Mise en œuvre d'éoliennes équipées de dispositifs anticyclonique permettant abattage et arrimage au sol des éléments les plus sensibles, en particulier les pales. | | |
| Description | L'ensemble de la structure peut être rabattu et arrimé au sol. Détection des cyclones. Formations des opérateurs. Mise en place d'une procédure d'intervention suivant les niveaux d'alerte. | | |
| Indépendance | Oui. | | |
| Temps de réponse | Une journée. | | |
| Efficacité | 100% | | |
| Tests | Formation et entraînement tous les ans avant la saison cyclonique. | | |
| Maintenance | Contrôle et entretien des équipements de repli cyclonique. | | |

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

Notamment, suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant réalisera 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.

VIII.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 SCENARIO 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 m 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 inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [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. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique. |

Les cinq catégories de scénarios étudiées dans l'étude détaillée des risques du projet éolien des Monts Jumeaux 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'accidents. En estimant la probabilité, gravité, cinétique et intensité de ces événements, il est possible de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

IX. 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.

IX.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 national relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

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

IX.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.

IX.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'effet 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.

| INTENSITE | DEGRE 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.

IX.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.

| INTENSITE / GRAVITE | ZONE D'EFFET D'UN EVENEMENT ACCIDENTEL ENGENDRANT UNE EXPOSITION TRES FORTE | ZONE D'EFFET D'UN EVENEMENT ACCIDENTEL ENGENDRANT UNE EXPOSITION FORTE | ZONE D'EFFET D'UN EVENEMENT ACCIDENTEL ENGENDRANT UNE EXPOSITION MODEREE |
|---------------------|---|--|--|
| « 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 » |

IX.1.4. PROBABILITE

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

| NIVEAUX | ECHELLE QUALITATIVE | ECHELLE QUANTITATIVE (PROBABILITE 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 :

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

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

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

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

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

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

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

IX.2. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

IX.2.1. EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE

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.

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, la zone d'effet est de 149,4 m.

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.

INTENSITE

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du projet éolien des Monts Jumeaux.

| EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À LA HAUTEUR TOTALE DE L'ÉOLIENNE EN BOUT DE PALE) | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------|
| Eolienne | Zone d'impact (Z_i) ¹ | Zone d'effet (Z_e) ² | Degré d'exposition (De) ³ | Intensité |
| E1 à E6 | 718,7 m ² | 70 121,5 m ² | 1,02% | Forte |

(1) $Z_i = ((H) \times L) + (3 \times R \times (LB/2))$ (2) $Z_e = (\pi \times (H+R)^2)$ (3) $De = (Z_i/Z_e) \times 100$ avec R la longueur de la pale ($R = 57,3$ m), H la hauteur du mât ($H = 92,8$ m), L la largeur du mât ($L = 4,04$ m) et LB la largeur à la base de la pale ($LB = 4$ m).

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, **l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne est forte** quelle que soit l'éolienne considérée. Au-delà de la zone d'effondrement, l'intensité du phénomène est nulle.

GRAVITE

En fonction de l'intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 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 ci-après 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 (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À LA HAUTEUR TOTALE DE L'ÉOLIENNE EN BOUT DE PALE) | | |
|---|----------------------------------|----------|
| Eolienne | Equivalent personnes permanentes | Gravité |
| E1 | 0,08 | Sérieuse |
| E2 | 0,08 | Sérieuse |
| E3 | 0,08 | Sérieuse |
| E4 | 0,07 | Sérieuse |
| E5 | 0,07 | Sérieuse |
| E6 | 0,07 | Sérieuse |

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité du phénomène d'effondrement de l'éolienne est **sérieuse** quelle que soit l'éolienne considérée.

PROBABILITE

Pour l'effondrement d'une éolienne, les valeurs retenues dans la littérature sont détaillées dans le tableau ci-après.

| SOURCE | FREQUENCE | 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, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ /éolienne/an.

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

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

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

- respect intégral des dispositions de la norme IEC 61 400-1 ;
- 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* ».

ACCEPTABILITE

Le tableau ci-après rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité associée et la classe de risque (acceptable/inacceptable).

| EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À LA HAUTEUR TOTALE DE L'ÉOLIENNE EN BOUT DE PALE) | | | |
|---|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Classe de Gravité</i> | <i>Niveau de risque</i> | <i>Acceptabilité</i> |
| E1 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |
| E2 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |
| E3 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |
| E4 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |
| E5 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |
| E6 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |

Ainsi, dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, le phénomène d'effondrement de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes quelle que soit l'éolienne considérée.

IX.2.2. CHUTE DE GLACE

CONSIDERATIONS 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 projet éolien des Monts Jumeaux, la zone d'effet a donc un rayon de 58,4 m. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

INTENSITE

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 des Monts Jumeaux.

| CHUTE DE GLACE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À LA HAUTEUR TOTALE DE L'ÉOLIENNE EN BOUT DE PALE) | | | | |
|---|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| Eolienne | Zone d'impact (Zi) ¹ | Zone d'effet (Ze) ² | Degré d'exposition (De) ³ | Intensité |
| E1 à E6 | 1 m ² | 10 314,8 m ² | 0,01 | Modérée |

(1) $Z_i = SG$ (2) $Z_e = \pi \times R^2$ (3) $De = (Z_i/Z_e) \times 100$ avec R la longueur de la pale ($R = 57,3$ m) et SG la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²). La zone d'impact est calculée pour un morceau de glace d'une surface de 1 m² de façon à majorer la zone d'impact et donc le degré d'exposition.

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, l'intensité du phénomène de chute de glace est modérée quelle que soit l'éolienne considérée. Au-delà de la zone de survol, l'intensité du phénomène de chute de glace est nulle.

GRAVITE

En fonction de l'intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.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 → « Désastreuse » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Importante » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieuse » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modérée ».

Le tableau ci-après 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 (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À D/2 = ZONE DE SURVOL) | | |
|--|----------------------------------|---------|
| Eolienne | Equivalent personnes permanentes | Gravité |
| E1 | 0,01 | Modérée |
| E2 | 0,01 | Modérée |
| E3 | 0,01 | Modérée |
| E4 | 0,01 | Modérée |
| E5 | 0,01 | Modérée |
| E6 | 0,01 | Modérée |

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité du phénomène de chute de glace est modérée quelle que soit l'éolienne considérée.

PROBABILITE

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

ACCEPTABILITE

Le tableau ci-après rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable).

| CHUTE DE GLACE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À D/2 = ZONE DE SURVOL) | | | |
|--|----------------|-------------------------|----------------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Gravité</i> | <i>Niveau de risque</i> | <i>Acceptabilité</i> |
| E1 | Modérée | Faible | Acceptable |
| E2 | Modérée | Faible | Acceptable |
| E3 | Modérée | Faible | Acceptable |
| E4 | Modérée | Faible | Acceptable |
| E5 | Modérée | Faible | Acceptable |
| E6 | Modérée | Faible | Acceptable |

Ainsi, dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, le phénomène de chute de glace de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes quelle que soit l'éolienne considérée.

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

IX.2.3. CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE

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'éléments 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 dans le cas du présent projet éolien. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

INTENSITE

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 projet éolien des Monts Jumeaux.

| CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À D/2 = ZONE DE SURVOL) | | | | |
|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|------------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Zone d'impact (Zi)¹</i> | <i>Zone d'effet (Ze)²</i> | <i>Degré d'exposition (De)³</i> | <i>Intensité</i> |
| E1 à E6 | 114,6 m ² | 10 314,8 m ² | 1,11% | Forte |

(1) $Z_i = R \times (LB/2)$ (2) $Z_e = \pi \times R^2$ (3) $De = (Z_i/Z_e) \times 100$ avec R la longueur de la pale ($R = 57,3$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 4$ m).

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne est forte quelle que soit l'éolienne considérée. Au-delà de la zone de survol, l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne est nulle.

GRAVITE

En fonction de l'intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne, 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 de glace et la gravité associée.

| CHUTE D'ÉLEMENTS DE L'ÉOLIENNE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À D/2 = ZONE DE SURVOL) | | |
|--|---|----------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Equivalent personnes permanentes</i> | <i>Gravité</i> |
| E1 | 0,01 | Sérieuse |
| E2 | 0,01 | Sérieuse |
| E3 | 0,01 | Sérieuse |
| E4 | 0,01 | Sérieuse |
| E5 | 0,01 | Sérieuse |
| E6 | 0,01 | Sérieuse |

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, la **gravité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne est sérieuse** quelle que soit l'éolienne considérée.

PROBABILITE

Peu d'éléments sont disponibles dans la littérature pour évaluer la fréquence des événements de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes. Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit $4,47 \times 10^{-4}$ 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 » : « *Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité* ».

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

ACCEPTABILITE

Le tableau ci-après rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable).

| CHUTE D'ÉLEMENTS DE L'ÉOLIENNE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À D/2 = ZONE DE SURVOL) | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Classe de Gravité</i> | <i>Niveau de risque</i> | <i>Acceptabilité</i> |
| E1 | Sérieuse | Faible | Acceptable |
| E2 | Sérieuse | Faible | Acceptable |
| E3 | Sérieuse | Faible | Acceptable |

| CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE (DANS UN RAYON INFÉRIEUR OU ÉGAL À D/2 = ZONE DE SURVOL) | | | |
|--|-------------------|------------------|---------------|
| Eolienne | Classe de Gravité | Niveau de risque | Acceptabilité |
| E4 | Sérieuse | Faible | Acceptable |
| E5 | Sérieuse | Faible | Acceptable |
| E6 | Sérieuse | Faible | Acceptable |

Ainsi, dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes quelle que soit l'éolienne considérée.

IX.2.4. PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE

ZONE D'EFFET

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale pour une projection de fragment de pale est de 380 m par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [3].

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

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

INTENSITE

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.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale dans le cas du projet éolien des Monts Jumeaux.

| PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE (ZONE DE 500 M AUTOUR DE CHAQUE EOLIENNE) | | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| Eolienne | Zone d'impact (Zi) ¹ | Zone d'effet (Ze) ² | Degré d'exposition (De) ³ | Intensité |
| E1 à E6 | 114,6 m ² | 785 398,2 m ² | 0,01% | Modérée |

(1) $Zi = R \times (LB/2)$ (2) $Ze = \pi \times 500^2$ (3) $De = (Zi/Ze) \times 100$ avec R la longueur de la pale (R = 57,3 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 4 m).

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, l'intensité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale est modérée quelle que soit l'éolienne considérée.

GRAVITE

En fonction de l'intensité et des définitions issues du paragraphe IX.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 → « Désastreuse » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;

- Entre 10 et 100 personnes exposées → « *Importante* » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « *Sérieuse* » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « *une personne* » → « *Modérée* ».

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

| PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE (ZONE DE 500 M AUTOUR DE CHAQUE EOLIENNE) | | |
|--|---|----------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Equivalent personnes permanentes</i> | <i>Gravité</i> |
| E1 | 2,86 | Sérieuse |
| E2 | 0,88 | Modérée |
| E3 | 0,86 | Modérée |
| E4 | 0,89 | Modérée |
| E5 | 0,87 | Modérée |
| E6 | 0,83 | Modérée |

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, **la gravité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale est modérée pour les éoliennes E2 à E6 et sérieuse pour l'éolienne E1**. Cette différence est liée à la présence des bâtiments agricoles dans la zone d'effet.

PROBABILITE

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

| SOURCE | FREQUENCE | 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* ».

ACCEPTABILITE

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable).

| PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE (ZONE DE 500 M AUTOUR DE CHAQUE EOLIENNE) | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Classe de Gravité</i> | <i>Niveau de risque</i> | <i>Acceptabilité</i> |
| E1 | Sérieuse | Très faible | Acceptable |
| E2 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E3 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E4 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E5 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E6 | Modérée | Très faible | Acceptable |

Ainsi, dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, le phénomène de projection de tout ou partie de pale de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes quelle que soit l'éolienne considérée.

IX.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 :

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

Cette distance de projection est jugée conservatrice 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.

Dans le cadre du présent projet éolien, la zone d'effet est de 311,7 m.

INTENSITE

Pour le phénomène de projection 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.

Le tableau ci-après permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du projet éolien des Monts Jumeaux.

| PROJECTION DE GLACE (DANS UN RAYON DE $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ AUTOUR DE L'ÉOLIENNE) | | | | |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------|
| Eolienne | Zone d'impact (Z_i) ¹ | Zone d'effet (Z_e) ² | Degré d'exposition (De) ³ | Intensité |
| E1 à E6 | 1 m ² | 305 227,4 m ² | 0,0003% | Modérée |

(1) $Z_i = SG$ (2) $Z_e = \pi \times (1,5 \times (Hm + D))^2$ (3) $De = (Z_i/Z_e) \times 100$ avec SG la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$), Hm la hauteur du moyeu ($Hm = 91 \text{ m}$) et D le diamètre du rotor ($D = 116,8 \text{ m}$). La zone d'impact est calculée pour un morceau de glace d'une surface de 1 m^2 de façon à majorer la zone d'impact et donc le degré d'exposition.

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, l'intensité du phénomène de projection de glace est modérée quelle que soit l'éolienne considérée.

GRAVITE

En fonction de l'intensité et des définitions issues du paragraphe IX.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 → « Désastreuse » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Importante » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieuse » ;
- 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 sont pas comptabilisées pour le calcul de la gravité.

Le tableau ci-après indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de glace et la gravité associée.

| PROJECTION DE GLACE (DANS UN RAYON DE $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ AUTOUR DE L'ÉOLIENNE) | | |
|--|----------------------------------|---------|
| Eolienne | Equivalent personnes permanentes | Gravité |
| E1 | 0,34 | Modérée |
| E2 | 0,34 | Modérée |
| E3 | 0,34 | Modérée |
| E4 | 0,33 | Modérée |
| E5 | 0,34 | Modérée |
| E6 | 0,33 | Modérée |

Dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, la gravité du phénomène de projection de glace est modérée quelle que soit l'éolienne considérée.

PROBABILITE

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 proposée pour cet événement.

ACCEPTABILITE

Le tableau ci-après rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien de des Monts Jumeaux, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable).

| PROJECTION DE GLACE (DANS UN RAYON DE RPG = 1,5 x (H+D) AUTOUR DE L'ÉOLIENNE) | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| <i>Eolienne</i> | <i>Classe de Gravité</i> | <i>Niveau de risque</i> | <i>Acceptabilité</i> |
| E1 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E2 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E3 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E4 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E5 | Modérée | Très faible | Acceptable |
| E6 | Modérée | Très faible | Acceptable |

Ainsi, dans le cadre du projet éolien des Monts Jumeaux, **le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes quelle que soit l'éolienne considérée.**

IX.3. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES**IX.3.1. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS**

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité.

Les éoliennes ayant le même profil de risque sont regroupées.

| SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|------------------|
| <i>Scénario</i> | <i>Eolienne</i> | <i>Zone d'effet</i> | <i>Cinétique</i> | <i>Intensité</i> | <i>Probabilité</i> | <i>Gravité</i> | <i>Référence</i> |
| Effondrement de l'éolienne | E1 à E6 | 149,4 m | Rapide | Forte | D (Rare) | Sérieuse | 01 |
| Chute d'éléments de l'éolienne | E1 à E6 | 58,4 m | Rapide | Forte | C (Improbable) | Sérieuse | 02 |
| Chute de glace | E1 à E6 | 58,4 m | Rapide | Modérée | A (Courant) | Modérée | 03 |
| Projection de pale | E1 | 500 m | Rapide | Modérée | D (Rare) | Modérée | 04a |
| | E2 à E6 | 500 m | Rapide | Modérée | D (Rare) | Sérieuse | 04b |
| Projection de glace | E1 à E6 | 311,7 m | Rapide | Modérée | B (Probable) | Modérée | 05 |

IX.3.2. SYNTHÈSE DE L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

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.

| GRAVITE DES CONSEQUENCES | CLASSE DE PROBABILITE | | | | |
|--------------------------|-----------------------|----------|----|----|----|
| | E | D | C | B | A |
| DESASTREUSE | | | | | |
| CATASTROPHIQUE | | | | | |
| IMPORTANTE | | | | | |
| SERIEUSE | | 01 ; 04a | 02 | | |
| MODEREE | | 04b | | 05 | 03 |

Légende de la matrice :

| NIVEAU DE RISQUE | COULEUR/ ACCEPTABILITE |
|--------------------|------------------------|
| RISQUE TRES FAIBLE | Acceptable |
| RISQUE FAIBLE | Acceptable |
| RISQUE IMPORTANT | Non acceptable |

Dans un premier temps, il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée qu'aucun accident ne présente un risque important.

Dans un second temps, il apparaît que seuls les risques de chute d'éléments et de chute de glace de l'éolienne présentent un risque faible. Il convient de souligner, pour ces accidents, que les fonctions de sécurité listées précédemment sont mises en place.

Ainsi, les résultats de l'étude détaillée des risques ont permis de démontrer que tous les risques identifiés, et cela pour l'ensemble des aérogénérateurs du projet éolien des Monts Jumeaux, sont jugés « *acceptables* ».

IX.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

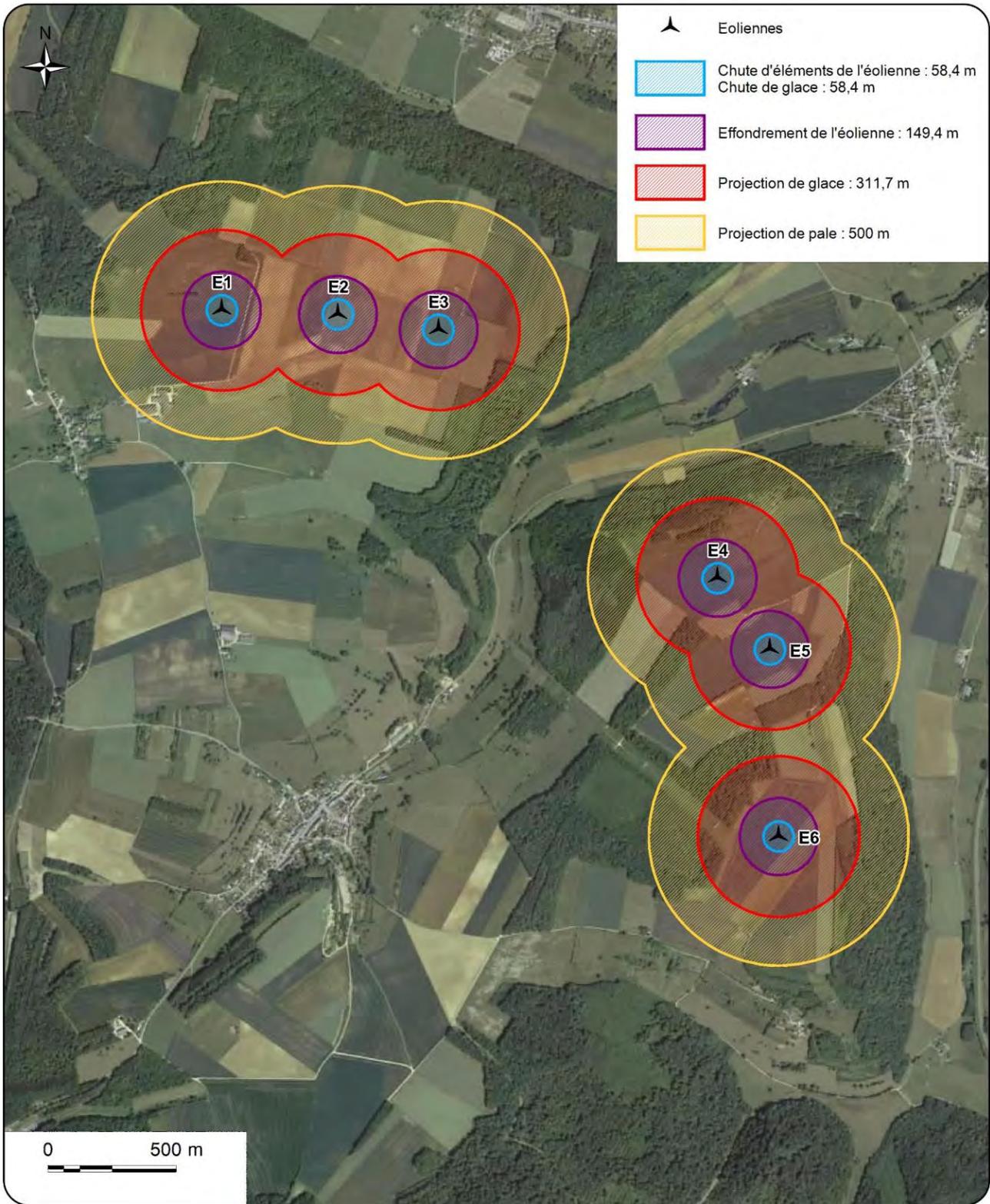
Les cartographies pages suivantes, synthétisent pour chaque aérogénérateur et pour chaque scénario, les éléments suivants :

- l'intensité des différents phénomènes dangereux dans les zones d'effet de chaque phénomène dangereux ;
- le nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) exposées par zone d'effet ;
- la probabilité et la gravité des scénarios identifiés.



PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

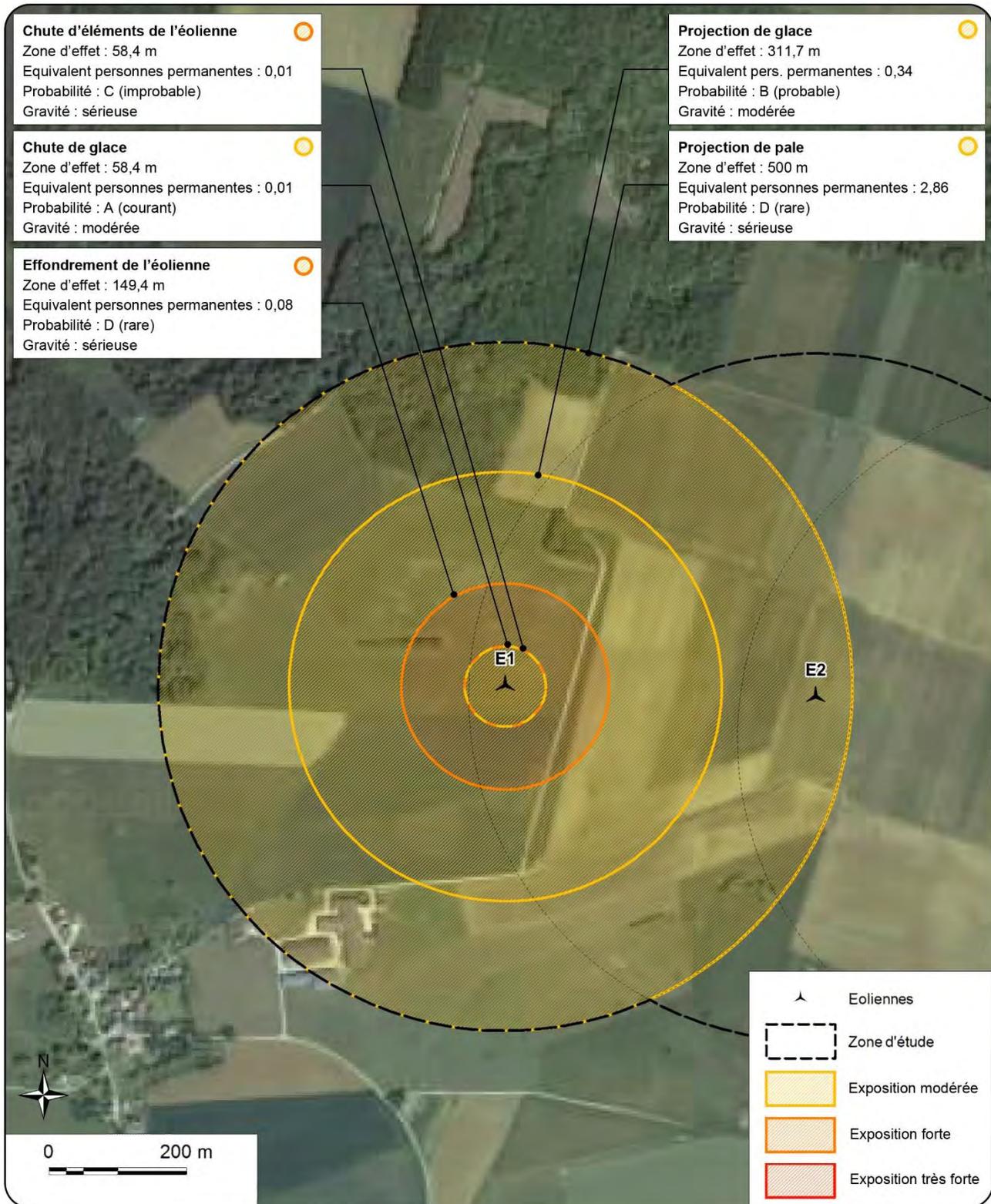
Synthèse des zones d'effet





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

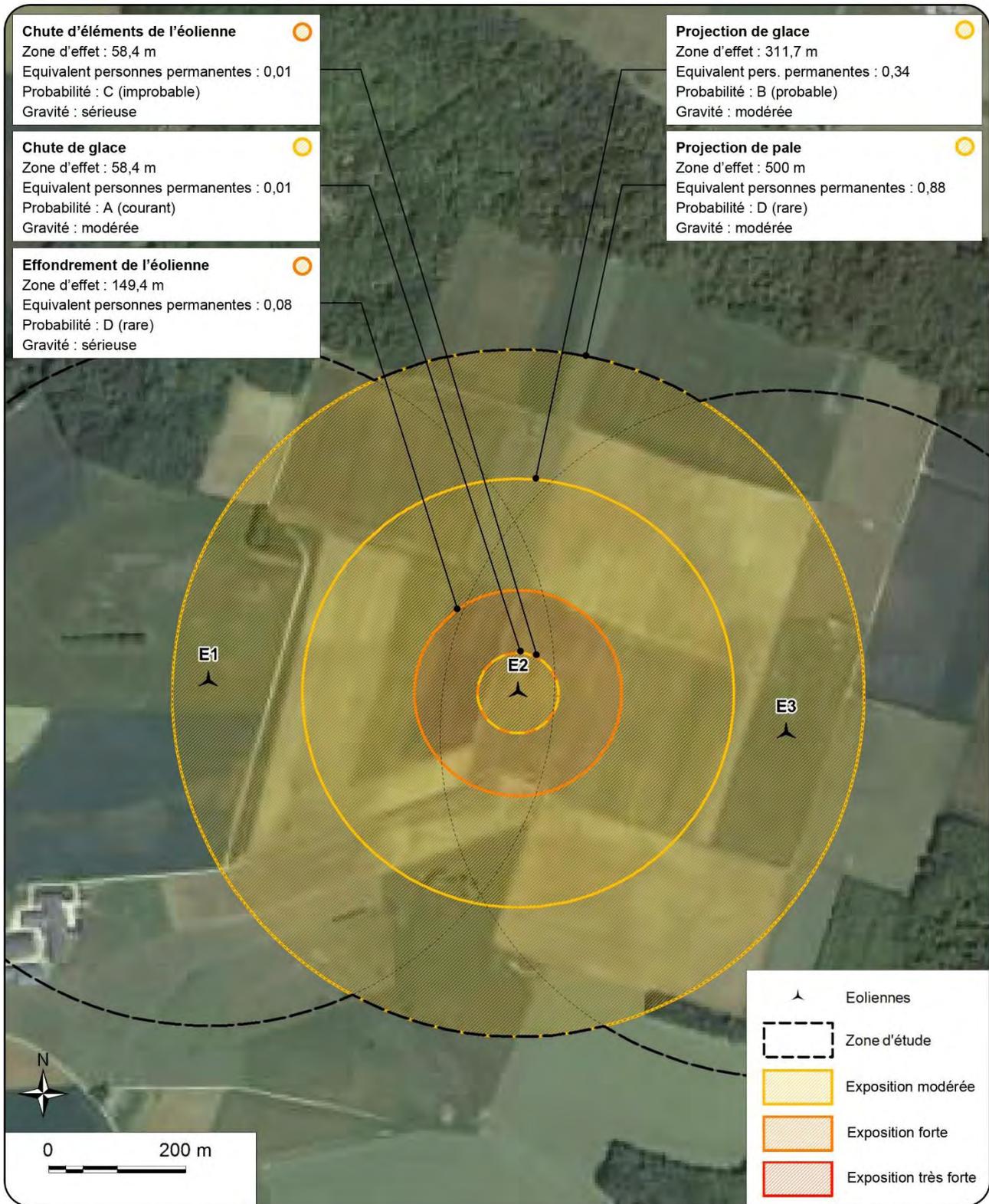
Synthèse des risques : éolienne E1





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

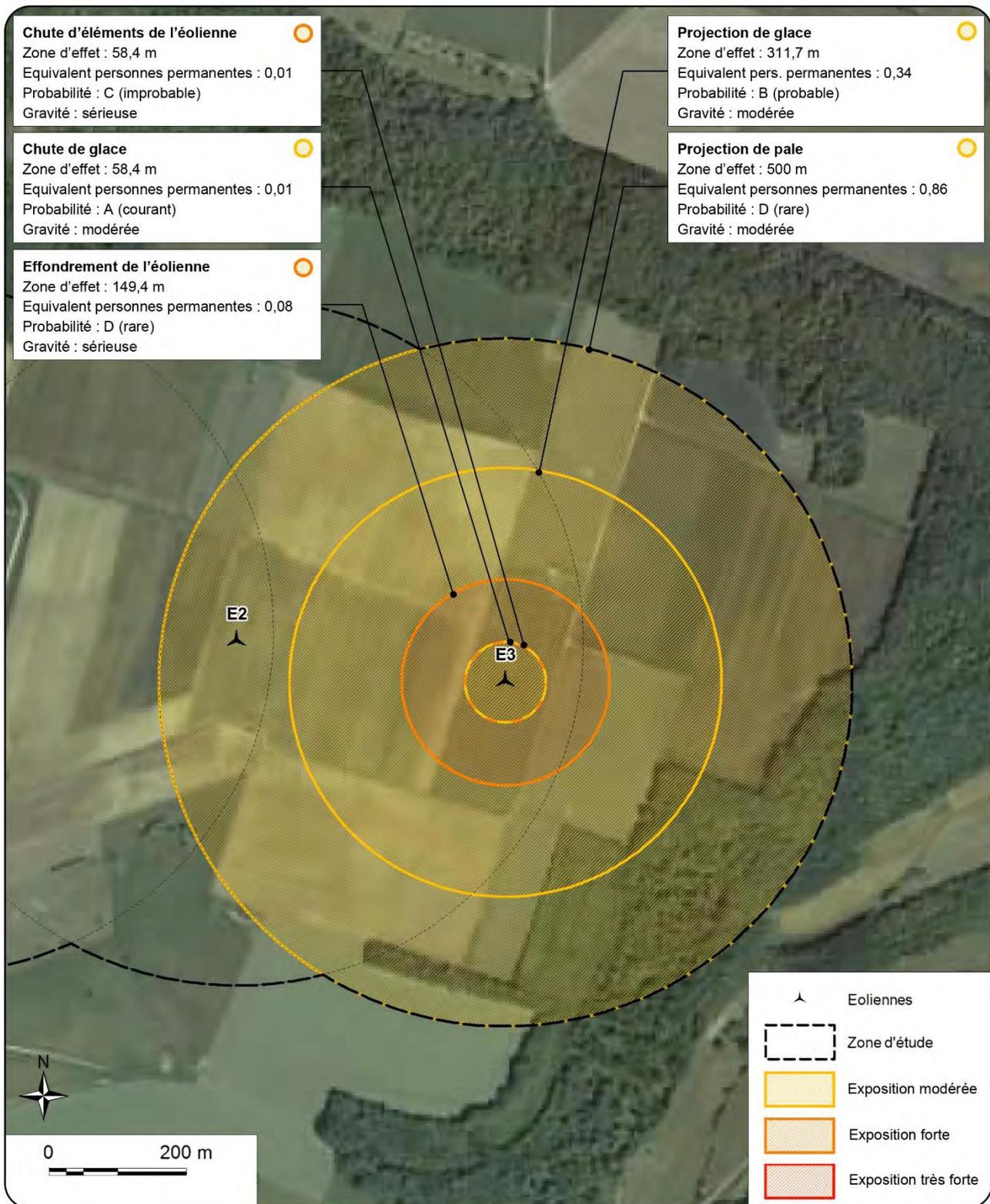
Synthèse des risques : éolienne E2





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

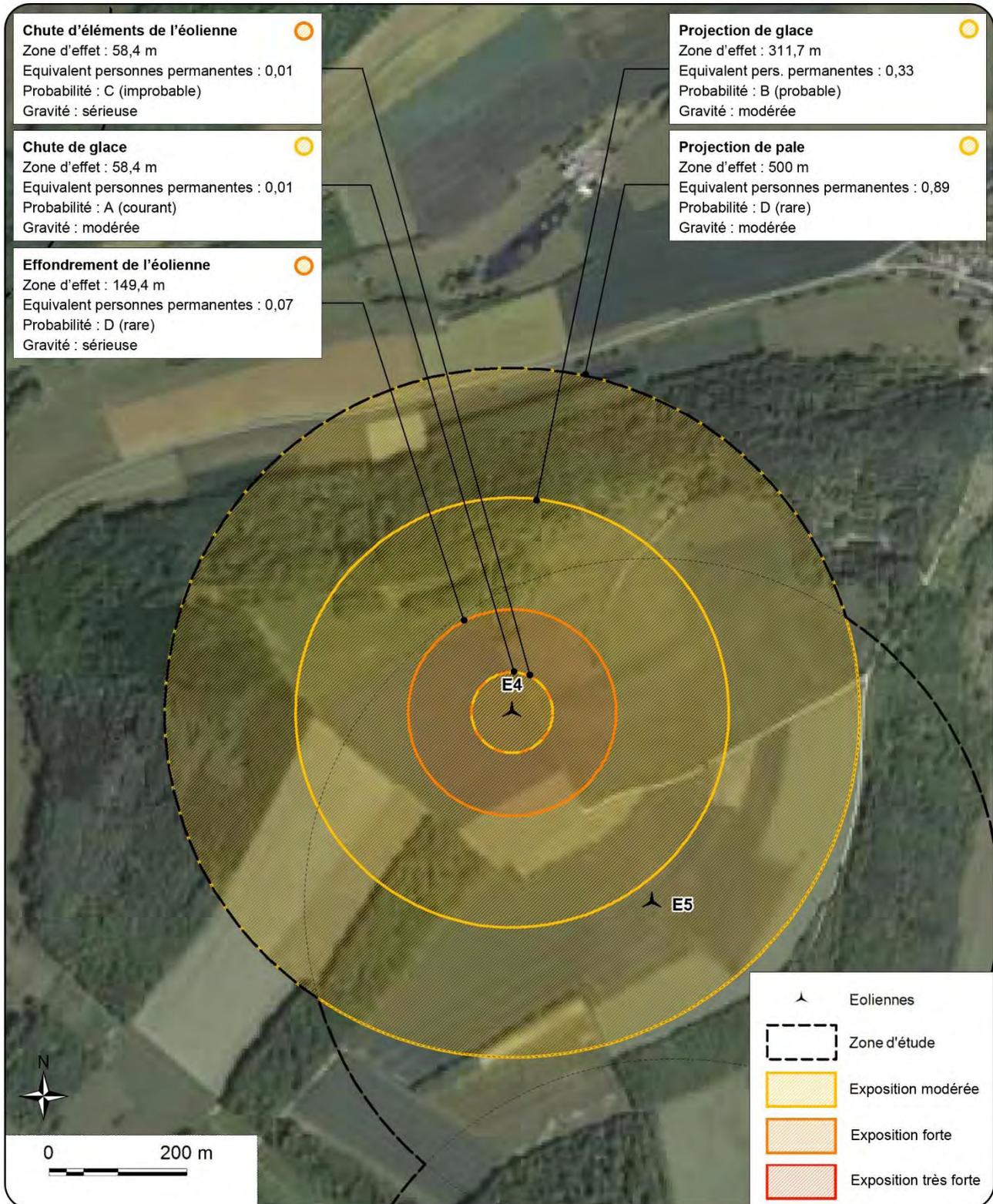
Synthèse des risques : éolienne E3





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

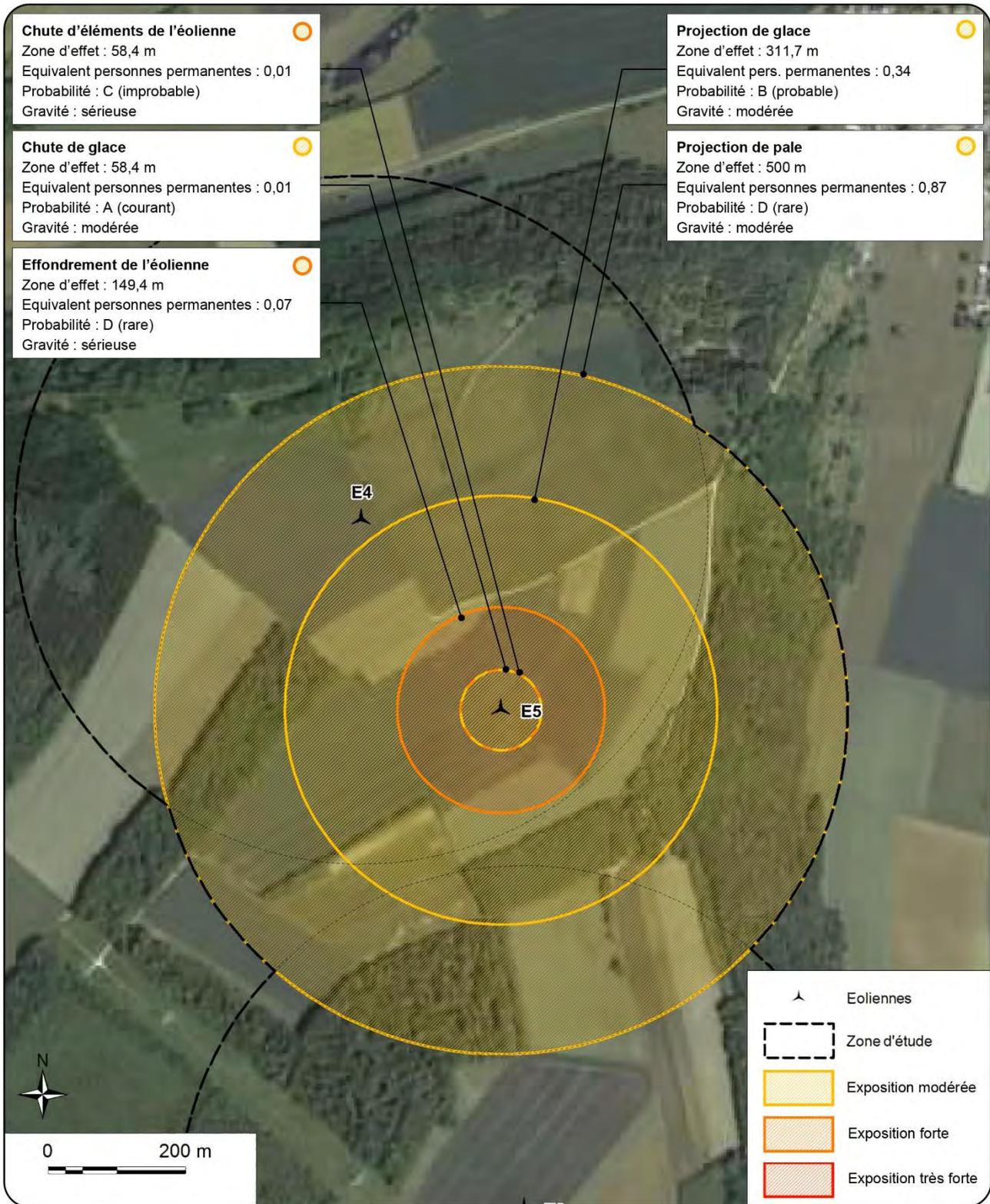
Synthèse des risques : éolienne E4





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

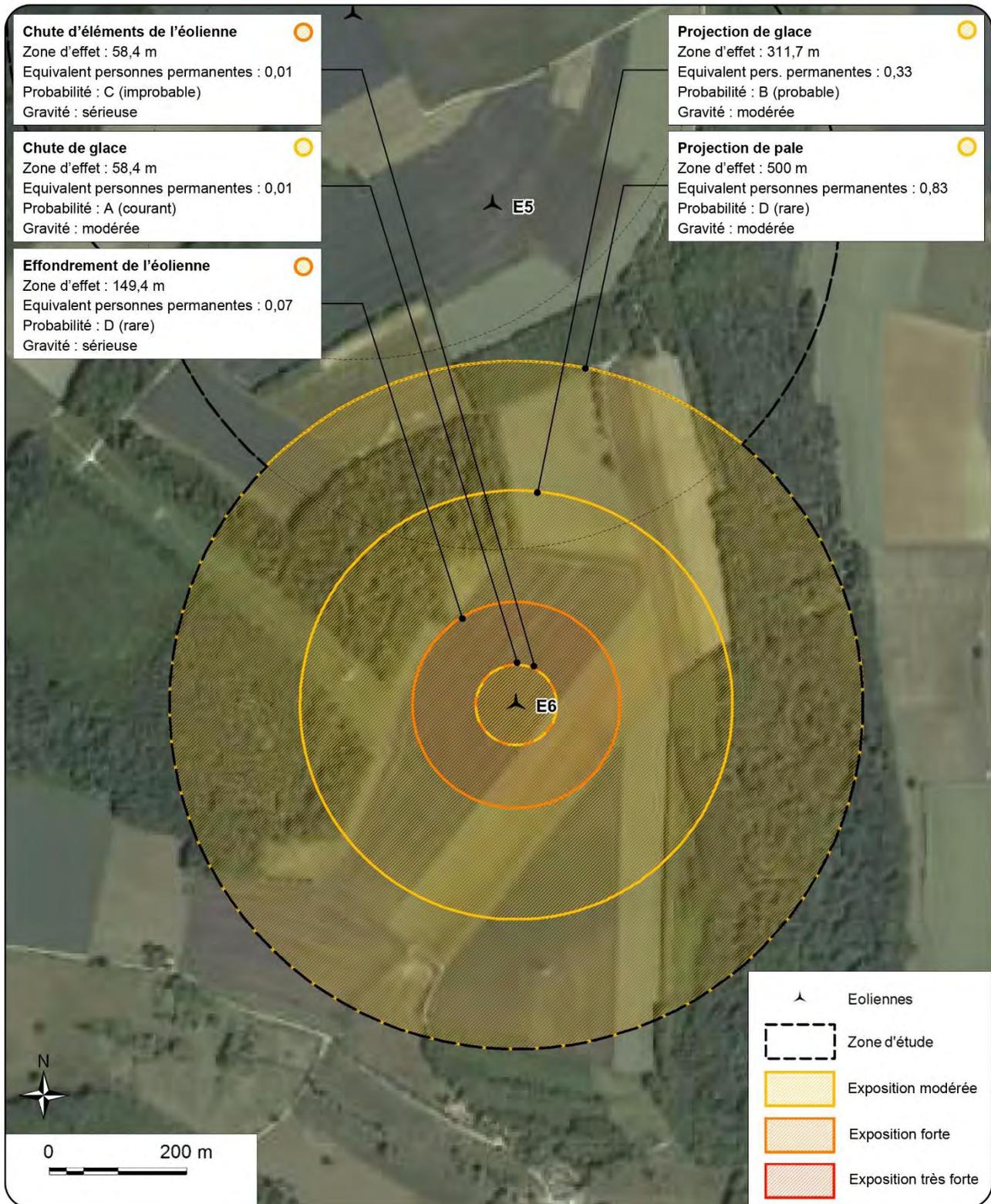
Synthèse des risques : éolienne E5





PROJET ÉOLIEN DES MONTS JUMEAUX

Synthèse des risques : éolienne E6



X. CONCLUSION GENERALE DE L'ETUDE

Conçu dans le respect de l'environnement et de la réglementation en vigueur, l'étude de dangers du projet éolien des Monts Jumeaux, s'est attachée à recenser les diverses infrastructures et activités présentes dans l'environnement des éoliennes sur le site, et à rendre compte de l'ensemble des démarches réalisées pour concevoir le projet, analyser les dangers inhérents et présenter les mesures de sécurité prises.

Les différentes activités et infrastructures, présentes dans la zone d'étude des 500 m autour des installations éoliennes, ont fait l'objet d'une attention particulière afin de déterminer le niveau de risque pour chaque installation. Ainsi, la surface agricole, les fréquentations des routes et chemins, ont été répertoriées et comptabilisées pour permettre d'affiner l'intensité et la gravité par type d'accident, développées dans l'analyse des risques.

L'étude des accidents ayant eu lieu en Europe et dans le monde indique que les probabilités d'accidents liés au fonctionnement d'un parc éolien sont très faibles et qu'ils prennent leur origine le plus souvent dans des défauts de conception de fondations, des modifications du modèle initial du constructeur, ou une mauvaise utilisation du système de sécurité visant à éviter la survitesse de rotation du rotor. Les accidents sont le plus souvent liés à des conditions climatiques particulières.

Le recensement des potentiels de dangers et cette analyse de l'accidentologie ont permis de répertorier et classer les différents types et occurrences de phénomènes, afin de retenir 5 scénarios majeurs redoutés dans la suite de l'étude de dangers (effondrement de l'éolienne, chute d'éléments ou de glace, projection d'éléments ou de glace). L'analyse des risques a ainsi pu rendre compte pour chaque phénomène étudié le niveau de risque associé à chaque éolienne dans son environnement.

Les calculs précis effectués pour chaque aérogénérateur, dans les périmètres définis pour chaque scénario retenu dans l'analyse des risques, ont permis de définir comme acceptables les risques d'accidents. Il est important de noter que la plupart des éléments nécessaires aux calculs des zones d'impacts ont été majorés afin de ne pas sous-estimer l'intensité et la gravité des phénomènes retenus dans l'analyse des risques.

La conception du parc éolien s'appuie sur un ensemble de mesures préventives afin de prévenir tous les risques potentiels. Ces mesures s'appliquent en amont du projet en définissant des zones d'exclusion et en se confortant à toutes les exigences du constructeur, garantissant un niveau très élevé de sûreté. La phase de chantier intègre également un ensemble de procédures qui visent à réaliser les travaux conformément aux plans établis, à relever toute défaillance, à assurer la sécurité des personnes et des tiers sur le chantier.

La mise en place des mesures préventives doit complètement éviter que des accidents se produisent sur le parc. De plus, un protocole de maintenance apte à prévenir en amont tout défaut de fonctionnement des éoliennes est organisé entre le constructeur des éoliennes et la société d'exploitation du parc. Ce contrat de maintenance est un préalable nécessaire à la création du parc qui apporte toutes les garanties de solidité exigées par l'exploitant, les investisseurs et les assureurs.

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 (Chapitre D), 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 (Chapitre IX).

TERRAINS NON BATIS

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 = $0,4 \times 0,5 \times 20\,000/100 = 40$ personnes.

| Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic | | | | | | | | | | | |
|--|--------|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | | Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m) | | | | | | | | | |
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| Trafic (en véhicules/jour) | 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 se rencontreront peu en pratique.

ZONES D'ACTIVITE

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 présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et début 2014. L'analyse de ces données est présentée dans le Chapitre VI.

| TYPE D'ACCIDENT | DATE | NOM DU PARC | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE 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 caractériser 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) | - |
| 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 |

| TYPE D'ACCIDENT | DATE | NOM DU PARC | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE DE DANGERS |
|----------------------------|------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|---------------------|---|--|--|---|
| 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 | - |
| Rupture de pale | 2005 | Wormhout | Nord | 0,4 | 1997 | Non | Bris de pale | | Site Vent de Colère | Information peu précise |

| TYPE D'ACCIDENT | DATE | NOM DU PARC | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNO-LOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE DE DANGERS |
|-----------------|------------|-------------------------------------|-------------|--------------------|-----------------|----------------------|---|---|---|---|
| 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 | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE 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 | Bollène | 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 | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE 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 | Freysenet | 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 entraînant 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 | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE 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) |
| Rupture de pale | 04/01/2012 | 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 | - |

| TYPE D'ACCIDENT | DATE | NOM DU PARC | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE DE DANGERS |
|-----------------|------------|---------------------------|--------------|--------------------|-----------------|---------------------|--|--|----------------------------|---|
| Maintenance | 06/02/2012 | Lehaucourt-Gricourt | Aisne | 2 | 2008 | Oui | Lors d'une opération de maintenance dans la nacelle, un arc électrique (690 V) blesse deux sous-traitants, l'un gravement et l'autre légèrement. | Non précisée | Base de données ARIA | Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance) |
| Rupture de pale | 11/04/2012 | Corbières-Maritimes | Aude | 0,66 | 2000 | Non | Projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne). | Foudre | Base de données ARIA | - |
| Chute de pale | 18/05/2012 | Chemin d'Ablis | Eure-et-Loir | 2 | 2008 | Oui | Une des trois pales de l'éolienne s'est décrochée. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne). | Rupture du roulement qui raccordait la pale au rotor. Présence de traces de corrosion. | Base de données ARIA | - |
| Effondrement | 30/05/2012 | Corbières-Maritimes | Aude | 0,2 | 1991 | Non | 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. | Tempête | Base de données ARIA | - |
| Rupture de pale | 01/11/2012 | Rézentières-Vieillespesse | Cantal | 2,5 | 2011 | Oui | Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât. | Non précisée | Base de données ARIA | - |
| Incendie | 05/11/2012 | Corbières-Maritimes | Aude | 0,66 | 2000 | Non | L'incendie s'est déclaré en partie basse de l'éolienne. Les flammes ont ensuite atteint la nacelle. | Non précisée | Base de données ARIA | - |
| Chute de pale | 06/03/2013 | Escales-Conilhac | Aude | 0,75 | 2003 | Non | Une des trois pales de l'éolienne s'est décrochée. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne). | Problème de fixation de la pale. | Base de données ARIA | - |

| TYPE D'ACCIDENT | DATE | NOM DU PARC | DEPARTEMENT | PUISSAN-CE (EN MW) | MISE EN SERVICE | TECHNOLOGIE RECENTE | DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ACCIDENT ET DEGATS | CAUSE PROBABLE DE L'ACCIDENT | SOURCE(S) DE L'INFORMATION | COMMENTAIRE PAR RAPPORT A L'UTILISATION DANS L'ETUDE DE DANGERS |
|-----------------|------------|-------------------------------|-------------|--------------------|-----------------|---------------------|--|------------------------------|----------------------------------|--|
| Incendie | 17/03/2013 | Fère-Champenois e-Euvy-Corroy | Marne | 2,5 | 2011 | Oui | L'incendie s'est déclaré dans la nacelle de l'éolienne. L'incendie a entraîné la chute d'une des trois pales. | Non communiquée | Base de données ARIA | - |
| Maintenance | 01/07/2013 | Haut-Languedoc | Hérault | 1,3 | 2006 | Oui | Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. | Erreur de maintenance | Base de données ARIA | Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance) |
| Maintenance | 03/08/2013 | Moréac | Morbihan | 0,04 | 2000 | Non | Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique. | Erreur de maintenance | Base de données ARIA | Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes) |
| Incendie | 09/01/2014 | Vent de Thiérache 02 | Ardennes | 2,5 | 2013 | Oui | L'incendie s'est déclaré dans la tour de l'éolienne, au niveau des câbles de puissance puis s'est propagé le long du mât pour atteindre la nacelle qui a pris feu. | Défaillance électrique | Accident sur une éolienne Nordex | - |

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 par le groupe de travail technique dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques. Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans le Chapitre H. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes.

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).

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES LIES A 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 redémarrages de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement simultanément à une défaillance des systèmes de détection de givre et de balourd.

Aux faibles vitesses de 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.

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'INCENDIE (I01 A I07)

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

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

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

- découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;
- déterminer à l'aide de 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'emballlement 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, entraînant l'arrêt des éoliennes ;
- basculement automatique de l'alimentation principale sur l'alimentation de secours (batteries) pour arrêter les aérogénérateurs et assurer la communication vers le superviseur.

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

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

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

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

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE FUITES (F01 A 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 :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE CHUTE D'ÉLÉMENTS (C01 A 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.

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES (P01 A 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 dans la partie « 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

Scénario P03

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

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'EFFONDREMENT DES EOLIENNES (E01 A 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 est le produit de plusieurs probabilités :

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

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

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

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

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

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

Par souci de simplification, la probabilité d’accident sera calculée en multipliant la borne supérieure de la classe de probabilité de l’événement redouté central par le degré d’exposition. Celui-ci est défini comme le ratio entre la surface de l’objet chutant ou projeté et la zone d’effet du phénomène.

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

| EVENEMENT REDOUTE CENTRAL | BORNE SUPERIEURE DE LA CLASSE DE PROBABILITE DE L’ERC (POUR LES EOLIENNES RECENTES) | DEGRE D’EXPOSITION | PROBABILITE D’ATTEINTE |
|--------------------------------------|---|---------------------|-------------------------|
| Effondrement | 10^4 | 10^{-2} | 10^{-6} (E) |
| Chute de glace | 1 | $5 \cdot 10^{-2}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ (A) |
| Chute d’éléments | 10^{-3} | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ (D) |
| Projection de tout ou partie de pale | 10^{-4} | 10^{-2} | 10^{-6} (E) |
| Projection de morceaux de glace | 10^{-2} | $1,8 \cdot 10^{-6}$ | $1,8 \cdot 10^{-8}$ (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 et 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.

Ces définitions sont couramment utilisées dans le domaine de l'évaluation des risques en France.

Acceptabilité : Caractérise, au vu de la réglementation en vigueur, le niveau acceptable ou non des conséquences des phénomènes dangereux associés à un scénario identifié, au vu de leur probabilité et de leur gravité.

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

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

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

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

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

Parc éolien : Ensemble des aérogénérateurs et installations annexes (poste de livraison, réseau câblé, ...) implantés sur le site et étudié dans le cadre de la présente étude de dangers.

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 exposés, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;

2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

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

- réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité ;
- réduction de l'intensité :
 - par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc
 - réduction des dangers: la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation

La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».

- réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

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

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

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.

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 :

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

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 et al;
- [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., Leteurtois 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.

ANNEXE 7 – DESCRIPTION TECHNIQUE DES AEROGENERATEURS NORDEX N117



Descriptif technique

Nordex N117/2400

Version gamma

© Nordex Energy GmbH, Langenhorner Chaussee 600, 22419 Hamburg, Allemagne
Tous droits réservés. Respecter la note de protection ISO 16016.

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Conception technique | 4 |
| 1.1 | Conditions climatiques du projet | 4 |
| 1.2 | Schéma du flux d'énergie d'une éolienne | 5 |
| 1.3 | Montage d'une éolienne | 6 |
| 2 | Rotor | 11 |
| 2.1 | Moyeu du rotor | 11 |
| 2.2 | Pale de rotor | 12 |
| 2.3 | Système à pas | 14 |
| 3 | Train d'entraînement | 15 |
| 3.1 | Arbre du rotor | 16 |
| 3.2 | Multiplicateur | 16 |
| 3.3 | Coupleur | 16 |
| 3.4 | Génératrice | 16 |
| 4 | Freins | 16 |
| 5 | Orientation au vent (système d'orientation) | 17 |
| 6 | Mât et fondation | 18 |
| 7 | Systèmes auxiliaires | 19 |
| 7.1 | Refroidissement et filtration | 19 |
| 7.1.1 | Refroidissement du multiplicateur | 19 |
| 7.1.2 | Refroidissement de la génératrice | 20 |
| 7.1.3 | Refroidissement du convertisseur | 20 |
| 7.2 | Système hydraulique | 21 |
| 7.3 | Systèmes de lubrification | 21 |
| 7.4 | Climatisation | 21 |
| 7.5 | Chauffages | 22 |
| 7.6 | Grues de bord | 22 |
| 7.7 | Dispositif d'ascension | 22 |
| 8 | Commande et sécurité | 23 |
| 8.1 | Commande de l'éolienne | 23 |
| 8.2 | Systèmes de sécurité | 23 |
| 8.2.1 | Dispositifs de sécurité | 24 |
| 8.2.2 | Protection contre la foudre | 26 |
| 9 | Installation électrique | 27 |
| 9.1 | Génératrice et convertisseur | 27 |
| 9.2 | Configuration du réseau | 27 |
| 9.3 | Transformateur moyenne tension et installation de commutation moyenne tension | 28 |

Table des matières

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 9.4 | Câblage | 28 |
| 9.5 | Mise à la terre | 28 |
| 9.6 | Raccordement au réseau | 29 |
| 9.7 | Surveillance du réseau | 29 |
| 9.8 | Besoins propres de l'éolienne | 30 |
| 9.9 | Communication | 30 |
| 10 | Gestion | 32 |
| 10.1 | Gestion de l'éolienne | 32 |
| 10.2 | Gestion du parc éolien | 34 |
| 11 | Indications complémentaires | 35 |
| 11.1 | Conditions et modes de fonctionnement spéciaux | 35 |
| 11.2 | Coloris des composants externes | 36 |
| 11.3 | Degré de réflexion | 36 |
| 12 | Caractéristiques techniques | 37 |

1 Conception technique

L'éolienne Nordex N117/2400 est une éolienne à régime variable avec un rotor d'un diamètre de 116,8 m et une puissance nominale de 2 400 kW. Elle existe en variantes pour 50 Hz et 60 Hz. La machine et les pales sont prévues pour la classe 3a selon la norme CEI 61400-1.

L'éolienne est un développement de la famille d'installations qui a fait ses preuves, Nordex N80/2500, N90/2500 et N100/2500.

Les éoliennes sont rassemblées en parc éoliens, pour des raisons économiques et techniques, et exploitées comme une unité. En outre, souvent, des mâts météo et une sous-station de transformation font partie d'un parc éolien. En fonction de la topologie du terrain, un concept de parc éolien est créé, qui vise à un compromis optimal entre investissement minimal, rendement maximal et contraintes minimales dues aux turbulences. Ce concept de parc éolien doit d'abord être convenu avec Nordex pour ne pas mettre en danger la sécurité des éoliennes.

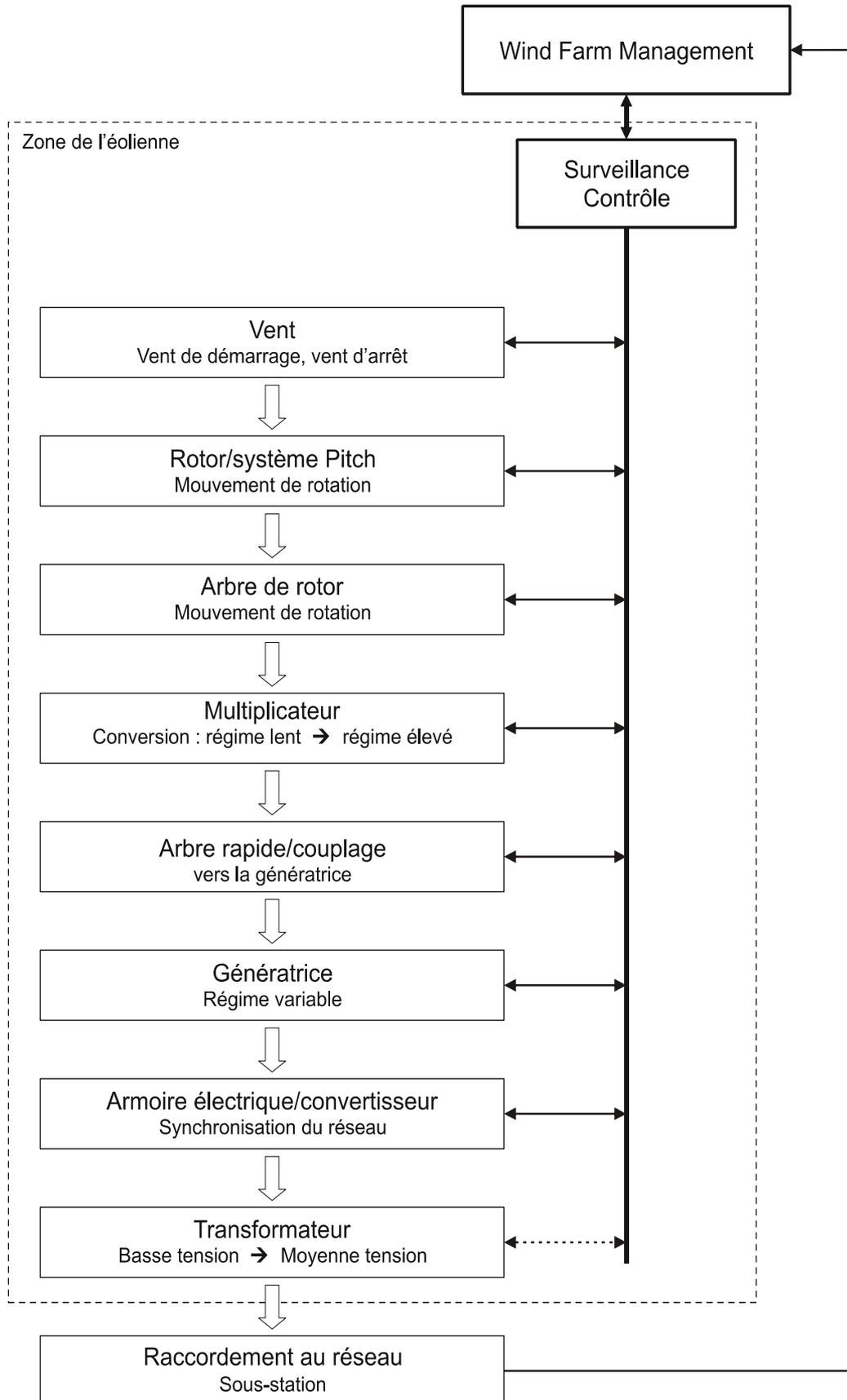
1.1 Conditions climatiques du projet

Le mât, la nacelle et les pales du rotor sont conçus et certifiés selon les normes nationales et internationales sur les éoliennes.

- Température ambiante standard :
 - Survie : -20 °C...+50 °C
 - Puissance nominale : -10 °C...+40 °C
 - Arrêt : -10 °C, redémarrage à -8 °C
- L'éolienne est généralement conçue pour les sites jusqu'à 1000 m de hauteur.

La température ambiante pour la conception de l'éolienne fait référence à des mesures météorologiques habituelles (à 2 m de hauteur au dessus du sol, à l'ombre). La température ambiante significative pour la commande est mesurée à l'extérieur de la nacelle, à la hauteur du moyeu.

1.2 Schéma du flux d'énergie d'une éolienne



1.3 Montage d'une éolienne

Une éolienne est constituée des éléments principaux suivants :

- Rotor, constitué du moyeu, de trois pales et du système d'orientation des pales
- Nacelle avec train d'entraînement, génératrice et système d'orientation
- Mât tubulaire avec fondations
- Transformateur et installation de commutation moyenne tension

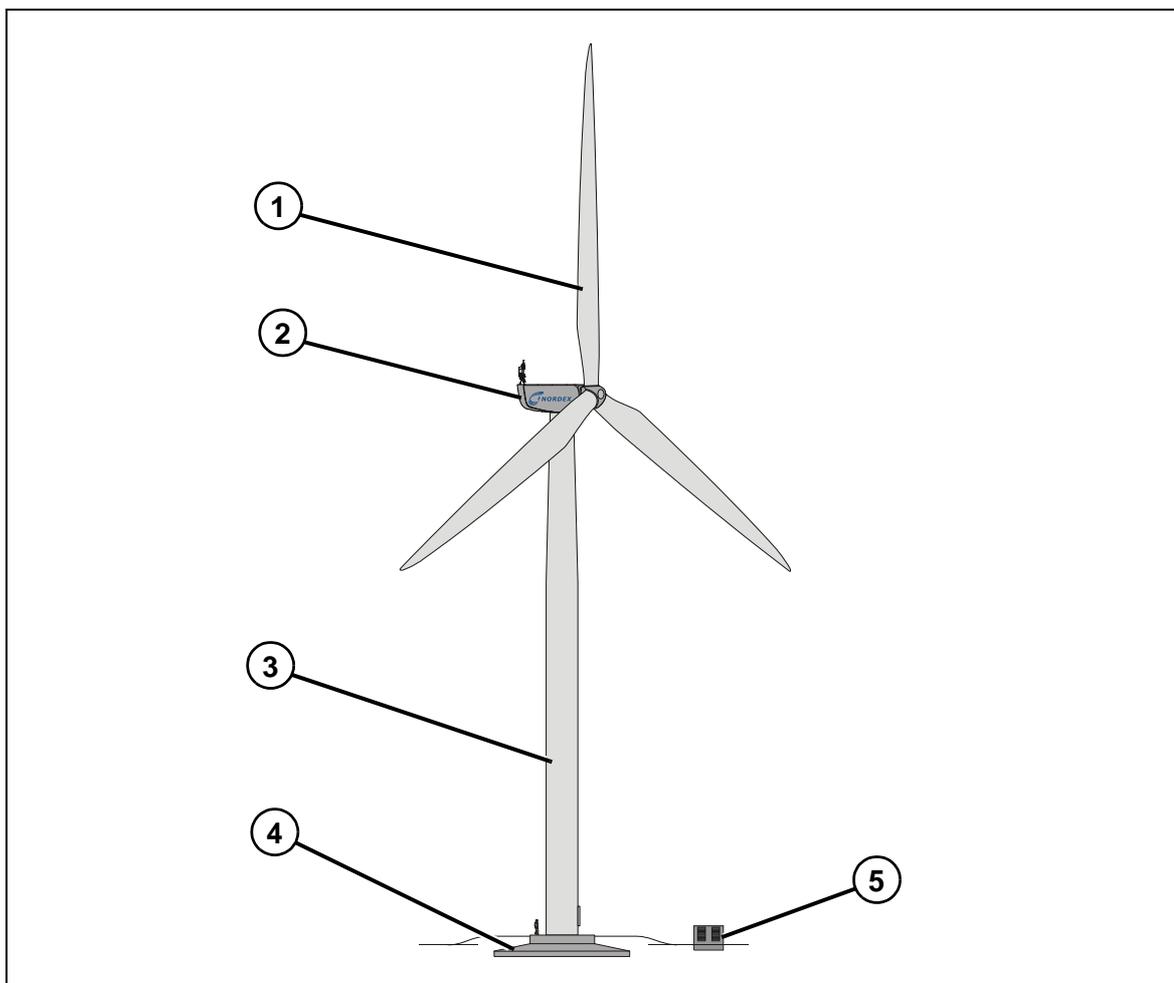


Fig. 1: Composants principaux d'une éolienne

1. Rotor
2. Nacelle
3. Mât
4. Fondation
5. Sous-station de transformation (option)

Pour chaque hauteur de moyeu, un dessin de vue d'ensemble séparé avec les dimensions les plus importantes est à disposition.

Principe de fonctionnement d'une éolienne

La nacelle avec le rotor est logée sur le mât via un dispositif pivotant. Son orientation est adaptée automatiquement à la direction du vent à l'aide du système d'orientation. Le rotor est contre le vent.

La transformation de l'énergie du vent en énergie électrique a lieu par une génératrice asynchrone à double alimentation. Son stator est directement relié au réseau du parc éolien, son rotor l'est via un convertisseur de fréquence à commande spéciale. Cela présente l'avantage considérable que, d'une part, le convertisseur ne doit être conçu que pour env. 30% de la puissance de la génératrice et, d'autre part, que la génératrice peut fonctionner dans une certaine plage de vitesse de rotation autour de sa vitesse de rotation synchrone.

La limitation de puissance a lieu en modifiant l'angle des pales. Le "système à pas" consiste en trois commandes et entraînements indépendants, un pour chaque pale.

La structure porteuse de la nacelle est composée d'un châssis machine coulé, d'un châssis générateur soudé et d'une structure porteuse métallique comme voie de roulement pour la grue de bord. La structure porteuse métallique a également pour fonction l'accueil du revêtement de la nacelle. Celui-ci est constitué de plastique renforcé de fibres de verre.

L'espace intérieur est conçu avec assez d'espace pour pouvoir effectuer tous les travaux avec le toit fermé. Il y a plusieurs lucarnes donnant accès au moyeu du rotor ou aux structures du toit. Sur le toit se trouve le système anémométrique redondant et, en option, les feux de balisage de nuit et de jour.

Nacelle en coupe

La nacelle contient des composants mécaniques et électroniques essentiels pour l'éolienne.

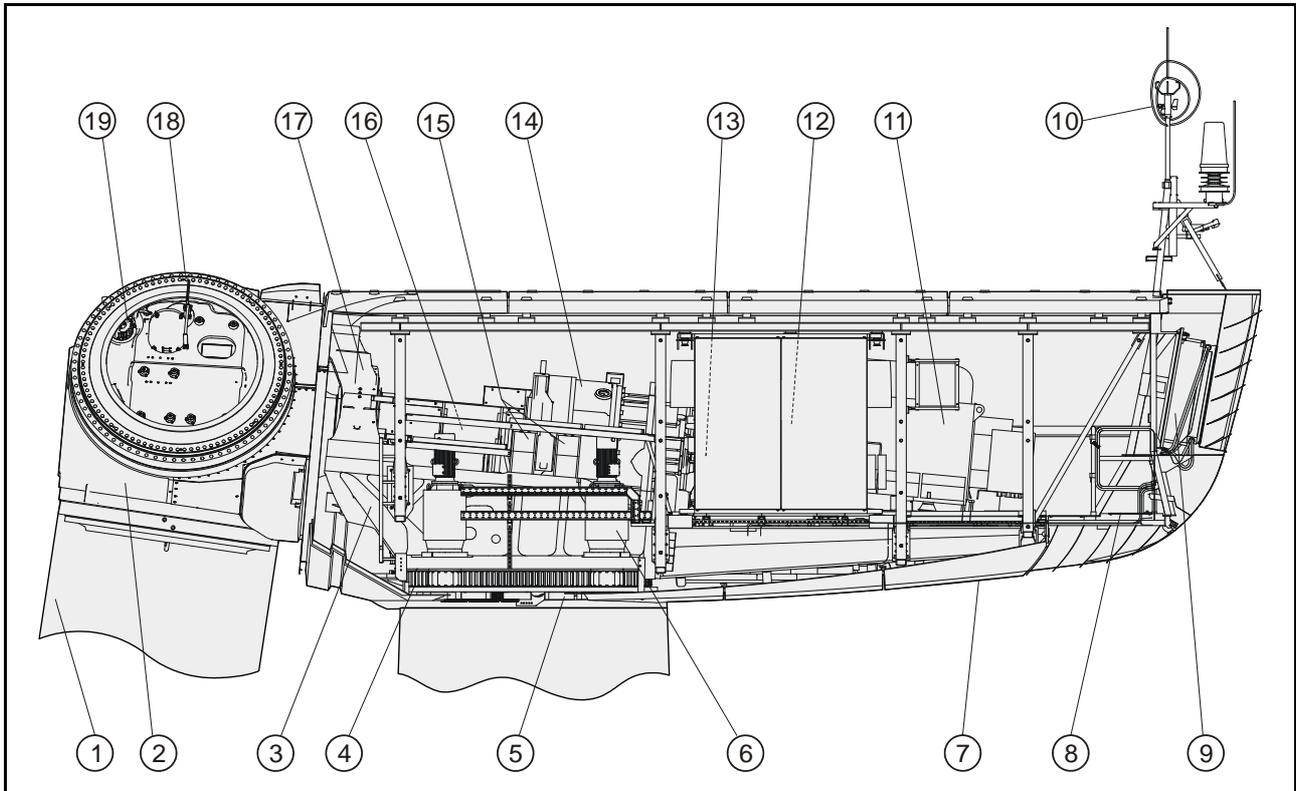


Fig. 2: Dessin de vue d'ensemble nacelle

1. Pale de rotor
2. Moyeu du rotor
3. Châssis machine
4. Roulement de système d'orientation
5. Freins d'orientation
6. Moteur d'orientation
7. Cabine de la nacelle
8. Écoutille pour la grue de bord
9. Échangeur thermique
10. Capteurs anémométriques
11. Génératrice
12. Coupleur
13. Frein de rotor
14. Multiplicateur
15. Appui du multiplicateur
16. Arbre de rotor
17. Palier de rotor
18. Roulement d'orientation de pale
19. Moteur de pale

Pied du mât en coupe

Cette vue en coupe à travers la section inférieure du mât montre schématiquement les composants les plus importants du pied du mât.

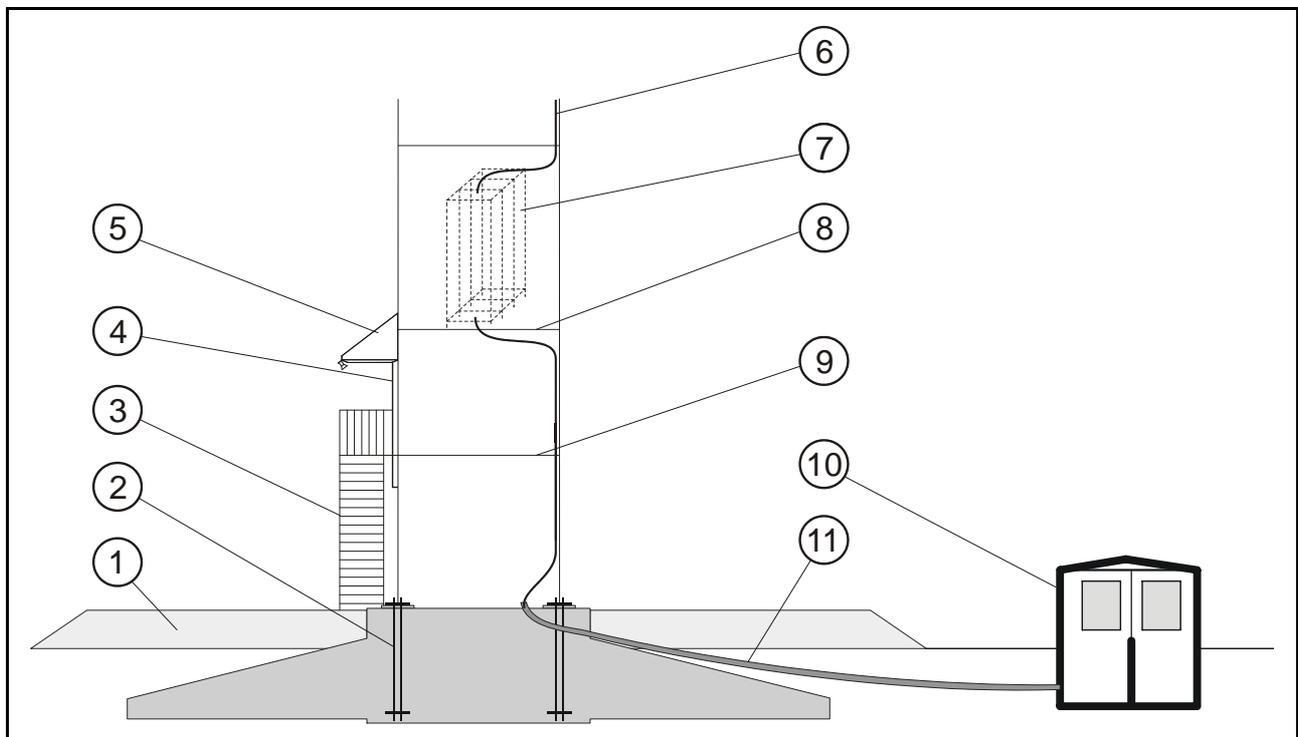


Fig. 3: Coupe à travers le pied du mât, variante avec sous-station de transformation séparée

1. Remblai de terre
2. Ancrage du mât
3. Escalier
4. Porte du mât
5. Aération/refroidissement
6. Câble électrique
7. Armoire électrique
8. 2. plateforme du mât
9. 1. plateforme du mât
10. Sous-station de transformateur
11. Gaines

Cette vue en coupe à travers la section inférieure du mât montre schématiquement l'option d'un pied de mât avec transformateur intégré.

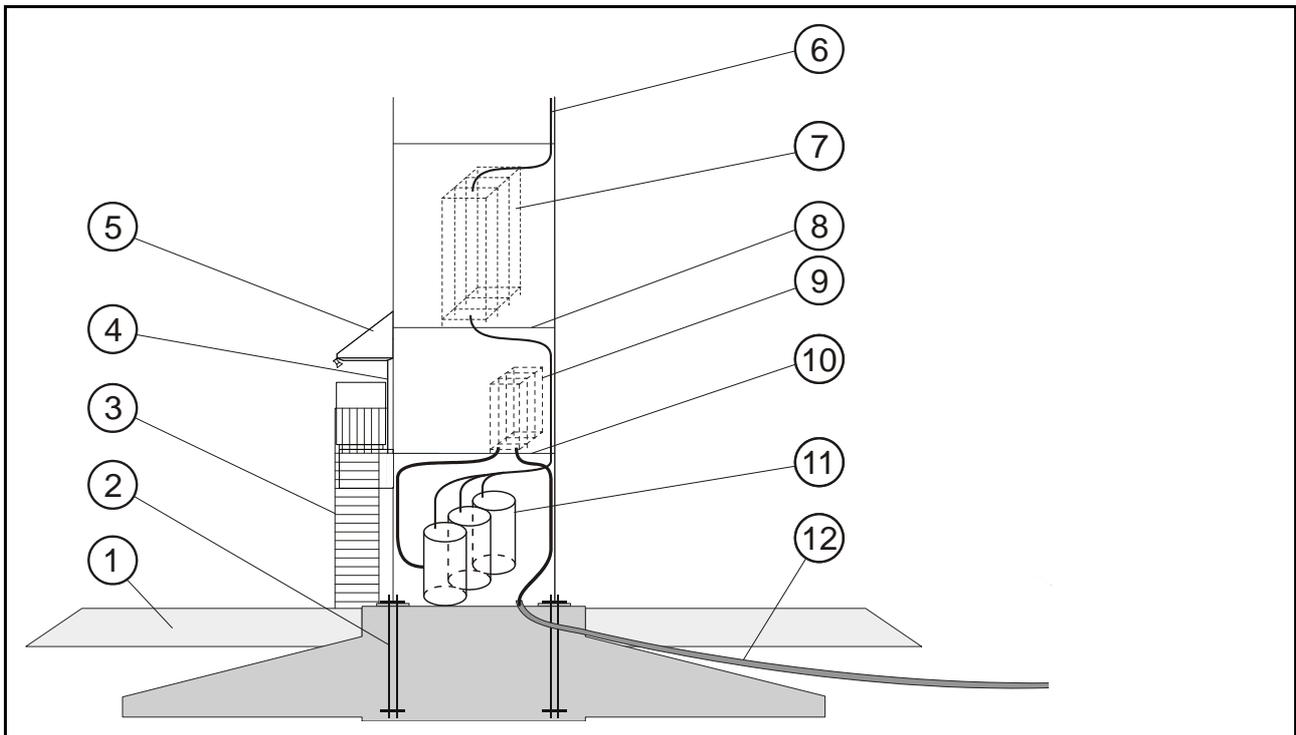


Fig. 4: Coupe à travers le pied du mât, variante avec sous-station de transformation intégrée

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

2 Rotor

L'énergie cinétique du vent est transmise par les pales au train d'entraînement via le moyeu du rotor. L'énergie du vent est transformée en mouvement de rotation. L'éolienne N117/2400, avec un rotor d'un diamètre de 117 m, est conçue de façon optimale pour les sites à l'intérieur des terres.

Le rotor est composé de trois pales, d'un moyeu, de trois raccords rotatifs et de trois entraînements à pas pour la variation de pas des pales.

Les pales du rotor sont fabriquées selon une méthode de construction mixte, à partir de plastique renforcé de fibres de verre et de fibres de carbone. Les pales du rotor sont équipées d'un système de protection contre la foudre composé de plusieurs récepteurs de foudre déviant la foudre vers le moyeu.

Le système à pas déplace les pales du rotor dans les positions définies par la commande. Chaque pale est commandée et entraînée séparément. Le système à pas est le frein principal de l'éolienne.

Les pales se tournent de 90° pour le freinage, ce qui interrompt la portance et crée une grande résistance de l'air provoquant ainsi le freinage du rotor (frein aérodynamique).

2.1 Moyeu du rotor

Le moyeu du rotor est une construction en fonte modulaire et rigide. Le corps de base du moyeu est complété d'un élément de renforcement de système à pas qui accueille tous les composants de l'entraînement d'orientation de pale. Le roulement d'orientation de pale et la pale sont montés dessus. Sur les pales du rotor N117, un anneau de renforcement de pale est installé en plus.



Fig. 5: Construction du moyeu du rotor

1. Corps de base du moyeu du rotor
2. Élément de renforcement de système à pas

3. Anneau de renforcement de pale (seulement sur N100/2500 et N117/2400)

L'accès au moyeu du rotor a lieu par une ouverture refermable accessible directement depuis le toit de la nacelle.



Fig. 6: Accès dans le moyeu du rotor

Le moyeu est très spacieux car la bague collectrice est intégrée dans l'arbre de rotor. Par l'ouverture transparente vers l'avant, la lumière du jour peut pénétrer le moyeu. Toutes les marches sont antidérapantes.

2.2 Pale de rotor

Les couches de fibre de verre et de fibres de carbone préparées dans un moule sont imbibées de résine époxy au cours d'un procédé d'infusion sous vide. Cela crée un plastique de haute qualité renforcé à la fibre de verre. Une pale est constituée de deux moitiés collées ensemble. Le matériau du noyau de cette construction à plusieurs couches est en balsa et en mousse PET. Les porteurs longitudinaux renforcent la structure de la pale. Ces porteurs se composent de plastique renforcé à la fibre de carbone. La base de la pale est fermée par une plaque. Un regard permet d'accéder à l'intérieur de la pale. Une plaque ferme le regard.



Fig. 7: Base de la pale et pale

En outre, le profil a une géométrie qui a ses avantages dans le procédé crucial du collage du bord de fuite.

Conformément aux directives CEI et GL, la pale a fait l'objet de tests de charge statiques et dynamiques au-delà des prescriptions. Le matériau est régulièrement soumis à des tests complets. Les programmes de test intensifs garantissent la durabilité des pales pendant toute leur durée de vie.

Chaque pale est pourvue d'une pointe en aluminium qui dévie le courant de foudre par un grillage de cuivre vers le moyeu du rotor. Les fibres de carbone sont protégées du courant de foudre par ce grillage de cuivre. Les pales sont fixées au roulement d'orientation de pale par de nombreux boulons en -T. Le roulement d'orientation de pale est un roulement quatre points à deux rangées. Ce roulement est résistant à la foudre.

En cas de besoin, chaque pale peut être fixée dans n'importe quelle position pour faciliter les travaux de montage et d'entretien.

2.3 Système à pas

Le système à pas comprend – pour chaque pale – un entraînement électromagnétique avec moteur triphasé, un engrenage planétaire, et une unité de commande avec convertisseur de fréquence et alimentation électrique de secours.

Le système à pas commande l'angle des pales. Il peut pivoter les pales autour de leur axe vertical. Pendant le fonctionnement, l'angle des pales est optimisé de manière que l'énergie peut être prélevée du vent et transformée en rotation de manière optimale. A partir de la vitesse nominale, le système à pas sert surtout à préserver la puissance au niveau nominal.

Le système à pas peut compenser les rafales de vent et sert aussi de frein principal pour le rotor en tournant les pales à env. 90°.

Chaque pale est commandée et entraînée indépendamment des autres et constitue donc un système de sécurité redondant. Les mouvements d'orientation des pales sont synchronisés électroniquement. En outre, chaque entraînement d'orientation de pale dispose d'une alimentation de secours séparée. Cette dernière peut, en cas de panne d'alimentation, faire tourner les pales du rotor pour qu'elles ne soient plus dans le vent. Le rotor tourne alors au ralenti.

Le système à pas est monté complètement sur l'élément de renforcement.

La transmission de signaux et l'alimentation en tension ont lieu par une bague collectrice intégrée dans l'arbre de rotor.

3 Train d'entraînement

Le train d'entraînement transmet le mouvement de rotation du rotor à la génératrice. La vitesse de rotation est augmentée à la valeur nécessaire. Le train d'entraînement est constitué des composants principaux suivants :

- Arbre de rotor
- Multiplicateur
L'arbre de rotor et le multiplicateur sont reliés entre eux par une frette de serrage.
- Coupleur
- Génératrice

L'illustration suivante montre le train d'entraînement y compris moyeu du rotor et châssis machine.

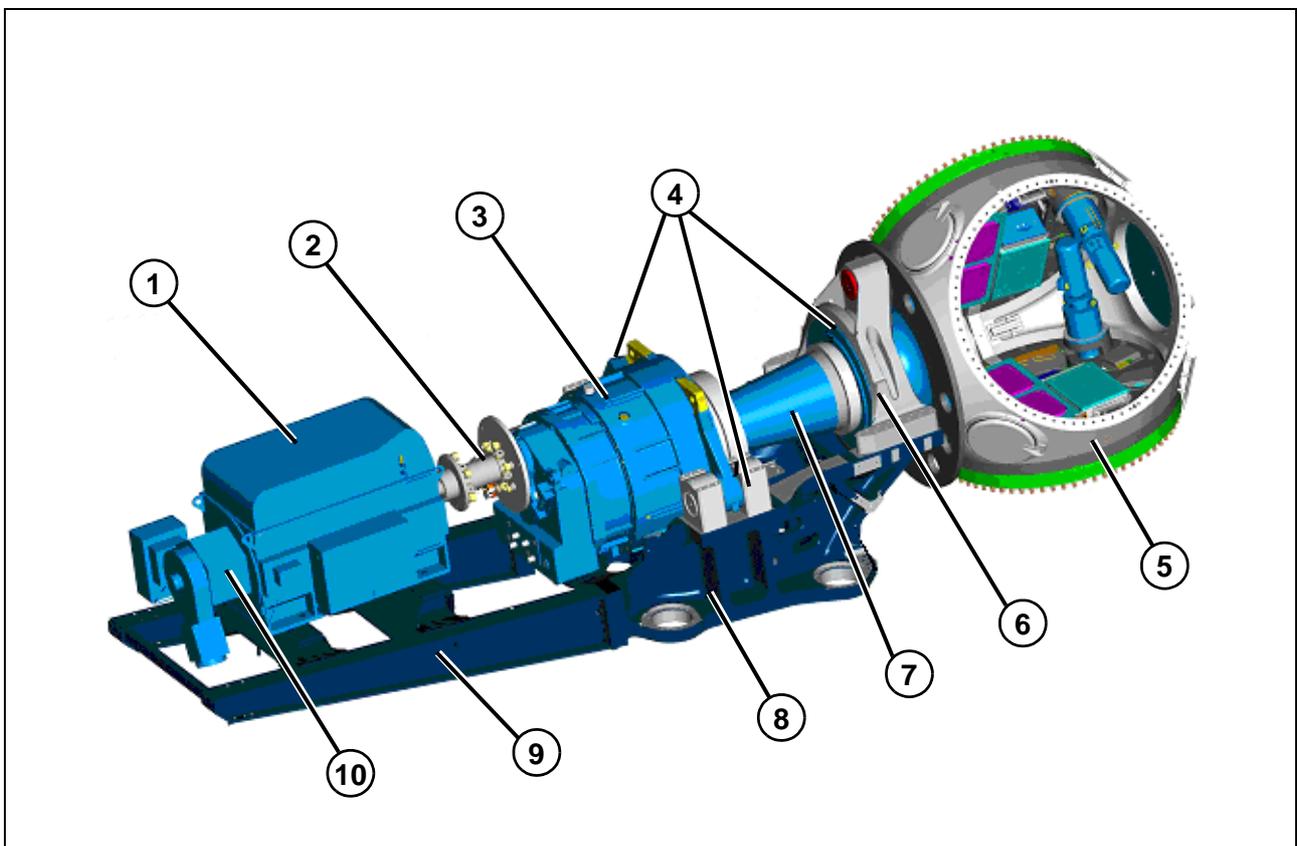


Fig. 8: Composants du train d'entraînement

1. Génératrice
2. Coupleur
3. Multiplicateur
4. Suspension à trois points
5. Moyeu du rotor
6. Palier de rotor
7. Arbre de rotor
8. Châssis machine
9. Châssis générateur
10. Bague collectrice pour la transmission de puissance

3.1 Arbre du rotor

L'arbre rotor est situé dans le palier du rotor de la nacelle. Le palier du rotor transmet les forces radiales et axiales du rotor au châssis machine. Le palier du rotor contient un dispositif de blocage hydraulique du rotor. La bague collectrice pour la transmission de signal et de tension est intégrée dans l'arbre de rotor.

3.2 Multiplicateur

Le multiplicateur augmente la vitesse de rotation au niveau nécessaire pour la génératrice. Le système de refroidissement consiste en un circuit huile / air à capacité de refroidissement graduelle. Les roulements et denture d'engrenage sont constamment lubrifiés par de l'huile refroidie. L'huile du multiplicateur assure non seulement la lubrification mais aussi le refroidissement. La température des roulements et de l'huile est surveillée en permanence.

3.3 Coupleur

Le coupleur se trouve entre le disque de frein sur le multiplicateur et la génératrice. Il a le devoir de compenser les décalages entre multiplicateur et génératrice. Une protection anti-surchARGE (limitation prédéfinie de couple) est montée sur l'arbre de la génératrice. Elle empêche la transmission de pics de couple qui peuvent avoir lieu dans la génératrice en cas de problèmes de réseau. Le coupleur est isolé électriquement.

3.4 Génératrice

Le générateur est une génératrice asynchrone à double alimentation. Elle est maintenue à une température de fonctionnement optimale grâce au circuit de refroidissement. La génératrice est refroidie avec un liquide de refroidissement.

4 Freins

Le frein aérodynamique est réalisé à l'aide de trois pales commandées indépendamment et de manière redondante et pouvant pivoter de 90° autour de leur axe longitudinal. L'orientation des pales du rotor est contrôlée par un système de sécurité. Après une coupure inopinée de la tension d'alimentation, une alimentation électrique de secours est commutée automatiquement dans le système à pas, qui oriente les pales perpendiculairement au sens de rotation.

De plus, l'éolienne est équipée d'un frein mécanique. Ce frein soutient le frein dynamique dès qu'un régime défini n'est plus atteint et ralentit le rotor jusqu'à l'arrêt. La puissance de freinage est régulée par divers programmes de freinage en fonction du déclencheur du freinage. Les programmes de freinage préviennent les pics de charge. Une fois l'éolienne arrêtée, le rotor peut être bloqué ou tourner au ralenti.

5 Orientation au vent (système d'orientation)

La direction du vent est mesurée de manière continue à hauteur de moyeu par deux appareils indépendants. L'un d'entre eux est un appareil Ultrasonic. Tous les anémomètres sont chauffés.

Si la direction du vent relevée diffère du positionnement de la nacelle d'une valeur supérieure à celle autorisée, la nacelle est réorientée. L'orientation a lieu via des entraînements de système d'orientation. Les entraînements de système d'orientation se trouvent sur le châssis machine de la nacelle. Ils sont constitués d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et de pignons d'entraînement. Les pignons d'entraînement s'enclenchent dans l'engrenage externe du système d'orientation.

Si la nacelle n'est pas orientée, alors les freins du système d'orientation sont activés. Il y a deux freins différents du système d'orientation, qui peuvent être commandés simultanément. Les freins actionnés hydrauliquement sont répartis sur la circonférence du système d'orientation et agissent sur un disque de frein. Les freins électriquement actionnés sont disposés sur le côté rapide de l'entraînement de système d'orientation et agissent sur l'arbre du moteur électrique.

En cas de vitesses de vent inférieures à la vitesse de démarrage, l'orientation automatique reste inactive, pour économiser l'énergie.

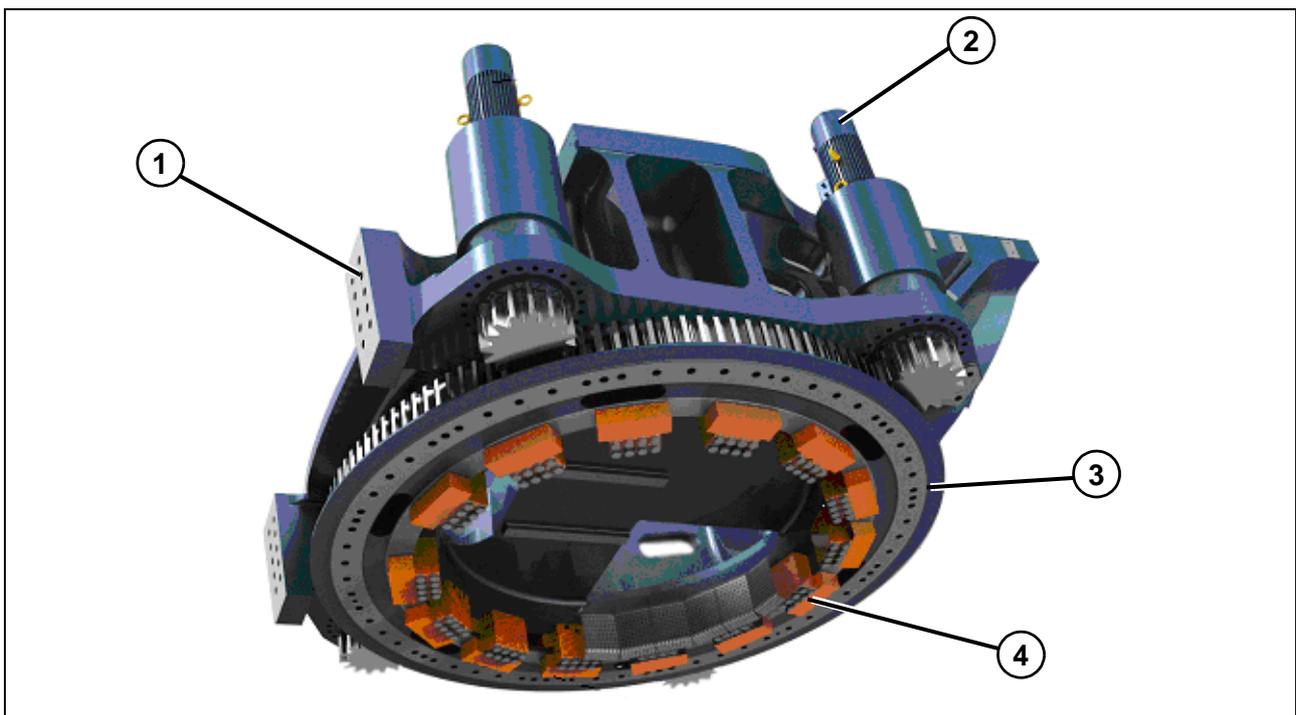


Fig. 9: Composants du système d'orientation

1. Châssis machine
2. 4x entraînement de système d'orientation pour la N117/2400
3. Roulement de système d'orientation
4. Etrier de frein

6 Mât et fondation

Mât tubulaire en acier

La Nordex N117/2400 repose sur des mâts tubulaires en acier pour différentes hauteurs de moyeu et zones de vitesse du vent.

La hauteur de moyeu est définie comme la hauteur du moyeu du rotor au dessus du sol. La hauteur du mât est différente. Elle est raccourcie de la hauteur du bord supérieur des fondations par rapport au sol (en général 1,1 m) et de la distance verticale entre le bord supérieur du mât et le milieu du moyeu du rotor (1,99 m).

Le mât est un mât tubulaire cylindrique en acier, seule la section supérieure est conique. En fonction de la hauteur du moyeu, il est constitué de trois à cinq sections.

La protection anti-corrosion du mat tubulaire est garantie par un système de recouvrement de la surface, conformément à la norme ISO 12944.

Un ascenseur, l'échelle d'ascension avec son système de protection antichute et les plateformes de repos et de travail à l'intérieur du mât permettent un accès à la nacelle à l'abri des intempéries.

Suivant les exigences, l'éolienne peut être équipée d'une sous-station de transformation indépendante. Celle-ci est habituellement placée à quelques mètres du mât. Elle contient notamment le transformateur et les appareils de commutation de moyenne tension. Les câbles électriques raccordés à l'éolienne et au réseau électrique local sont disposés sous la terre.

Dans le cas d'une sous-station de transformation intégrée, le transformateur en option et les appareils de commutation de moyenne tension sont logés dans le pied du mât, voir Fig. 4, page 10.

Fondations

La construction des fondations dépend de la nature du sol du lieu d'implantation prévu. Pour l'ancrage du mât, une cage d'ancrage est cimentée dans les fondations. Le mât et la cage d'ancrage sont vissés ensemble, voir " Montage d'une éolienne ", page 6.

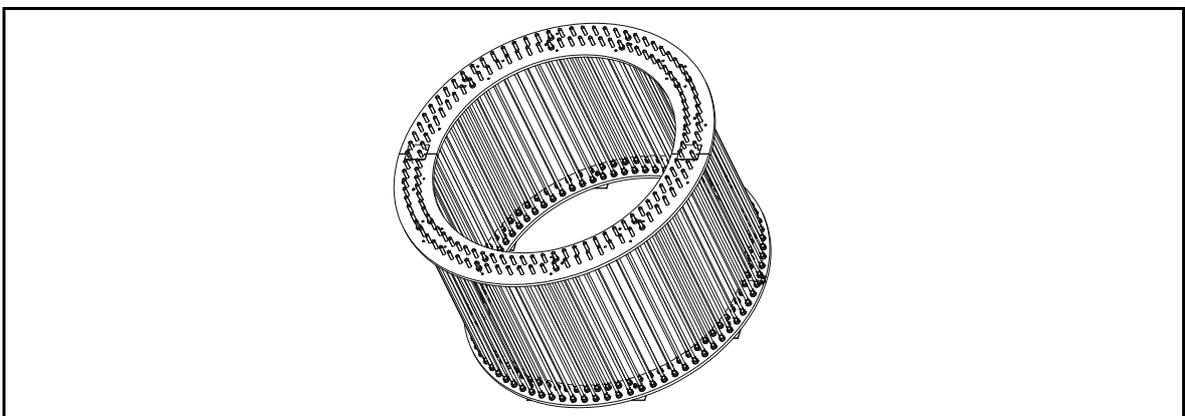


Fig. 10: Cage d'ancrage pour fixation du mât

7 Systèmes auxiliaires

7.1 Refroidissement et filtration

Le multiplicateur, la génératrice et le convertisseur de l'éolienne ont des systèmes de refroidissement indépendants les uns des autres.

Tous les systèmes sont conçus de manière à garantir des températures de fonctionnement optimales même en cas de températures extérieures élevées. La température de chaque roulement de multiplicateur, de l'huile du multiplicateur, des bobinages et des roulements de la génératrice ainsi que du liquide de refroidissement est contrôlée en permanence et en partie de manière redondante par la commande d'éolienne.

7.1.1 Refroidissement du multiplicateur

L'évacuation de la chaleur du multiplicateur s'effectue via le circuit d'huile dans un refroidisseur huile / air. Une pompe avec deux étages de pompage transporte l'huile du multiplicateur via deux filtres dans le circuit de refroidissement. La fonction des filtres (fin ou gros) est d'éliminer les particules solides se trouvant dans l'huile du multiplicateur. Le degré d'encrassement de la cartouche de filtre est surveillé par le système contrôle-commande (mesure de pression différentielle).

Une filtration by-pass additionnelle (filtre fin 5 µm) peut être installée en option.

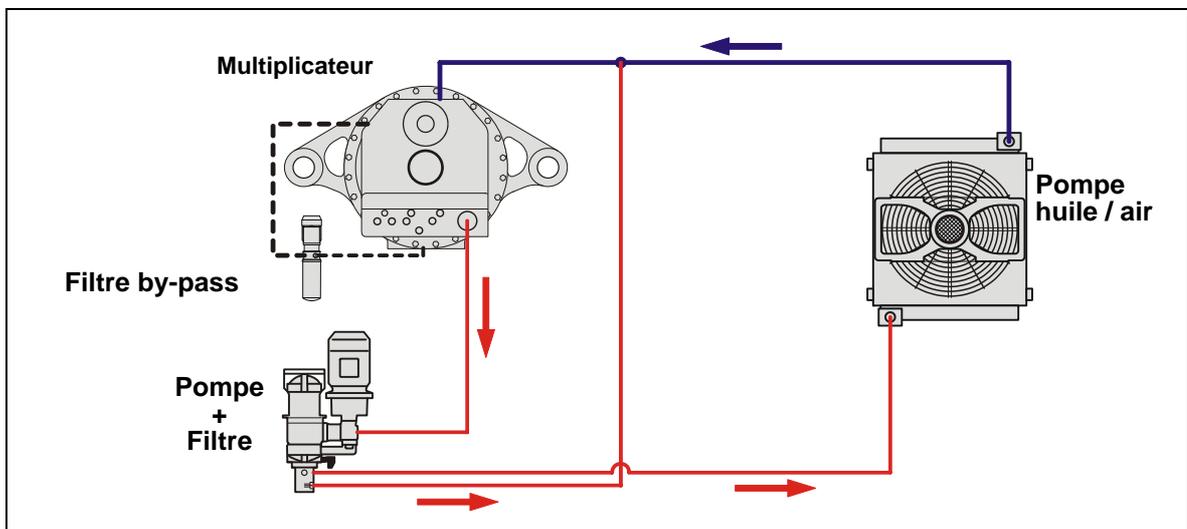


Fig. 11: Schéma du refroidissement du multiplicateur

Si la température optimale de fonctionnement n'a pas encore été atteinte, un by-pass thermique renvoie directement l'huile déjà réchauffée dans le multiplicateur. Si la température de l'huile dépasse la température optimale de fonctionnement, l'échangeur thermique huile / air est mis en service et l'huile est refroidie. L'échangeur thermique est également équipé d'un ventilateur à deux étages qui se met en service suivant la température de l'huile.

L'huile refroidie est envoyée aux éléments subissant de fortes charges thermiques via un système de tuyaux situé dans le multiplicateur.

7.1.2 Refroidissement de la génératrice

L'évacuation de la chaleur hors de la génératrice se fait via un circuit de refroidissement à eau. Un mélange antigel eau / glycol est utilisé comme liquide de refroidissement. La chaleur est transmise à l'eau de refroidissement au sein de la génératrice via un refroidissement par air intégrée. A l'aide d'une pompe centrifuge ne nécessitant aucun entretien, l'eau de refroidissement est conduite vers un échangeur thermique eau / air.

La pompe se met en route dès que la température des composants de la génératrice dépasse une valeur définie et ramène l'eau de refroidissement et donc la génératrice à une température de fonctionnement optimale. L'échangeur thermique est également équipé d'un ventilateur à deux étages qui se met en service suivant la température de l'eau.

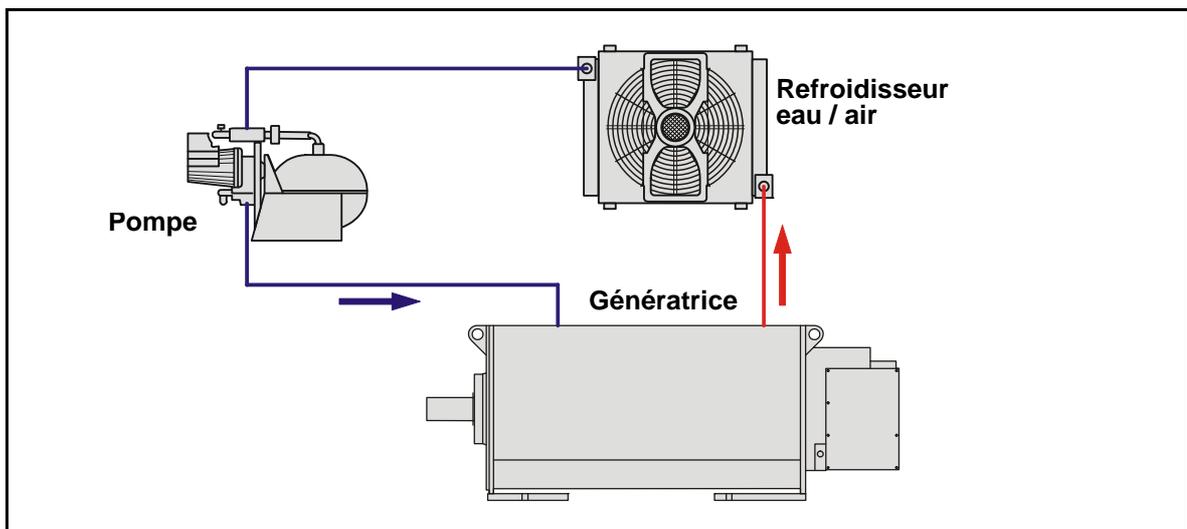


Fig. 12: Schéma du refroidissement de la génératrice

7.1.3 Refroidissement du convertisseur

Le convertisseur principal de l'éolienne est intégré dans l'armoire électrique dans le pied du mât. Il se trouve sur la deuxième plateforme la plus basse depuis le bas du mât et est pourvu d'un refroidissement à air et un à eau. Un mélange antigel eau/glycol est utilisé comme réfrigérant. Une pompe conduit l'eau de refroidissement à travers le convertisseur principal et conduit l'eau réchauffée vers un échangeur thermique eau / air. Lorsque des températures prédéterminées sont atteintes, la pompe connecte les composants du convertisseur et évacue la chaleur vers l'extérieur. L'échangeur thermique est également équipé d'un ventilateur à deux étages qui se met en service suivant la température de l'eau.

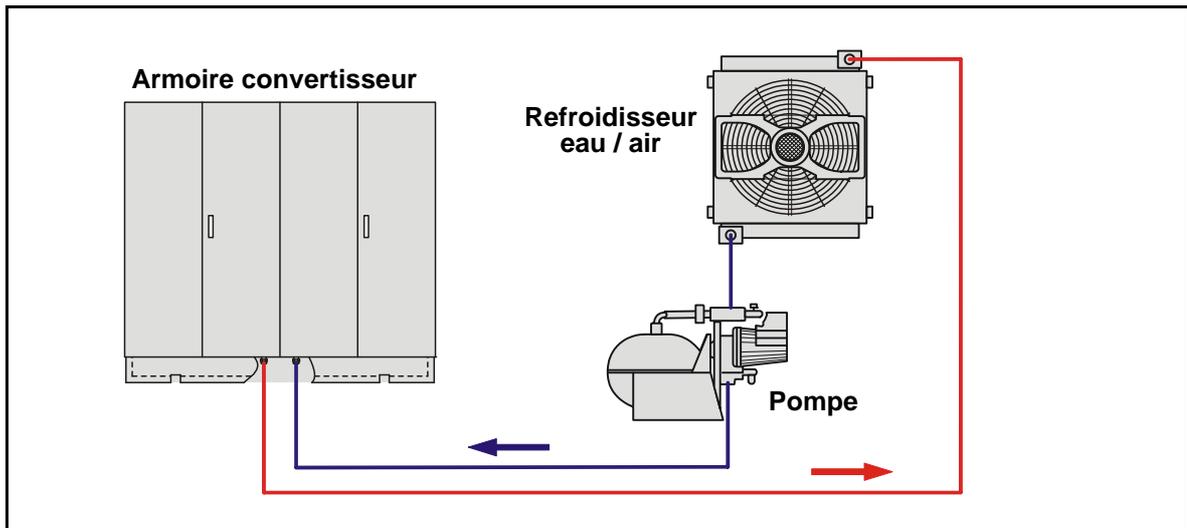


Fig. 13: Schéma du refroidissement du convertisseur

7.2 Système hydraulique

Le système hydraulique fournit en cours de fonctionnement la pression d'huile nécessaire pour le freins de système d'orientation et le frein du rotor. Le blocage hydraulique du rotor peut être ouvert ou fermé manuellement.

7.3 Systèmes de lubrification

Les composants suivants sont équipés de systèmes de lubrification automatiques et indépendants qui alimentent les lubrifiants nécessaires :

- Palier de rotor
- Multiplicateur
- Les deux roulements de la génératrice
- Les engrenages des trois roulement d'orientation de pale
- Les engrenages de roulement de système d'orientation

Une lubrification suffisante et continue est ainsi garantie et l'entretien considérablement simplifié.

Dans le multiplicateur, le circuit d'huile sert en même temps à refroidir et à graisser l'engrenage et les roulements sous pression. Un système de conduite à l'intérieur de l'entraînement amène l'huile sur les composants subissant de grandes contraintes thermiques et mécaniques.

Les engrenages des roulements sont lubrifiés par un pignon de lubrification séparé.

7.4 Climatisation

Les armoires électriques dans le moyeu du rotor, la nacelle et le pied du mât sont équipés des sondes de température. Si certaines limites de température prédéfinies sont dépassées

vers le haut ou le bas, des chauffages / climatiseurs s'activent pour garder la température à l'intérieur dans des limites de fonctionnement.

7.5 Chauffages

Quand l'éolienne est refroidie par des températures environnantes basses, certains composants doivent être chauffés avant de pouvoir être utilisés. Les composants suivants sont équipés de chauffages qui s'enclenchent automatiquement en cas de besoin :

- Multiplicateur
- Génératrice
- Agrégat hydraulique
- Diverses armoires électriques
- Nacelle

7.6 Grues de bord

Dans la machine, un palan à chaînes installé de manière fixe sert au hissage d'outils, de composants et d'autres matériaux de travail à partir du sol, jusque dans la nacelle. Un second pont-grue amovible sert à déplacer les matériaux au sein de la nacelle.

La capacité de charge des deux grues de bord est de 1000 kg.

7.7 Dispositif d'ascension

Dans le mât de l'éolienne est installé un ascenseur guidé le long de l'échelle. Celui-ci peut amener des personnes et du matériel jusqu'en dessous de la nacelle depuis la plateforme d'accès. L'ascenseur sert en même temps à la sécurité des personnes et le rendement pendant toute la durée de vie de l'éolienne.

8 Commande et sécurité

8.1 Commande de l'éolienne

La commande de l'éolienne a lieu par un ordinateur de gestion d'exploitation et le logiciel Nordex Control 2. La commande de l'éolienne est entièrement automatisée. Elle interroge constamment tous les capteurs connectés, traite les données et utilise le résultat pour former les paramètres de commande de l'éolienne.

L'éolienne travaille avec deux instruments de mesure pour capter les données du vent. Un instrument est employé pour la commande et le deuxième surveille le premier. En cas de panne d'un instrument de mesure, l'autre contrôle l'éolienne.

Un écran de contrôle du PC - que ce soit au sein de l'éolienne ou encore à distance - permet de surveiller et de contrôler toutes les données d'exploitation. Les fonctions telles que la démarrage, l'arrêt ou l'orientation peuvent être exécutées par ce biais.

Une télésurveillance de l'éolienne est prévue. Les erreurs peuvent être, sur demande, annoncées à un poste de commande par l'éolienne. La transmission des données et des signaux s'effectue par liaison RNIS et à l'aide du logiciel « Internet Explorer »[®]. L'organe de télésurveillance appelle une fois toutes les nuit les données enregistrées par l'éolienne dans la journée.

La commande de l'éolienne est dotée d'un système d'alimentation sans coupure (ASC). En combinaison avec les batteries logées dans le système à pas, l'éolienne peut être arrêtée en toute sécurité en cas de coupure de réseau. L'ASC assure le fonctionnement de la commande de l'éolienne, y compris l'enregistrement des données et la communication avec l'extérieur pendant environ 10 minutes. Pour l'arrêt à partir de la vitesse de rotation nominale, l'éolienne a besoin de seulement une à deux minutes, selon le programme de freinage. On peut ainsi continuer à surveiller l'état de l'éolienne jusqu'à ce que celle-ci soit arrêtée, ainsi que transférer des données depuis la commande de l'installation pour les analyser ultérieurement.

8.2 Systèmes de sécurité

Les éoliennes Nordex sont équipées de nombreux équipements et dispositifs garantissant la sécurité des personnes et des installations ainsi qu'un fonctionnement sûr et durable.

Toutes les fonctions concernant la sécurité sont surveillées en redondance et, en cas d'urgence, peuvent déclencher un arrêt d'urgence de l'éolienne via les fonctions de sécurité maîtresses de la gestion de l'éolienne - même sans ordinateur de gestion d'exploitation ou alimentation externe. Les interrupteurs d'arrêt d'urgence sont aussi intégrées dans la chaîne de sécurité.

L'orientation des pales est le système de freinage de base. Le système à pas réunit trois entraînements d'orientation de pale indépendants. Même si un moteur de pale tombait en panne, l'éolienne pourrait être placée dans un état sécurisé.

Les paramètres de fonctionnement sont conçus de telle manière que les contraintes mécaniques et électriques sur l'éolienne restent aussi faibles que possibles tout en permettant une efficacité et une durée de vie maximales pour le client.

Toutes les marches sont antidérapantes. L'équipement de sécurité des collaborateurs est constamment surveillé et maintenu à l'état le plus actuel. Toutes les dispositions de sécurité de l'éolienne sont régulièrement vérifiées. Ainsi, l'entretien trouve un lieu de travail sûr et ergonomique.

L'organe de télésurveillance Nordex est occupée 24h/24. Plusieurs fois par jour, l'état de fonctionnement de chaque éolienne est consulté par e-mail. Si nécessaire, les collaborateurs de la télésurveillance peuvent intervenir directement ou informer le Service sur place.

Environ tous les 6 mois a lieu un entretien préventif.

8.2.1 Dispositifs de sécurité

Interrupteur d'arrêt d'urgence

Dans l'éolienne, il y a des interrupteurs d'arrêt d'urgence à plusieurs endroits. Ceux-ci permettent, en cas de danger, un arrêt instantané de l'éolienne.

Les interrupteurs d'arrêt d'urgence se trouvent :

- à l'avant et à l'arrière de l'armoire électrique dans le pied du mât
- sur le côté droit du multiplicateur
- sur le terminal de commande mobile de l'armoire électrique dans la nacelle
- sur la face avant de l'armoire électrique située dans la nacelle
- à l'entrée de la nacelle

Actionner un interrupteur d'arrêt d'urgence déclenche un freinage d'urgence, c'est-à-dire que les pales sont tournées en drapeau, le convertisseur et la génératrice sont coupées du réseau, l'interrupteur principal est mis en position OFF et le frein de rotor s'enclenche.

Fonctions de sécurité

Les fonctions de sécurité se composent de différents appareils de contrôle. Si l'un de ces appareils de contrôle se déclenche, l'éolienne est immédiatement arrêtée.

En plus des interrupteurs d'arrêt d'urgence, les appareils suivants font partie de la fonction de sécurité :

- déclencheur de surcharge de l'interrupteur principal (déclencheur thermique ou magnétique)
- un relais de vitesse (vitesse du rotor et de la génératrice)
- deux contrôleurs de vibration (vibrations du mât)

Le déclenchement des fonctions de sécurité entraîne un freinage de l'éolienne. Les deux appareils mentionnés en dernier n'ont cependant pas pour effet une désactivation de l'interrupteur principal.

Protection contre torsion des câbles

Une protection existe contre la torsion des câbles menant de la nacelle au mât. En mode automatique, la commande de l'éolienne surveille constamment la position de la nacelle par rapport au mât. Si environ 2 tours ont été faits, la nacelle se tourne automatiquement dans la position initiale.

Cet automatisme est en plus assuré par un commutateur de fin de course supplémentaire. Si la torsion maximal admis est dépassé, l'alimentation des entraînement de système d'orientation est coupée et un message d'erreur est émis.

Phase de rodage

Pour les engrenage, les rouleaux dans les roulements de l'engrenage et les flancs de dents doivent d'abord être rodés pour garantir un fonctionnement sûr sur le long terme. C'est pourquoi après la mise en service, la puissance est d'abord limitée en fonction du rendement. La phase de rodage dure des engrenages - en fonction du vent - quelques jours.

Protection anti-contact/anti-marche

Toutes les parties tournantes du train d'entraînement sont protégées contre les contacts par des couvercles. Il s'agit du disque de blocage du rotor, de l'arbre du rotor, du disque de frein et du coupleur.

Tous les composants en danger, surtout dans la zone d'entrée de la nacelle, sont protégés contre les dégâts. C'est à dire qu'ils sont disposés sous des tôles de marche ou protégés des dtériorations par différents couvercles. Il s'agit des capteurs, des conduites hydrauliques, des câbles électriques ainsi que de certains agrégats tels que la pompe à huile, les pignons de lubrification, les lampes, etc.

Les composants électriques et les câbles sont logés dans des armoires ou des conduites fermés.

Autres dispositifs de sécurité

Certains dispositifs de sécurité sont décrits plus en détail dans d'autres chapitres :

- Système d'alimentation sans coupure de la commande
 - voir " Commande de l'éolienne ", page 23
- Alimentation d'urgence des entraînement d'orientation de pale
 - voir " Système à pas ", page 14
- Dispositif de blocage du rotor
 - voir " Arbre du rotor ", page 16
- Mise à terre et protection contre la foudre
 - voir " Mise à la terre ", page 28 et " Protection contre la foudre ", page 26
- Systèmes de lubrification automatiques
 - voir " Systèmes de lubrification ", page 21
- Equipement de protection antichute, points d'ancrage
- Chemin de fuite / dispositif de rappel
- Extincteur, trousse premiers secours, éclairage d'urgence, protection anti-bruit, etc.
- Protection anti-incendie

8.2.2 Protection contre la foudre

Lors de la mise au point de l'éolienne, une attention toute particulière a été accordée à la protection contre la foudre. Une fiabilité de protection extrêmement élevée a été atteinte pour tous les composants. La protection contre la foudre et les surtensions de toute l'installation correspond au concept de zones de protection contre la foudre et est conforme à la norme CEI 61400-24.

9 Installation électrique

L'éolienne est équipée d'un système générateur-convertisseur à régime variable. Combiné à l'orientation électrique des pales, le train d'entraînement à régime variable garantit les meilleurs résultats en matière de contraintes mécaniques et de qualité du réseau électrique. Le système prévient en grande mesure les pics de charge. La gestion de l'éolienne permet de produire une puissance constante avec très peu de fluctuations en mode de charge partielle. En fonctionnement de charge nominale, l'éolienne peut fonctionner avec une puissance constante.

Les composants électroniques les plus importants sont situés dans l'armoire électrique dans le pied du mât. L'armoire électrique contient, séparément, le convertisseur de fréquence, l'ordinateur de gestion d'exploitation, l'écran de contrôle, l'interrupteur principal, les fusibles ainsi que des connexions pour la communication et les câbles de puissance.

9.1 Génératrice et convertisseur

La génératrice est asynchrone à double alimentation, induit à bague collectrice, avec un convertisseur enclenché à posteriori pour réalimenter la puissance de glissement. La tension et la fréquence sont maintenues constantes indépendamment de la vitesse du rotor. Cela permet un fonctionnement à régime variable avec de faibles effets en retour du réseau.

La possibilité de fournir également de la puissance réactive est rendue possible par un système spécial de gestion de la puissance réactive. Cela évite d'avoir à traiter la compensation de la puissance réactive, ce qui est autrement le cas.

En mode de charge partielle, l'éolienne fonctionne dans une plage de vitesse de rotation donnée avec un angle de pales fixe. La courbe vitesse de rotation / couple du système générateur est prédéfinie fixement. Si la vitesse du vent dépasse la vitesse nominale, l'éolienne règle en même temps le système générateur et la modification de l'angle des pales. En principe, le couple de la génératrice reste constant et les fluctuations de vitesse de rotation sont compensées par l'orientation des pales. Une plage de vitesse de rotation est à disposition pour cela.

En cas de coupure de sécurité (par ex. panne du réseau), l'éolienne se coupe du réseau et les pales sont orientées pour ne plus être dans le vent.

9.2 Configuration du réseau

Il y a deux réseaux basse tension dans l'éolienne. Le réseau de 660 V transporte le courant produit vers le point d'entrée du réseau d'alimentation via le transformateur moyenne tension. Le réseau à 400 V alimente tous les systèmes électriques de l'éolienne.

Le réseau basse tension de la génératrice (660 V) est un réseau isolé sans conducteurs neutres (réseau IT) et le réseau basse tension pour besoins propres (400 V) un réseau TN-S.

Un système de surveillance de l'isolation fait office de dispositif de protection.

9.3 Transformateur moyenne tension et installation de commutation moyenne tension.

Un transformateur moyenne tension et une installation de commutation moyenne tension sont nécessaires pour raccorder chaque éolienne au réseau moyenne tension.

Le point de raccordement vers le réseau d'alimentation est créé par une station moyenne tension.

Selon le nombre d'éoliennes, des sous-stations supplémentaires sont montées sur les éoliennes et reliées entre elles au niveau de tension correspondant au réseau d'alimentation. L'équipement de mesure nécessaire, convertisseur compris, doit aussi être fait conformément aux conditions de raccordement locales et représente la limite de propriété dans le poste de transfert.

L'équipement du poste de transfert et la réalisation technique du point de remise dépendent du projet. Si Nordex est chargée de la réalisation, l'équipement et la réalisation du poste de transfert sont déterminés avec l'exploitant du réseau.

Si le transformateur est installé dans le mât (= option), un transformateur à sec sera utilisé. En cas de sous-station de transformation externe, on utilise en général un transformateur à bain d'huile. Les données techniques du transformateur et l'installation de commutation moyenne tension peuvent être différentes en fonction du fabricant, du niveau de tension requis et des conditions environnantes.

9.4 Câblage

Des gaines sont intégrées dans les fondations pour pouvoir poser des câbles de puissance, de communication et de commande. Normalement, tous les câbles d'un parc éolien sont posés sous terre.

Entre l'armoire électrique dans le pied du mât et le transformateur dans le mât, on pose des câbles basse tension de grande puissance. Pour la transmission des signaux du transformateur vers l'éolienne, sur demande, des câbles de commande basse tension peuvent être posés.

9.5 Mise à la terre

L'installation de mise à la terre est nécessaire pour l'équilibrage de potentiel entre les parties de l'installation électrique et représente une partie importante du système de protection contre la foudre.

L'installation de mise à la terre est fabriquée conformément à la norme et aux schémas des fondations.

L'installation de mise à la terre entoure l'éolienne et la sous-station de transformation séparée, s'il y en a un. La résistance de mise à la terre de l'éolienne ne doit pas dépasser 10 Ω . Elle est mesurée et documentée. Sur demande, le protocole de mise à la terre peut être soumis à l'exploitant du réseau avant la mise en service.

9.6 Raccordement au réseau

L'alimentation en énergie électrique des éoliennes est normalement envoyée vers le réseau moyenne tension de l'exploitant du réseau. Si les conditions du réseau sont inadaptées ou en cas de puissance d'alimentation élevée, il peut être nécessaire d'intégrer au réseau haute tension, ce qui rend nécessaire de construire une sous-station de transformation.

Le raccordement de l'éolienne au réseau s'effectue à l'aide d'un convertisseur IGBT selon le principe de la génératrice asynchrone à double alimentation. La compensation de courant réactif (réglage $\cos-\varphi$) peut être définie librement par sélection de paramètre avec le convertisseur IGBT, dans certaines conditions, dans une certaine gamme. Avec ce système, les courants de commutation lors du raccordement au réseau peuvent être établis avec un ordre de grandeur de 1, c'est-à-dire que le raccordement au réseau a lieu de manière absolument synchronisée et sans pics.

L'éolienne peut aussi être équipée d'un paquet de raccordement au réseau étendu. Pour de nombreuses directives de raccordement au réseau, il y a un document séparé.

9.7 Surveillance du réseau

L'éolienne est équipée de plusieurs dispositifs de protection :

- Le relais de protection réseau dispose d'une surveillance de sous / surtension, détecte l'augmentation et la diminution de fréquence et surveille le saut vectoriel.
- La protection contre les courts-circuits et les surcharges est réalisée par l'interrupteur principal.

Les valeurs de déclenchement et les temps de déclenchement sont paramétrables et Nordex les adapte aux conditions de raccordement au réseau.

En cas d'un fonctionnement en dehors des paramètres limites, l'éolienne est arrêtée et séparée du réseau électrique par le système de contrôle.

Lorsque la panne de réseau est résolue, l'éolienne repasse en mode automatique.

9.8 Besoins propres de l'éolienne

Les besoins en puissance de l'éolienne en mode Stand-by regroupent les consommations individuelles des composants suivants :

- Commande (ordinateur de gestion d'exploitation et convertisseur)
- Système d'orientation
- Système à pas
- Agrégat hydraulique
- Pompes de circulation des systèmes de refroidissement
- Chauffages et ventilateurs
- Systèmes auxiliaires (ascenseur, feu de balisage, options, etc.)

En se fondant sur les expériences d'exploitation, on peut partir d'un facteur de simultanéité de 0,5 et d'un facteur de puissance (cos phi) de 0,85.

En tenant compte des facteurs ci-dessus, la puissance connectée est au maximum de 55 kW.

Le besoins énergétiques annuels (consommation d'énergie depuis le réseau) d'un site, avec une vitesse de vent moyenne, est d'environ 15 000 kWh/a. Mais ce chiffre varie fortement d'un site à un autre et doit être défini de manière spécifique.

9.9 Communication

Communication à l'intérieur d'une éolienne

L'ordinateur de gestion d'exploitation est relié au convertisseur principal et au système à pas via Interbus. L'échange de signaux pour toutes les fonctions importantes de l'exploitation a lieu toutes les 10 ms. Cela comprend entre autres la commande du convertisseur et l'enregistrement de signaux.

L'échange de signaux entre le pied du mât et la nacelle de l'éolienne se fait par Ethernet avec des conducteurs à fibres optiques. Cela évite les dérangements par influences électromagnétiques.

Communication à l'intérieur d'un parc éolien

Comme un parc éolien contient souvent plusieurs éoliennes, les communications avec l'extérieur se font toujours via le « Wind Farm Portal »[®]. C'est un serveur de parc auquel toutes les éoliennes d'un parc sont en général connectées en étoile. Le serveur de parc assume la fonction d'un système SCADA (**S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition). Il sert à surveiller, à commander, à analyser, archiver les données, manier et télésurveiller les parcs éoliens. En font également partie d'autres systèmes installés spécifiquement à des projets, tels que des mâts météorologiques, une sous-station de transformation, des installations de compensation, etc.

L'échange de signaux à l'intérieur du parc éolien se fait par Ethernet avec câbles à fibres optiques (monomode).

Communication vers l'extérieur

La communication entre une éolienne ou un parc éolien et des postes externes, par ex. l'organe de télésurveillance ou le client, se fait via Internet, indépendamment du site. Aucun logiciel spécial n'est nécessaire. La communication se fait en général via au moins une connexion ISDN ou DSL. Pour des raisons de sécurité d'exploitation, un parc éolien devrait être équipé d'au moins deux connexions de communication.

Pour les clients, des adresses IP séparées peuvent être mises à disposition pour communiquer avec le parc éolien. Nordex distribue les mots de passe et les noms de connexion. Ces données d'accès permettent de fixer les autorisations personnelles pour un parc éolien.

Échange de données

Dans chaque éolienne, toutes les données d'exploitation sont enregistrées localement pour toute la durée de vie. Les données essentielles sont envoyées en continu au serveur du parc et y sont aussi enregistrées. Chaque éolienne peut envoyer toutes les 24 heures un e-mail de données à une adresse définie, par ex. celle de l'organe de télésurveillance. L'e-mail de données contient les valeurs moyennes à 10 minutes, les journaux d'alarmes, les messages d'événements et de nombreux autres chiffres pour l'analyse statistique du fonctionnement. Cela permet de se représenter les chiffres de production et d'analyser le fonctionnement de l'éolienne.

En outre, les personnes autorisées peuvent se connecter à toutes les éoliennes grâce au Wind Farm Portal[®] et, en cas de besoin, exporter les chiffres de production, les messages d'erreur, les états de fonctionnement, les données météorologiques, etc.

10 Gestion

10.1 Gestion de l'éolienne

La principale tâche de la gestion de l'éolienne (ordinateur de gestion d'exploitation + logiciel Nordex Control 2) est de respecter continuellement les paramètres de l'éolienne pendant le fonctionnement. À cette fin est employée une commande en temps réel, qui relève et traite en continu les données pertinentes. Les paramètres sont prédéterminés par Nordex et adaptés à chaque site. Ceci permet de garantir le fonctionnement automatique et sûr de l'éolienne, quelle que soit la situation.

Si la vitesse de démarrage n'est pas atteinte, l'éolienne reste en état de repos (mode économique), c'est-à-dire que seul l'ordinateur de gestion d'exploitation fonctionne et saisit les données (météorologiques). Les autres systèmes ne seront activés qu'en cas de besoin et ne gaspillent donc pas de courant. Les seules exceptions sont les fonctions de sécurité, comme le système de freinage (pompe hydraulique). Le rotor tourne au ralenti.

Si la vitesse de démarrage est atteinte, l'éolienne passe à l'état « prêt à démarrer ». Tous les systèmes sont maintenant soumis à un contrôle et la nacelle s'oriente en fonction du vent. Si la force du vent augmente, le rotor commence à tourner plus rapidement. Lorsque la vitesse de rotation déterminée est atteinte, la génératrice est raccordée au réseau et l'éolienne commence à produire de l'électricité.

Pendant le fonctionnement, la nacelle suit la direction du vent. Si une certaine valeur limite d'entortillement des câbles du mât est dépassée, l'éolienne est arrêtée et la nacelle retourne dans sa position initiale, c'est-à-dire que les câbles du mât sont désentortillés, voir " Orientation au vent (système d'orientation) ", page 17 et " Protection contre torsion des câbles ", page 24. L'éolienne est ensuite automatiquement redémarrée.

En cas de vitesses de vent faibles, l'éolienne fonctionne en mode de charge partielle. Les pales sont maintenues dans le lit du vent de manière optimale, ce qui leur permet de fonctionner continuellement dans la meilleure aérodynamique et avec une efficacité maximale. La vitesse de rotation du rotor passe en dessous de la vitesse nominale. La puissance générée par l'éolienne dépend maintenant de la vitesse du vent.

Lorsque la vitesse nominale du vent est atteinte, l'éolienne entre dans le fonctionnement de charge nominale. Si la vitesse du vent augmente, la commande modifie l'angle de calage des pales de manière que la vitesse de rotation du rotor soit maintenue constante à la vitesse de rotation nominale et que l'éolienne produise constamment sa puissance nominale.

En cas de dépassement de la vitesse du vent de coupure, l'éolienne s'arrête : l'angle de calage des pales du rotor se fixe à environ 90°, c'est la mise en drapeau. Le rotor freine. Il se met au ralenti jusqu'à ce que la vitesse du vent soit redescendue en dessous de la vitesse du vent de redémarrage. Ainsi, les contraintes exercées sur l'éolienne en cas de gros temps sont considérablement réduites.

Tous les systèmes et de nombreux composants de l'éolienne sont équipés de capteurs informant le système contrôle-commande de leur état. Des valeurs de consigne sont attribuées à chaque point de mesure (paramètres d'exploitation) ; celles-ci doivent être

respectées. Si une valeur mesurée s'écarte de la valeur de consigne, le système de contrôle-commande réagit en conséquence.

Le dépassement de valeurs limites de température prédéterminées provoque par exemple en premier lieu la mise en service de la pompe du circuit de refroidissement. Lorsque la valeur de consigne prédéterminée est à nouveau atteinte, la pompe se remet hors circuit. Si la valeur limite supérieure est dépassée, un avertissement est envoyé à la télésurveillance.

La télésurveillance Nordex détermine ce qu'il faut faire sur la base des données d'exploitation actuelles. Si la température redescend sous une valeur limite prédéterminée, l'avertissement est annulé. Si une troisième valeur limite est dépassée, l'éolienne s'arrête immédiatement. Cette troisième valeur limite est choisie de sorte que l'éolienne ne soit pas encore endommagée.

Dans cet exemple, six valeurs limites sont affectées ainsi à un point de mesure de température, trois valeurs limites de température supérieures et trois valeurs limites de température inférieures.

En cas de dépassement de limites de fonctionnement de l'éolienne prédéterminées, l'éolienne s'arrête immédiatement, par ex. en cas de dépassement de la vitesse du vent de coupure ou en cas de chute de pression dans le système hydraulique. En cas de causes extérieures comme une vitesse du vent trop élevée ou une erreur de réseau, l'éolienne est freinée en douceur. En cas de causes liées à la sécurité, un freinage d'urgence est mis en œuvre et le rotor est freiné le plus rapidement possible.

À partir des données de vent, la commande calcule des valeurs moyennes sur 3 secondes. De ces valeurs moyennes, on déduit des valeurs moyennes sur 30 secondes, et à nouveau des valeurs moyennes sur 10 minutes. Ces valeurs sont utilisées pour réguler l'éolienne. La moyenne sur 10 minutes de vitesse du vent est utilisée pour la commande, pour éviter qu'en raison de turbulences de vent, l'éolienne ne se mette trop fréquemment ou trop vite hors circuit. Pour éviter de brèves et fortes rafales, qui peuvent ne pas être prises en considération dans une moyenne, ne provoquent de dommages, la valeur moyenne sur 3 secondes est également consultée. Ainsi, l'éolienne s'arrête, si la valeur moyenne sur 10 minutes est supérieure à 20 m/s ou si la valeur moyenne sur 3 secondes est supérieure à 26 m/s. Un arrêt en cas de tempête est ainsi garanti.

Après chaque arrêt et pour des raisons de sécurité, un certain délai est nécessaire avant que l'éolienne ne puisse être redémarrée.

Pour les températures basses, l'éolienne démarre une fois que chacun des composants a été chauffé à la température de démarrage. La durée de la période de préchauffage dépend de la situation de départ. Moins les composants se sont refroidis, plus la période de préchauffage est courte. Une procédure de démarrage en fonction de la température protège les composants lors de la mise en service de l'éolienne, jusqu'à obtention des températures optimales de fonctionnement.

Tous les composants essentiels de la machine possèdent des températures de fonctionnement maximales qui sont constamment surveillées. Avant qu'une de ces limites de températures soit atteinte, l'éolienne réduit sa puissance pour pouvoir continuer de fonctionner.

10.2 Gestion du parc éolien

Dans un parc éolien, c'est le Wind Farm Portal[®] Nordex Control 2 qui est utilisé. Il offre de nombreuses possibilités pour surveiller et commander complètement un parc éolien (voir “ Communication ”, page 30).

Les deux tâches principales de la commande d'un parc éolien sont :

- Remplir au mieux les consignes d'alimentation réseau de l'opérateur du réseau
- En cas d'erreur (interne ou externe), mettre à disposition la puissance maximale encore disponible dans le parc éolien

Ces tâches peuvent être réalisées par exemple au moyen des mesures suivantes :

- Démarrage et arrêt progressif de l'éolienne individuelle
- Limitation de puissance active¹
- Gestion de la puissance réactive¹
- Répartition intelligente des valeurs de consigne, c'est-à-dire p. ex. la consigne pour la limitation de la puissance active est répartie sur toutes les éoliennes en fonction de la puissance disponible des éoliennes selon des règles prédéfinies.

1. *Instauration de valeurs de consigne sur la base de valeurs fixes définies ou via une entrée de signal extern.*

11 Indications complémentaires

La société Nordex est certifiée ISO 9001. Le système de management de la qualité et tous les processus de production sont conformes à la norme ISO 9001.

Nordex travaille en collaboration avec plusieurs fournisseurs qualifiés pour tous les composants principaux.

Compte tenu de l'évolution permanente de nos éoliennes, nous nous réservons le droit de procéder à des modifications techniques.

11.1 Conditions et modes de fonctionnement spéciaux

Le non-respect des conditions de fonctionnement exposées peut avoir un effet néfaste sur le fonctionnement de l'éolienne. Ceci peut plus particulièrement causer une diminution de la puissance.

En cas de givre, l'éolienne doit tout d'abord être immobilisée.

Si une exploitation à la puissance nominale est souhaitée à des températures hors de cette plage de conditions ambiantes standard, des extensions techniques supplémentaires sont disponibles.

En fonction des conditions ambiantes et des contraintes thermique des différents composants de l'installation, un fonctionnement à puissance réduite est possible lorsque la température est supérieure aux conditions exigées.

Dans le cadre de certaines combinaisons de fortes vitesses du vent, de températures, de pression atmosphérique et / ou de tensions extrêmes, il se peut que la puissance soit réduite, afin de conserver les conditions exigées des composants de l'éolienne.

En fonction des besoins spécifiques du parc éolien, des prescriptions techniques ou particulières de l'autorité peuvent être réalisées dans la gestion de l'éolienne. Il peut s'agir de réductions ou d'arrêts partiels. L'éolienne peut par ex. être optimisée contre le bruit ou sa puissance réduite quand la capacité d'absorption du réseau d'alimentation est limitée. Des modes de fonctionnement limités sont aussi possibles, programmés ou en fonction de la direction du vent (par ex. module de projection d'ombres).

11.2 Coloris des composants externes

| Composant | Coloris |
|------------------|--------------------------|
| • Mât | RAL 7035 (gris lumineux) |
| • Nacelle | RAL 7035 (gris lumineux) |
| • Moyeu du rotor | RAL 7035 (gris lumineux) |
| • Pales | RAL 7035 (gris lumineux) |

Si un balisage de jour est prescrit pour les pales, les couleurs suivantes sont prévues :

Couleurs depuis la pointe de pale vers l'intérieur :

| | |
|-------|---------------------------------|
| 6 m | RAL 3020 (rouge de circulation) |
| 6 m | RAL 7035 (gris lumineux) |
| 6 m | RAL 3020 (rouge de circulation) |
| Reste | RAL 7035 (gris lumineux) |

11.3 Degré de réflexion

Toutes les couleurs utilisées pour les pales ont un degré de réflexion inférieur à 30 %. Elles sont donc mates ou satiné.

12 Caractéristiques techniques

| Conditions climatiques de la version standard | |
|---|-------------------------------------|
| Température environnante de survie | -20 °C...+50 °C |
| Puissance nominale | -10 °C...+40 °C |
| Arrêter | -10 °C, redémarrage à -8 °C |
| Hauteur max au-dessus de NN | 1000 m |
| Certificat | Classe 3 selon la norme CEI 61400-1 |

| Conception technique | |
|---|--|
| Type | Rotor à 3 pales et axe horizontal contre le vent |
| Régulation de puissance | Variation active de pale unique |
| Puissance nominale | 2400 kW |
| Puissance nominale à partir de vitesse du vent (pour une densité atmosphérique de 1,225 kg/m ³) | Env. 12,5 m/s |
| Plage de vitesse de rotation du rotor | 7,5...13,2 min ⁻¹ |
| Vitesse du vent de démarrage | Env. 3 m/s |
| Vitesse du vent de coupure | 20 m/s |
| Vitesse du vent de redémarrage | 18 m/s |
| Durée de vie théorique | 20 ans |

| Rotor | |
|---|----------------------|
| Diamètre du rotor | 116,8 m |
| Surface couverte | 10715 m ² |
| Vitesse maximale de la pointe des pales | Env. 80 m/s |
| Puissance nominale/surface | 224 W/m ² |
| Angle d'inclinaison de l'arbre rotor | 5° |
| Angle de cône des pales | 3,5° |
| Poids total | Env. 59 t |

| Moyeu du rotor | |
|---|---|
| Matériau | Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS-400-18U-LT |
| Poids total, y compris le système à pas de pale | Env. 27,5 t |

| Pale de rotor | |
|----------------------|---|
| Matériau | Plastique renforcé de fibre de verre et de fibre de carbone |
| Longueur totale | 57,3 m |
| Poids total par pale | Env. 10,4 t |

| Arbre de rotor / palier du rotor | |
|---|---|
| Type | Arbre creux forgé |
| Matériau | 42CrMo4 ou 34CrNiMo6 |
| Poids | Env. 10,3 t |
| Type de roulement | Roulement à rotule sur rouleaux |
| Lubrification | Continue et automatique à graisse lubrifiante |
| Matériau du carter du palier du rotor | Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS-400-18U-LT |

| Multiplificateur | |
|--|---|
| Type | Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel |
| Puissance nominale | 2664 kW |
| Rapport de transmission | 50 Hz : 1 : 98,7 60 Hz : 1 : 118,4 |
| Lubrification | Graissage sous pression |
| Quantité d'huile, y compris circuit de refroidissement | Env. 650 l |
| Type d'huile | VG 320 |
| Température d'huile max | 75 °C |
| Vidange d'huile | Contrôle semestriel, vidange en cas de besoin |
| Poids | Env. 23 t |

| Installation électrique | |
|--|--|
| Puissance nominale P_{nG} | 2400 kW ^{a)} |
| Tension nominale | 3 x AC 660 V \pm 10 % |
| Courant nominal I_{nG} à S_{nG} | 2210 A |
| Puissance nominale apparente S_{nG} à P_{nG} | 2526 kVA |
| Facteur de puissance à P_{nG} | 1,00 comme réglage standard 0,95 en sous-excitation (inductif) à 0,95 en sur-excitation (capacitif) possible |
| Fréquence | 50 ou 60 Hz |

- a. La puissance nominale est soumise à des tolérances propres au système. Pour la puissance nominale, celles-ci sont de ± 75 kW. En pratique, on a vu que les déviations négatives arrivent rarement et s'élèvent souvent à < 20 kW. Pour répondre exactement aux prescriptions externes en matière de puissance, la puissance nominale de chaque éolienne peut être paramétrée correctement. Sinon, le parc éolien peut aussi être paramétré correctement via le Wind Farm Portal[®].

| Génératrice | |
|------------------------------|--|
| Degré de protection | IP 54 |
| Puissance nominale | 2500 kW |
| Tension nominale | 3 x AC 660 V \pm 10 % |
| Fréquence | 50 ou 60 Hz |
| Plage de vitesse de rotation | 50 Hz : 740...1300 min ⁻¹ 60 Hz : 890...1560 min ⁻¹ |
| Pôles | 6 |
| Poids | Env. 10 t |

| Refroidissement et filtration du multiplicateur | |
|--|---|
| Type | Circuit d'huile avec échangeur thermique huile / air et by-pass thermique |
| Débit volumique | Niveau 1 : Env. 52 l/min Niveau 2 : Env.105 l/min |
| Ventilateur sur l'échangeur thermique | 2 étages : 50 Hz : 0,8/3,0 kW 60 Hz : 1,1/4,1 kW |
| Filtre | Filtre grossier 50 μ m Filtre fin 10 μ m |
| Filtre by-pass (option) | 5 μ m |

| Refroidissement générateur | |
|---------------------------------------|---|
| Type | Circuit d'eau avec échangeur thermique eau / air |
| Débit volumique | Env. 70 l/min |
| Liquide de refroidissement | Varidos FSK 45, USA : Intercool LCE-50 |
| Ventilateur sur l'échangeur thermique | 2 étages : 50 Hz : 0,8/3,0 kW 60 Hz : 1,1/4,1 kW |

| Refroidissement convertisseur | |
|---------------------------------------|---|
| Type | Circuit d'eau avec échangeur thermique eau / air et by-pass thermique |
| Débit volumique | Env. 50 l/min |
| Liquide de refroidissement | Varidos FSK 45, USA : Intercool LCE-50 |
| Ventilateur sur l'échangeur thermique | 2 étages : 50 Hz : 1,1/1,8 kW 60 Hz : 1,4/2,2 kW |

| Frein aérodynamique | |
|----------------------------|------------------------------------|
| Type | Orientation individuelle des pales |
| Activation | Électromécanique |

| Frein mécanique | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Type | Frein à disque à actionnement actif |
| Emplacement | Sur l'arbre rapide |
| Diamètre du disque | 1030 mm |
| Nombre d'étriers de frein | 1 |
| Matériau des garnitures de frein | Métal fritté |

| Système à pas | |
|--------------------------------|---|
| Roulement de pale de rotor | Palier à 4 points, 2 rangées |
| Lubrification | Dispositif de lubrification automatique par graisse |
| Entraînement | Moteur triphasé comprenant un frein à ressort et Engrenage planétaire à plusieurs niveaux |
| Alimentation courant d'urgence | Accumulateurs en plomb |

| Système hydraulique | |
|--|----------------|
| Huile hydraulique | VG 32 |
| Quantité d'huile | Env. 20 l |
| Puissance nominale de la pompe hydraulique | 1,1 kW |
| Protection thermique | PT100 intégrée |

| Matériel de la nacelle | |
|---|---|
| Châssis machine | Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS-400-18U-LT |
| Matériel du châssis générateur et de la structure métallique porteuse | Acier de construction S235JR |
| Matériel du revêtement de la nacelle | Plastique renforcé de fibres de verre |

| Roulement de système d'orientation | |
|---|--------------------|
| Type | Roulement à billes |
| Matériau | 42CrMo4 |
| Poids | Env. 2,3 t |

| Moteur d'orientation | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Moteur | Moteur asynchrone |
| Multiplicateur | Engrenage planétaire à 4 étages |
| Nombre d'entraînements | 4 |
| Lubrification | Huile, ISO VG 620 |
| Quantité d'huile | Env. 21 l |
| Vitesse d'orientation | Env. 0,5 °/s |

| Frein de système d'orientation | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Type | Frein à disque avec étriers de frein hydrauliques |
| Matériau des garnitures de frein | Organique |
| Nombre d'étriers de frein | 14 |
| 2. Type | Frein électrique à ressort sur chacun des moteurs d'entraînement |

| Mât tubulaire en acier | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Matériau | UE : S355 USA : A709/A572-50 |
| Protection contre la corrosion | Revêtement multicouche résine époxy |
| Fixation du pied du mât | Cage d'ancrage noyée dans le béton |

| Hauteur de moyeu | 91 m MT5 | | |
|---|-----------------|--|--|
| Classe de vent | DIBt 2/CEI 3a | | |
| Nombre de sections de mât | 5 | | |
| Poids tous composants compris [t], env. | encore ouvert | | |

MT5 : Mât modulaire, génération 5

| Commande | | |
|---------------------------|----------------------|--|
| Type | matériel logiciel | Remote Field Controller/PLC, Nordex Control 2 |
| Démarrage automatique : | | |
| - après coupure de réseau | | oui |
| - après vent de coupure | | oui |

Sales document

Wind turbine class K08 delta

Type: N117/3000
Technical description



K0801_041798_EN

Revision 01 / 2013-01-18

- Translation of the original sales document -
This document is a translation from German. In case of doubt, the German text shall prevail.

Document is published in electronic form.

Signed original at Nordex Energy GmbH, Department Central Engineering.

Technical modifications

This document was created with utmost care, taking into account the currently applicable standards.

However, due to continuous development, the figures, functional steps and technical data are subject to change without prior notice.

Copyright

Copyright 2013 by Nordex Energy GmbH.

This document including its presentation and content is the intellectual property of Nordex Energy GmbH.

Any disclosure, duplication or translation of this document or parts thereof in printed, handwritten or electronic form without the explicit approval of Nordex Energy GmbH is explicitly prohibited.

All rights reserved.

Contact details

For questions relating to this documentation please contact:

Nordex Energy GmbH

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hamburg

Germany

<http://www.nordex-online.com>

info@nordex-online.com

| | | |
|-----------|-----------------------------------|-----------|
| 1. | Set-up | 4 |
| 1.1 | Tower | 4 |
| 1.2 | Rotor | 6 |
| 1.3 | Nacelle | 6 |
| 1.4 | Auxiliary systems | 8 |
| 2. | Functional principle | 10 |
| 3. | Technical data | 11 |
| 4. | Revision index | 15 |

1. Set-up

The Nordex N117/3000 wind turbine is a speed-variable wind turbine with a rotor diameter of 116.8 m and a nominal power of 3000 kW. This wind turbine is designed for 50 Hz or 60 Hz. The wind turbine is designed for class 2a in accordance with IEC 61400-1.

The wind turbine Nordex N117/3000 is made up of the following main components:

- Rotor, consisting of rotor hub, three rotor blades and the pitch system
- Nacelle with drive train, generator and yaw system
- Tubular tower or hybrid tower with foundation
- Medium-voltage transformer (MV transformer) and medium-voltage switchgear (MV switchgear)

1.1 Tower

The Nordex N117/3000 is erected on tubular steel towers or hybrid towers for different rotor hub heights and wind zones.

The **tubular steel tower** is a cylindrical tower. The top section is conical. Depending on the hub height, it consists of four to seven tower sections.

Corrosion protection of the tubular steel tower is ensured by a tower surface coating system according to ISO 12944.

A service lift, the vertical ladder with fall protection system as well as resting and working platforms inside the tower allow for a weather-protected ascent to the nacelle.

The Nordex N117/3000 turbine may be erected on a **hybrid tower**, too. The bottom part of the hybrid tower consists of a concrete tower and the top part of a tubular steel tower with two sections.

The **foundation** depends on the ground conditions at the intended site. An anchor cage is imbedded in the foundation for anchoring the tower. Tower and anchor cage are screwed together.

In the standard version, the **tower base** only accommodates the switch cabinet. The switch cabinet contains important components of the electronic controls, turbine PC, frequency converter, main switch, fuses and outputs to the transformer and to the generator.

The frequency converter is equipped with a water cooling system. The water which was heated in the frequency converter is cooled in a water/air heat exchanger. It is located at the outside close to the tower door.

The MV transformer and MV switchgear are located in a separate transformer substation near the wind turbine.

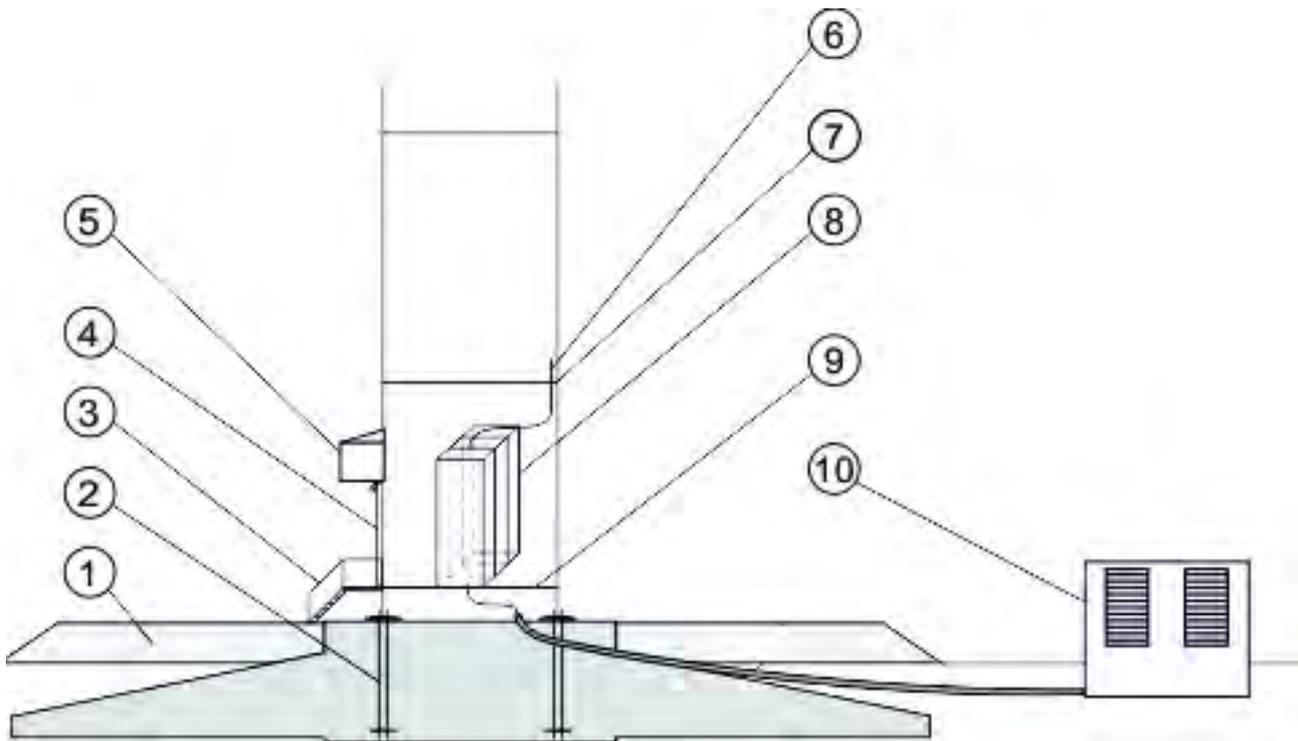


Fig. 1 Sectional view of the tower base, standard version

- 1 Soil backfill
- 2 Tower anchoring
- 3 Stairs
- 4 Tower door
- 5 Ventilation/cooling
- 6 Power cables
- 7 2nd Tower platform
- 8 Switch cabinet
- 9 1st Tower platform
- 10 Transformer substation

As an option, the MV transformer and MV switchgear can also be installed in the tower base. In this case, the components are arranged in the tower base on three different levels:

- The MV transformer on the foundation
- The MV switchgear on the 1st tower platform
- The switch cabinet with frequency converter on the 2nd tower platform

In the case of a separate transformer substation, the MV transformer is usually designed as an oil transformer. If the transformer is installed inside the tower, a dry-type transformer is used.

1.2 Rotor

The rotor consists of the rotor hub with three pitch bearings and three pitch drives for blade adjustment as well as three rotor blades.

The **rotor hub** has a modular design. The base frame of the rotor hub is made up of a stiff cast structure. Onto this element, pitch bearing and rotor blade are mounted. The rotor hub is covered with the spinner which enables the direct access from the nacelle into the rotor hub.

The **rotor blades** are made of high-quality glass-reinforced and carbon-fiberreinforced plastics. Each rotor blade is equipped with a highly effective lightning protection system.

In accordance with the guidelines IEC TS 61400-23 and GL IV-1 (2400) the rotor blade was statically and dynamically tested with loads that were even beyond standard design requirements.

The **pitch system** serves to adjust the pitch angle of the rotor blades set by the control system. For each individual rotor blade, the pitch system comprises an electromagnetic drive with 3-phase motor, planetary gear and drive pinion, as well as a control unit with frequency converter and emergency power supply. Power supply and signal transfer are realized through a slip ring assembly located in the nacelle.

1.3 Nacelle

The nacelle contains essential mechanical and electronic components of the wind turbine. The nacelle is mounted on the tower in rotating bearings.

The **rotor shaft** is mounted on the rotor bearing in the nacelle. In the rotor bearing a mechanical rotor lock is integrated used to securely lock the rotor.

The **gearbox** increases the rotor speed until it reaches the speed required for the generator.

The bearings and gearings are continuously lubricated with cooled oil. A 2-stage pump enables the oil circulation. A combined filter element with integrated coarse and fine filter removes solids. The control system monitors the level of contamination of the filter elements (differential pressure measurement). Optionally, an additional offline filtration can be installed (super fine-mesh filter 5 µm).

The gear oil used for lubrication also serves as a gearbox cooling. The temperatures of the gearbox bearings and the oil are continually monitored. When the optimum operating temperature is not reached yet, a thermal bypass shorts the circuit and conducts the gear oil back to the gearbox. If the optimum working temperature of the gear oil is exceeded it is cooled down.

The gearbox cooling is achieved with an oil/water cooler with stepped cooling capacity. The cooler is installed directly at the gearbox. The heated cooling water is re-cooled together with the cooling water of the generator in a passive cooler on the roof of the nacelle.

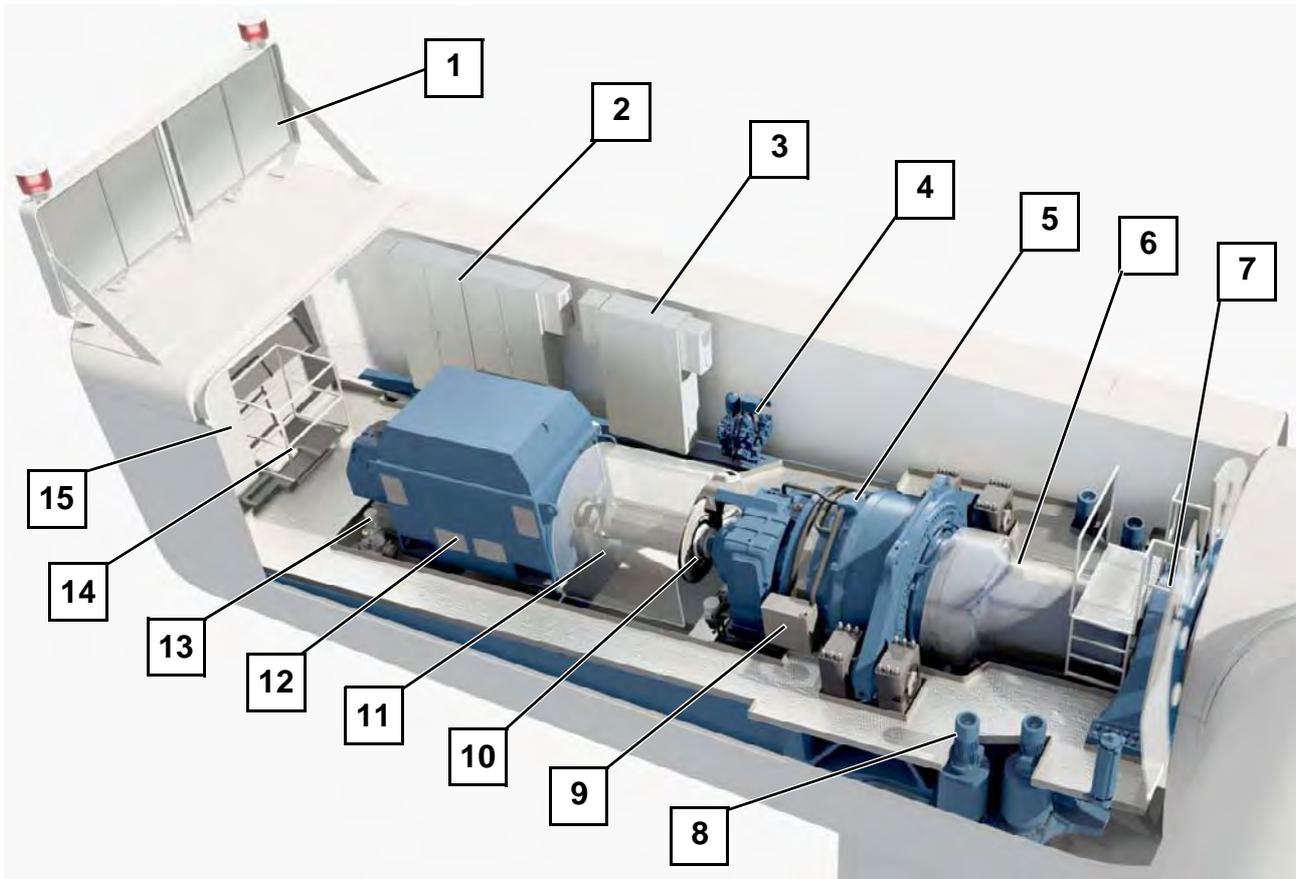


Fig. 2 *Nacelle layout drawing*

- 1 Heat exchanger
- 2 Switch cabinet 2
- 3 Switch cabinet 1
- 4 Hydraulic unit
- 5 Gearbox
- 6 Rotor shaft
- 7 Rotor bearing
- 8 Yaw drive
- 9 Gear oil cooler
- 10 Rotor brake
- 11 Coupling
- 12 Generator
- 13 Cooling water pump
- 14 Hatch for on-board crane
- 15 Switch cabinet 3

The **generator** is a 6-pole double-fed asynchronous machine. An air/water heat exchanger is mounted on the generator. The cooling water is recooled together with the cooling water of the gearbox heat exchanger in a passive cooler on the cabin roof.

The mechanical **rotor brake** supports the aerodynamic braking effect of the rotor blades as soon as the speed falls below a defined value and finally stops the rotor. The aerodynamic braking effect of the rotor is achieved by adjusting the rotor blades perpendicular towards the rotation direction. The rotor brake consists of a brake caliper which acts on the brake disk mounted behind the gearbox.

The **yaw drives** optimally rotate the nacelle into the wind. The four yaw drives are located on the machine frame in the nacelle. A yaw drive consists of an electric motor, multi-stage planetary gear and drive pinion. The drive pinions mesh with the external teeth of the yaw bearing.

If positioned properly the nacelle is locked by means of a electric brake system. It consists of several brake calipers which are fastened to the machine frame and act on a brake disk. In addition, the electric motors of the yaw drives are equipped with an electrically actuated holding brake.

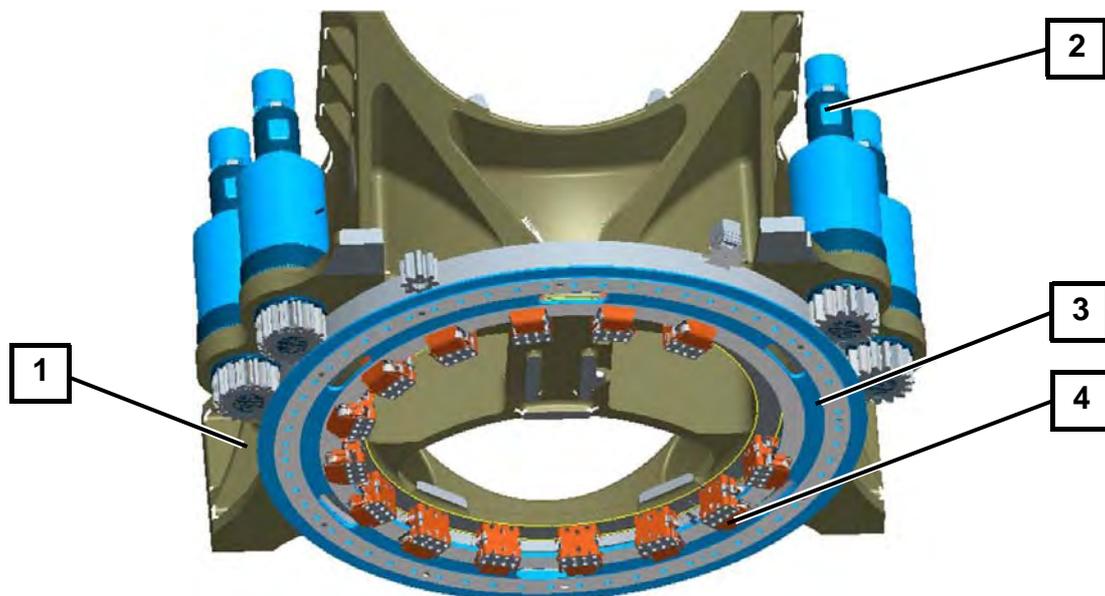


Fig. 3 Components of the yaw system

- 1 Machine frame
- 2 Yaw drives in mesh with yaw bearing teeth
- 3 Yaw bearing
- 4 Brake caliper

The **hydraulic unit** provides the oil pressure for the operation of the rotor brake and the yaw brakes.

1.4 Auxiliary systems

An **automatic lubrication unit** each is provided for the rotor bearing, the generator bearing, the pitch gearings, the pitch races and the yaw gearing.

The switch cabinets in the rotor hub, in the nacelle and in the tower base of the wind turbine are equipped with **air conditioning units**.

Gearbox, generator and hydraulic unit are equipped with **heaters**.

A **chain hoist** is installed firmly in the nacelle which is used for lifting tools, components and other work materials from the ground into the nacelle. A second, movable **overhead crane** is used for carrying the materials within the nacelle.

2. Functional principle

The turbine operates automatically. A programmable logic controller (PLC) continuously monitors the operating parameters using various sensors, compares the actual values with the corresponding setpoints and issues the required control signals to the WT components. The operating parameters are defined by Nordex and adapted to the individual site.

When there is no wind the WT remains in idle mode. Only various auxiliary systems, such as heating and gear lubrication, and the PLC, which monitors the data from the wind measuring system, are operational. All other systems are switched off and do not use any power. The rotor idles.

When the cut-in wind speed is reached, the wind turbine changes to the mode 'Ready for operation'. Now all systems are tested, the nacelle aligns to the wind and the rotor blades turn into the wind. When a certain speed is reached, the generator is connected to the grid and the WT produces electricity.

At low wind speeds the WT operates in part-load operation. In the course of this the rotor blades remain fully turned into the wind (pitch angle 0°). The power produced by the WT depends on the wind speed.

When the nominal wind speed is reached, the WT switches over to the nominal load range. If the wind speed continues to increase, the speed control changes the rotor blade angle so that the rotor speed and thus the power output of the WT remain constant.

The yaw system ensures that the nacelle is always optimally aligned to the wind. To this end, two separate wind measuring systems located at the height of the hub measure the wind direction. Only one wind measuring system is required for control system, while the second monitors the first and takes over in case the first system fails. If the measured wind direction varies too greatly from the alignment of the nacelle, the nacelle is yawed into the wind.

The conversion of the wind energy absorbed from the rotor to electrical energy is achieved using a double-fed asynchronous generator with slip ring rotor. Its stator is directly and its rotor via a specially controlled frequency converter connected to the MV transformer. This offers a significant advantage enabling the generator to be operated in a defined speed range near its synchronous speed.

If certain parameters concerning turbine safety are exceeded, the WT will cut out immediately, e.g. if the cut-out wind speed is exceeded. Depending on the cause of the cut-out, various braking programs are triggered. In the case of external causes, such as excessive wind speeds or grid failure, the rotor is softly braked by means of rotor blade adjustment.

3. Technical data

| Climatic design data of the standard version | |
|--|--|
| Design temperature | Standard -20 °C...+50 °C CCV -40 °C...+50 °C HCV -20 °C...+50 °C |
| Operating temperature range | -20 °C ... +40 °C |
| Operating temperature range CCV | -30 °C ... +40 °C |
| Operating temperature range HCV | -20 °C ... +45 °C |
| Stop | Standard -20 °C, restart at -18 °C CCV -30 °C, restart at -28 °C HCV -20 °C, restart at -18 °C |
| Max. height above MSL | 2000 m* |
| Certificate | According to IEC 61400-1 |

* At installation altitudes above 1000 m, the nominal power can be achieved up to the defined temperature ranges.

| Design | |
|--|---|
| Type | 3-blade rotor with horizontal axis Up-wind turbine |
| Power control | Active single blade adjustment |
| Nominal power | 3000 kW |
| Nominal power starting at wind speeds of (at air density of 1.225 kg/m ³) | Approx. 12 m/s |
| Operating speed range of the rotor | 8.0...14.1 rpm |
| Nominal speed | 12.6 rpm |
| Cut-in wind speed | Approx. 3 m/s |
| Cut-out wind speed | 25 m/s |
| Cut-back-in wind speed | 22 m/s |
| Calculated service life | 20 years |

| Towers | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|----------------------|
| Hub height | 91 m | 120 m | 141 m |
| Name | R91 | R120 | PH141 |
| Wind class | DIBt 3/IEC 2a | DIBt 2/IEC 2a | DIBt 2/IEC 3a |
| Number of tower sections | 4 | 7 | 2 (+ concrete tower) |

| Rotor | |
|-------------------------------|----------------------|
| Rotor diameter | 116.8 m |
| Swept area | 10715 m ² |
| Nominal power/area | 280 W/m ² |
| Rotor shaft inclination angle | 5° |
| Blade cone angle | 3.5° |

| Rotor blade | |
|------------------------|--|
| Material | Glass-reinforced and carbon-fiberreinforced plastics |
| Total length | 57.3 m |
| Total weight per blade | Approx. 10.6 t |

| Rotor shaft/rotor bearing | |
|----------------------------------|--|
| Type | Forged hollow shaft |
| Material | 42CrMo4 or 34CrNiMo6 |
| Bearing type | Spherical roller bearing |
| Lubrication | Continuous and automatic with lubricating grease |
| Rotor bearing housing material | EN-GJS-400-18U-LT |

| Gearbox | |
|----------------------|---|
| Type | Multi-stage planetary gear + spur gear |
| Gear ratio | 50 Hz: $i=92 \pm 1\%$ 60 Hz: $i=111 \pm 1\%$ |
| Lubrication | Forced-feed lubrication |
| Oil type | VG 320 |
| Max. oil temperature | 75 °C |
| Oil change | Change, if required |

| Electrical system | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Nominal power P_{nG} | 3000 kW |
| Nominal voltage | 3 x AC 660 V $\pm 10\%$ |
| Nominal current I_{nG} at S_{nG} | 3240 A |

| Electrical system | |
|---|--|
| Nominal apparent power S_{nG} at P_{nG} | 3333 kVA |
| Power factor at P_{nG} | 1.00 as default setting 0.9 underexcited (inductive) up to 0.9 overexcited (capacitive) possible |
| Frequency | 50 or 60 Hz |

**NOTE**

The nominal power is subject to system-specific tolerances. During nominal power, they are ± 100 kW. Practice has shown that negative deviations occur rarely and in most cases are < 25 kW. For the precise compliance with external power specifications the nominal power of the single wind turbine may be parameterized accordingly. Alternatively, the wind farm can be parameterized accordingly using the Wind Farm Portal®.

| Generator | |
|----------------------|--|
| Degree of protection | IP 54 (slip ring box IP 23) |
| Nominal power | 3090 kW |
| Nominal voltage | 660 V |
| Frequency | 50 or 60 Hz |
| Speed range | 50 Hz: 700 ... 1300 rpm 60 Hz: 840 ... 1560 rpm |
| Poles | 6 |
| Weight | Approx. 10.6 t |

| Gearbox cooling and filtration | |
|---------------------------------------|---|
| Type | 1. Cooling circuit: Oil circuit with oil/water heat exchanger and thermal bypass 2. Cooling circuit: Water/air together with generator cooling |
| filter | Coarse filter 50 μm Fine-mesh filter 10 μm |
| Offline filter (optional) | 5 μm |

| Generator cooling | |
|--------------------------|---|
| Type | Water circuit with water/air heat exchanger |
| Cooling water pump | 50 Hz: 1.3 kW 60 Hz: 1.1 kW |

| Generator cooling | |
|--------------------------|----------------------------|
| Flow rate | Approx. 70 l/min |
| Coolant | Water/glycol-based coolant |

| Converter cooling | |
|--------------------------|--|
| Type | Water circuit with water/air heat exchanger and thermal bypass |
| Coolant | Water/glycol-based coolant |

| Pitch System | |
|----------------------------|--|
| Pitch bearing | Double-row four-point contact bearing |
| Lubrication of the gearing | Automatic lubrication unit with grease |
| Drive | 3-phase motor incl. spring-actuated brake and multi-stage planetary gear |
| Emergency power supply | Lead-acid batteries |

| Hydraulic system | |
|-------------------------|------------------|
| Hydraulic oil | VG 32 |
| Oil quantity | Approx. 20 l |
| Thermal protection | Integrated PT100 |

| Yaw drive | |
|------------------|------------------------|
| Motor | Asynchronous motor |
| Gearbox | 4-stage planetary gear |
| Number of drives | 4 |
| Lubrication | Oil, ISO VG 150 |
| Yaw speed | Approx. 0.5 °/s |

4. Revision index

| Rev. | Date | Modification | AST | Author |
|------|------------|--------------|------|----------|
| 01 | 2013-01-18 | New | 7592 | R. Simon |

Nordex Energy GmbH
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany
<http://www.nordex-online.com>
info@nordex-online.com
