23/12/2011

MSE LA TOMBELLE

PROJET EOLIEN DE GUISCARD (OISE, 60)

ANNEXE 2 DE L'ETUDE DE DANGERS : ETUDE PROBABILISTE

MSE La Tombelle

Suresnes, le 7 septembre 2011
761-24 - BLISE/NT/11-1868

MSE LA TOMBELLE

--*

ETUDE DE PROBABITE D'ATTEINTE DES CIBLES POUR UN PROJET D'IMPLANTATION D'EOLIENNES SUR LA COMMUNE DE GUISCARD (60)

Agence Ile de France & Siège Administratif : 22, quai Gallieni – 92158 SURESNES Cedex – Tél. : +33 (0)1 42 04 50 00 – Fax : +33 (0)1 47 72 99 20
Siège Social : 1, boulevard Jean Moulin – ZAC de la Clé Saint-Pierre – 78990 ELANCOURT
Agence Sud-Est : ZI Couperigne - Centre Tertiaire Marseille Aéroport - Bâtiment B - BP 50244 - 13747 VITROLLES - Tél. : +33 (0)4 42 89 12 05 – Fax : +33 (0)4 42 89 95 91
Agence Sud-Ouest : ZAC du Grand Noble – Immeuble Antipolis – Avenue Normandie Niémen – 31700 BLAGNAC – Tél. +33 (0)5 61 30 99 00 – Fax : +33 (0)5 61 30 99 01

BUSINESS LINE INDUSTRIAL SAFETY ENGINEERING	ORGANISME EMETTEUR APSYS LA MAITRISE DES RISQUES	**Siège Administratif** 22 Quai Gallieni 92158 SURESNES CEDEX

CLASSIFICATION			Marché ou contrat	
Secret militaire	Secret industriel		Numéro du marché ou du contrat	Organisme client
NC	**CI**		**71 11 01 0001 ID 00 (Contrat et avenant n°1)**	**MSE LA TOMBELLE (MAÏA EOLIS)**
Contractuel	Lot	Poste	Programme	
Oui	**-**	**-**	**-**	

Titre :	Etude de sécurité / probabiliste dans le cadre d'un projet d'implantation d'éoliennes sur la commune de Guiscard (60)
Auteur :	E. LOUVET

Identification du document	Nombre de pages		
APSYS : 761-24 - BLISE/NT/11-1868	Texte	Planche	Annexe
(client) :	**29**	**-**	**5**

Date :	Réf. du fichier :
07 septembre 2011	**761-24 – MAIA EOLIS - Etude sécurité implantation d'éoliennes_Guiscard_VF.doc**

Résumé d'auteur :

Le présent document est une étude balistique et probabiliste liée à un projet d'implantation d'éoliennes sur la commune de Guiscard (60). Le projet concerne 5 éoliennes Repower MM92. L'étude permet de :

- Déterminer la portée maximale de 3 types de fragments de pale (pale entière, tiers extrême et extrémité) au travers d'une étude balistique ;
- Déterminer la probabilité d'atteinte des cibles (habitations, routes : D128, D130, D572, route entre Guiscard et Beines et chemin de Grande Randonnée de Pays – Tour du Noyonnais) par d'éventuels bris de pale au travers d'une étude probabiliste.

Notions d'indexage	Vérification	Approbation
Eoliennes Balistique Probabilités	**P. LEFEVRE**	P.O. F. CHEVALIER **T. TIXIER**

SOMMAIRE

1. IDENTIFICATION DU DEMANDEUR 6

2. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE 7

3. PRESENTATION DES PROJETS D'IMPLANTATION ET DES INSTALLATIONS 8

3.1. PRESENTATION DU PROJET DE PARC EOLIEN 8

3.2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS 9

3.2.1 Principe de fonctionnement d'une éolienne 9

3.2.2 Description des éoliennes étudiées 9

4. ANALYSE DES RISQUES ET MESURES DE PREVENTION/PROTECTION 10

5. ETUDE BALISTIQUE DE LA PROJECTION DE FRAGMENTS DE PALES 12

5.1. DESCRIPTION DES SCENARIOS 12

5.2. METHODOLOGIE ET MOYENS DE CALCUL 12

5.3. RESULTATS DES CALCULS BALISTIQUES 14

6. CONSEQUENCES PAR RAPPORT AUX CIBLES 16

6.1. PROBABILITE D'EJECTION DE BRIS DE PALE 16

6.2. PROBABILITE D'ATTEINTE D'UNE CIBLE 17

6.2.1 Interprétation de la fréquence des vents en fonction des directions 17

6.2.2 Interprétation des distances d'atteinte des fragments 17

6.2.3 Interprétation du trafic sur les routes impactées 19

6.2.4 Interprétation de la fréquentation du chemin de GR 20

6.2.5 Cible : Route départementale D130 21

6.2.6 Cible : Route entre Guiscard et Beines 22

6.2.7 Cible : Chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais 25

6.3. PROBABILITES TOTALES : EJECTION ET ATTEINTE D'UNE CIBLE 28

7. CONCLUSIONS 29

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Représentation des distances prises en compte et des angles d'approche (exemple sur une route) 18

TABLEAUX

Tableau 1 : Distances entre les éoliennes du projet Guiscard et les habitations les plus proches 8
Tableau 2 : Distances minimales entre les éoliennes du projet Guiscard et les routes étudiées.....8
Tableau 3 : Caractéristiques des éoliennes Repower MM92 étudiées.....9
Tableau 4 : Propriétés des fragments lors du bris d'une pale de l'éolienne Repower MM92.....13
Tableau 5 : Synthèse des résultats - distances maximales atteintes en considérant le terrain plat.....14
Tableau 6 : Identification des éoliennes du projet Guiscard ayant un impact potentiel sur les cibles étudiées (éoliennes repérées en rouge) 15
Tableau 7 : Répartition de la taille des fragments 16
Tableau 8 : Interceptions des secteurs d'étude et de la D130.....21
Tableau 9 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route D130 par un fragment de l'éolienne E1 22
Tableau 10 : Interceptions des secteurs d'étude et de la route entre Guiscard et Beines 22
Tableau 11 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E1.....23
Tableau 12 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E2.....23
Tableau 13 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E3.....24
Tableau 14 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E4.....24
Tableau 15 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment d'éolienne du projet Guiscard 24
Tableau 16 : Interceptions des secteurs d'étude et du chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais.....25
Tableau 17 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E2.....26
Tableau 18 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E3.....26
Tableau 19 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E4.....27
Tableau 20 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E5.....27
Tableau 21 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de pays Tour du Noyonnais par un fragment d'éolienne du projet Guiscard 27
Tableau 22 : Probabilité finale d'atteinte de la route départementale RD130 par un fragment d'éolienne.....28
Tableau 23 : Probabilité finale d'atteinte de la route entre Guiscard et Beines par un fragment d'éolienne 28
Tableau 24 : Probabilité finale d'atteinte du chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment d'éolienne 28

ANNEXES

Annexe 1 : Plan d'implantation des éoliennes
Annexe 2 : Principe des calculs balistiques
Annexe 3 : Caractéristiques des éoliennes
Annexe 4 : Tracés des distances maximales atteintes par des fragments lors de bris de pale
Annexe 5 : Rose des vents

1. IDENTIFICATION DU DEMANDEUR

Société :	MSE La Tombelle
Adresse :	Tour de Lille (19ème étage) Boulevard de Turin 59777 LILLE
Téléphone :	03.20.214.214
Télécopie :	03.20.131.23
Forme juridique :	Société en Nom Collectif (SNC)
Capital :	10 000 €
RCS :	RCS LILLE 480 141 936
Code APE :	7112B

Rédacteur de l'étude :	CASSIDIAN-APSYS 22, Quai Gallieni 92158 SURESNES CEDEX
Responsable de l'étude :	Thomas PETIT MAÏA EOLIS

2. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Il existe actuellement un projet d'implantation de 5 éoliennes sur la commune de Guiscard (60).
L'objectif de la présente étude est de qualifier et de quantifier les scénarios de « bris de pales » dans le cadre de ce projet du fait de la présence d'habitations, de routes et chemins à proximité du site :

- la route départementale D128,
- la route départementale D130,
- la route départementale D572,
- la route entre Guiscard et Beines,
- le chemin de Grande Randonnée (GR) du Pays Tour du Noyonnais.

La première partie de cette étude est l'étude balistique correspondant à ces éoliennes de type Repower MM92. Les calculs sont réalisés pour différents fragments de pale avec le logiciel BISE développé par APSYS.
Dans la seconde partie, une analyse des probabilités d'atteinte des différentes cibles (D128, D130, D572, route entre Guiscard et Beines, GR du Pays Tour du Noyonnais et les habitations les plus proches) est menée.

3. PRESENTATION DES PROJETS D'IMPLANTATION ET DES INSTALLATIONS

3.1. PRESENTATION DU PROJET DE PARC EOLIEN

Le projet considéré concerne la création d'une centrale d'énergie par éoliennes sur la commune de Guiscard dans le département de l'Oise (60). Ce parc éolien, qui compte 5 éoliennes, sera situé à proximité d'habitations, de routes et de chemins : D128, D130, D572, route entre Guiscard et Beines et GR de Pays Tour du Noyonnais.

Les plans de situation des sites destinés à accueillir les projets sont présentés en annexe.

Annexe 1 : Plan d'implantation des éoliennes

En complément, les distances minimales qui séparent les éoliennes des cibles sont présentées dans les Tableau 1 et Tableau 2.

Tableau 1 : Distances entre les éoliennes du projet Guiscard et les habitations les plus proches

Eolienne	Habitation la plus proche	Distances Habitation - Eolienne
1	Hameau Mon Plaisir (Berlancourt)	730 mètres
2	Hameau Buchoire (Guiscard)	850 mètres
3	Hameau Buchoire (Guiscard)	910 mètres
4	Ferme Boutavent (Guiscard)	870 mètres
5	Ferme du Bois Bonnard (Guiscard)	790 mètres

Tableau 2 : Distances minimales entre les éoliennes du projet Guiscard et les routes étudiées

Eolienne	Distance à la route D128	Distance à la route D130	Distance à la route D572	Distance à la route entre Guiscard et Beines	Distance au chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais
1	956 mètres	130 mètres	1022 mètres	108 mètres	407 mètres
2	804 mètres	435 mètres	848 mètres	304 mètres	283 mètres
3	739 mètres	717 mètres	717 mètres	348 mètres	221 mètres
4	783 mètres	1022 mètres	957 mètres	348 mètres	153 mètres
5	696 mètres	1370 mètres	1043 mètres	674 mètres	62 mètres

3.2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

3.2.1 Principe de fonctionnement d'une éolienne

Le but d'une éolienne est de transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Une éolienne se compose :

- du rotor et de ses pales supportées par un moyeu et mis en mouvement par l'action du vent,
- d'une nacelle contenant tout le dispositif nécessaire à la production d'électricité :
  - . d'un arbre principal dit lent entraîné par les pales,
  - . d'un multiplicateur,
  - . d'un arbre dit rapide dont la vitesse de rotation est ajustée par le multiplicateur,
  - . d'une génératrice produisant de l'électricité,
  - . d'un système d'arrêt mécanique à disque,
  - . d'un système de freinage aérodynamique,
- d'une tour ou mât permettant d'élever le rotor pour une utilisation optimale du gisement éolien.

<u>Nota :</u> les systèmes de sécurité comprennent un à deux systèmes indépendants des systèmes électriques et électroniques, basés sur la force centrifuge.

Les scénarios retenus pour l'étude balistique concernent uniquement les pales des éoliennes.

3.2.2 Description des éoliennes étudiées

Les éoliennes Repower MM92 sont des éoliennes à vitesse de rotation variable, dont les principales caractéristiques sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des éoliennes Repower MM92 étudiées

Caractéristiques	Eolienne Repower MM92
Hauteur du mât	80 m
Diamètre du rotor	92,5 m
Longueur de pale	45,2 m
Vitesse de rotation minimale	7,8 tr/min
Vitesse de rotation nominale maximale	15 tr/min

4. ANALYSE DES RISQUES ET MESURES DE PREVENTION/PROTECTION

L'analyse du retour d'expérience à partir d'une base de données [ISET, 2001] recensant les dysfonctionnements survenus sur des éoliennes (janvier - décembre 2001), montre que les principales causes des dysfonctionnements recensés concernent des défaillances matérielles et ruptures de composants (47 %), ainsi que des dysfonctionnements du dispositif de commande de l'installation (22 %). Les défaillances d'origine externe comme l'impact de la foudre et le givrage des pales, ne représentent que 13 % des dysfonctionnements recensés. Dans environ 62 % des défaillances d'origine interne et externe, la conséquence du dysfonctionnement est l'arrêt automatique de l'installation.

Des statistiques relatives au recensement des défaillances matérielles survenues sur 2 896 éoliennes [WindStats, 2000] montrent que les composants les plus sensibles sont le multiplicateur, la génératrice et le système électrique. En effet, environ un tiers des réparations faisant suite au dysfonctionnement des installations concerne le système électrique [ISET, 2001].

Globalement, le risque de rupture de l'éolienne complète, de la nacelle ou encore des pales est faible (0,2 à 0,4 % des incidents recensés). Toutefois, le déséquilibre provoqué par la rupture de tout ou partie d'une pale peut entraîner la destruction totale de l'éolienne.

Pour éviter ces défaillances, les constructeurs d'éoliennes ont amélioré la qualité et la fiabilité des composants, notamment les détecteurs du système de commande permettant d'évaluer en permanence le comportement vibratoire de chaque composant.

Les risques principaux pour l'environnement liés au fonctionnement d'une éolienne concernent le bris d'une pale et la chute du mât (non étudiée dans la présente étude).

Les accidents survenus sur des éoliennes indiquent que la chute du mât est un événement extrêmement rare, les points de rupture concernant plutôt les jonctions entre la nacelle et le mât, et entre les pales et le moyeu. L'ADEME mentionne (sur son site Internet) que toutes les machines implantées en France ont résisté à la tempête de décembre 1999.

Le pourcentage d'éoliennes ayant subi une rupture de pale est inférieur à 0,4 % [WindStats, 2000], et l'ADEME, ainsi que le rapport DRIRE n°04-05 de juillet 2004, mentionne qu'aucun riverain ni visiteur d'un parc éolien n'a été tué ou blessé par des éoliennes, pour la globalité du parc mondial comptant plus de 30 000 machines dont certaines fonctionnent depuis une vingtaine d'années.

Toutefois, en terme de voisinage, d'activités économiques et de voies de communication, le risque le plus important à considérer est celui d'une rupture de tout ou partie de pale, même si le retour d'expérience sur les parcs éoliens montre que la destruction d'une pale n'entraîne pas systématiquement sa projection.

Deux causes principales peuvent expliquer les phénomènes de bris de pales :

- la fatigue des matériaux : ce fut notamment le cas avec les premières machines installées, il y a plus de vingt ans, qui étaient équipées de pales métalliques. En effet, la mauvaise tenue à la fatigue du métal (les pales sont soumises à des flexions répétées) pouvait engendrer des faiblesses structurelles et notamment des fissures. Aujourd'hui, les pales sont construites à partir de matériaux composites qui sont légers et extrêmement résistants vis-à-vis des sollicitations alternées donc de la fatigue.

- la survitesse : quand le système de freinage du rotor est défaillant, la vitesse peut atteindre les limites aérodynamiques possibles, ce qui correspond à la vitesse du son en extrémité de pale (la vitesse du son étant de 330 m/s, cela correspond, pour des pales de 45 m, à une vitesse de rotation de 70 tr/min). La traînée aérodynamique et les forces portantes sont fortement accrues. Une vitesse d'équilibre est alors atteinte. Il faut cependant noter que l'expérience montre que ce type d'accident est extrêmement rare et que les machines modernes possèdent plusieurs systèmes de freinage indépendants du rotor.

Par ailleurs, les outils actuels de calcul de résistance des matériaux et de dynamique des structures disponibles permettent de prévoir et d'éviter les interactions vibratoires entre les différents composants de la machine, phénomène qui a dans le passé constitué une cause majeure de destruction des éoliennes.

L'impact de la foudre représente environ 3 % des causes des dysfonctionnements recensés sur les installations [ISET, 2001]. Des statistiques de dommages suite à des foudroiements sur des éoliennes [IEC, 2002] montrent que 4 à 8 % des éoliennes subissent chaque année des dommages liés à la foudre dans le nord de l'Europe. Les dommages concernent :

- les pales dans 7 à 10 % des cas ;
- le système de contrôle dans 43 à 51 % des cas ;
- le système de production d'énergie dans 20 à 32 % des cas.

Les dommages liés à la foudre sont responsables de plus de 40 % des pertes de production d'énergie et engendrent des temps d'indisponibilité supérieurs de 20 % par rapport à la moyenne des autres dommages.

5. ETUDE BALISTIQUE DE LA PROJECTION DE FRAGMENTS DE PALES

5.1. DESCRIPTION DES SCENARIOS

Du fait de la proximité de quatre routes, d'un chemin de GR et d'habitations, une étude balistique visant à calculer la portée maximale des éventuels fragments en cas de rupture accidentelle de tout ou partie d'une pale est réalisée.

Pour chaque éolienne, trois scénarios ont été retenus :

- rupture d'une pale entière ;
- rupture du tiers extrême d'une pale ;
- rupture de l'extrémité d'une pale (5% de la longueur totale).

Pour chaque scénario de base, l'étude est réalisée pour deux vitesses de rotation : la vitesse nominale minimale et la vitesse nominale maximale du rotor.

5.2. METHODOLOGIE ET MOYENS DE CALCUL

Les calculs balistiques ont été effectués à l'aide du logiciel BISE développé par APSYS sur la base des travaux de Baker. **Ils sont réalisés avec une démarche conservatoire consistant à assimiler le fragment à un javelot (modèle javelot) afin de minimiser les frottements dus à l'air.**

Les données d'entrée du logiciel sont :

◊ la masse du fragment (kg) ;

◊ la vitesse initiale du fragment (m/s), il s'agit de la vitesse linéaire du centre de gravité (V_G) du fragment au moment de la rupture : $V_G = \omega \times 2\pi R_G$

avec : ω : vitesse de rotation du rotor (tr/min) ;

R_G : position du centre de gravité du fragment considéré (m) ;

◊ l'angle de départ du fragment (°) ;

◊ la position initiale du fragment ;

◊ la hauteur initiale du fragment (m) ;

◊ le maître couple moyen ou surface projetée du fragment (m^2) ;

◊ le coefficient de traînée (adimensionnel) pris égal à 0,5.

Les résultats provenant du logiciel concernent :

◊ la distance maximale atteinte (m) ;

◊ la hauteur maximale atteinte (m) ;

◊ le temps de vol (s) ;

◊ la vitesse d'impact au sol (m/s).

Dans le cadre de cette étude, seuls les résultats concernant la distance maximale atteinte seront exploités.

Les hypothèses retenues concernant les bris de pales sont :

- le rotor tourne correctement malgré le fait que les pales soient endommagées ;
- le fragment considéré se sépare de manière nette sans être retenu.

Par ailleurs, de façon conservatoire, les éventuels obstacles ou la topographie qui pourraient gêner la trajectoire des fragments de pale ne sont pas pris en compte.

Le principe des calculs de balistique est présenté en annexe.

Annexe 2 : Principe des calculs balistiques

Les principales caractéristiques des fragments, pour l'éolienne Repower MM92, pour les trois scénarios considérés, sont présentées dans le Tableau 4, sur la base de données techniques fournies par le client.

Les caractéristiques détaillées de l'éolienne, nécessaires à la réalisation des calculs, sont fournies en annexe.

Annexe 3 : Caractéristiques des éoliennes

Tableau 4 : Propriétés des fragments lors du bris d'une pale de l'éolienne Repower MM92

Paramètres	Type de fragment		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
Masse du fragment	8 079 kg	1 316 kg	24 kg
Longueur du fragment	45,2 m	15 m	2,26 m
Hauteur au moyeu	80 m		
C_x : Coefficient de traînée	0,5 : valeur pour une sphère (enveloppe)		
Diamètre du rotor	92,5 m		
Vitesse nominale minimale	7,8 t/min		
Vitesse nominale maximale	15 t/min		

5.3. RESULTATS DES CALCULS BALISTIQUES

Une synthèse des résultats de l'étude balistique réalisée pour les éoliennes Repower MM92 est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Synthèse des résultats - distances maximales atteintes en considérant le terrain plat

	Rotation du rotor à sa vitesse minimale : 7,8 tr/min	**Rotation du rotor à sa vitesse nominale maximale : 15 tr/min**
Type de fragment	**Distance max. atteinte[1] (m)**	**Distance max. atteinte[1] (m)**
Pale entière	80	110
Tiers extrême	160	400
Extrémité	180	360
Valeurs arrondies à la dizaine de mètres supérieure. [1] Distance à compter depuis le mât de l'éolienne		

Le scénario le plus pénalisant en terme de distance atteinte concerne la conjonction entre le fragment constitué par le tiers extrême de la pale et la rotation du rotor à sa vitesse nominale maximale. Dans cette configuration, la portée maximale atteinte est de **400 m**.

Les distances maximales atteintes par des fragments lors de bris de pale sont tracées sur carte en annexe.

Annexe 4 : Tracés des distances maximales atteintes par des fragments lors de bris de pale

Compte tenu de ces résultats, il est possible d'identifier les éoliennes dont les éventuels bris de pales sont susceptibles d'atteindre les cibles étudiées (*cf.* distances repérées en rouge dans le Tableau 6) :

- L'éolienne 1 est susceptible d'impacter la route D130 ;
- Les éoliennes 1, 2, 3 et 4 sont susceptibles d'impacter la route entre Guiscard et Beines,
- Les éoliennes 2, 3, 4 et 5 sont susceptibles d'impacter le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais.

Les autres scénarios ne seront pas étudiés dans la suite de l'étude.

Tableau 6 : Identification des éoliennes du projet Guiscard ayant un impact potentiel sur les cibles étudiées (éoliennes repérées en rouge)

Eolienne	Distance à la route D128	Distance à la route D130	Distance à la route D572	Distance à la route entre Guiscard et Beines	Distance au chemin de GR Pays Tour du Noyonnais	Habitations les plus proches des éoliennes
1	956 mètres	**130 mètres**	1022 mètres	**108 mètres**	407 mètres	730 mètres
2	804 mètres	435 mètres	848 mètres	**304 mètres**	**283 mètres**	850 mètres
3	739 mètres	717 mètres	717 mètres	**348 mètres**	**221 mètres**	910 mètres
4	783 mètres	1022 mètres	957 mètres	**348 mètres**	**153 mètres**	870 mètres
5	696 mètres	1370 mètres	1043 mètres	674 mètres	**62 mètres**	790 mètres

On peut noter également les éléments suivants :

- La route nationale D128, située à 739 m de l'éolienne la plus proche (éolienne n°3) ne serait pas impactée par d'éventuels bris de pales ;
- La route nationale D572, située à 717 m de l'éolienne la plus proche (éolienne n°3) ne serait pas impactée par d'éventuels bris de pales ;
- Les habitations les plus proches, situées à 730 m (éolienne n°1), ne seraient pas impactées par d'éventuels bris de pales.

6. CONSEQUENCES PAR RAPPORT AUX CIBLES

Il apparaît, à l'examen des résultats présentés au paragraphe 5.3, que :

- La route D130 est susceptible d'être impactée par des bris de pale en provenance de l'éolienne 1 ;
- La route entre Guiscard et Beines est susceptible d'être impactée par des bris de pale en provenance des éoliennes 1, 2, 3 et 4 ,
- Le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais est susceptible d'être impacté par des bris de pale en provenance des éoliennes 2, 3, 4 et 5.

Pour chaque cible et pour chaque éolienne, les probabilités d'atteinte des cibles par un bris de pale ont été déterminées.

La probabilité d'atteinte d'une cible par un bris de pale correspond au produit de la probabilité de bris de pale et de la probabilité d'atteinte d'une cible.

6.1. PROBABILITE D'EJECTION DE BRIS DE PALE

Des données sur les probabilités de casse d'une pale d'éolienne sont disponibles dans le document d'expertise n°19003, rév. 6 « Eoliennes à proximité d'objets protégés ; indications de distances minimum », de la société Veenker (Allemagne).

En effet, lors de l'installation d'éoliennes, celles-ci se trouvent souvent à proximité d'objets protégés (route dans le cas de cette étude). Ces objets protégés sont soumis aux risques liés à une éventuelle éjection de pales de rotor ou de morceaux de pales de rotor, éjection de la nacelle ou rupture de la tour. Dans le cadre de cette étude, nous ne tiendrons compte que de l'éjection de pales.

Selon l'étude Veenker, l'éjection d'une pale de rotor ou de morceaux de pale de rotor a une probabilité d'occurrence de $6{,}1.10^{-4}$ par an. Cette probabilité intègre les différents modes de fonctionnement de l'éolienne.

Le plus souvent, l'éjection concerne des pales entières ou de petits morceaux. La proportion est présentée dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Répartition de la taille des fragments

Taille de l'objet éjecté	Proportion
Pale entière	0,4
Tiers extrême	0,2
Extrémité	0,4

La probabilité de perte de la **pale entière** est donc de **2,44.10^{-4}** pour une année pour une éolienne.

La probabilité de perte du **tiers extrême** d'une pale est donc de **1,22.10^{-4}** pour une année pour une éolienne.

La probabilité de casse de **l'extrémité** de la pale est de **2,44.10^{-4}** pour une année pour une éolienne.

6.2. PROBABILITE D'ATTEINTE D'UNE CIBLE

La probabilité d'atteinte d'une cible dépend de la fréquence et de l'orientation des vents, ainsi que des trajectoires des fragments, calculées lors de l'étude balistique.

6.2.1 Interprétation de la fréquence des vents en fonction des directions

L'éolienne se positionnant perpendiculairement à la direction des vents, la zone d'atteinte des fragments a été divisée en secteurs d'études. Ces secteurs ont des angles identiques à ceux de la rose des vents, soit 20° mais décalés de 90°, comme illustré en **Figure 1.**

La rose des vents du site est disponible en annexe.

Annexe 5 : Rose des vents

6.2.2 Interprétation des distances d'atteinte des fragments

Pour chaque secteur, les distances minimales et maximales de la cible au mât de l'éolienne (D1 et D2 sur la Figure 1) sont déterminées.

Les différents calculs balistiques effectués pour chaque scénario (calculs effectués pour 3 morceaux de pales et 2 vitesses de rotation) nous fournissent le nombre total de fragments retombant entre les distances D1 et D2, et donc le nombre total de fragments susceptibles d'atteindre la cible.

Les distances D1 et D2 sont réajustées en tenant compte de la longueur caractéristique du fragment (longueur maximale entre son centre de gravité et son extrêmité)[(1)]. Pour chaque secteur étudié, les deux directions de vent qui lui sont perpendiculaires seront prises en compte.

1 Les trajectoires calculées sont celles du centre de gravité. Ainsi, l'ajout de la longueur caractéristique du fragment (c'est-à-dire la plus grande des longueurs comprises entre le centre de gravité et l'une des extrémités du morceau) permet d'intégrer dans le calcul de probabilité le cas où le centre de gravité n'atteint pas tout à fait la cible, mais où, compte-tenu de la longueur du fragment, l'extrémité de celui-ci pourrait l'atteindre.

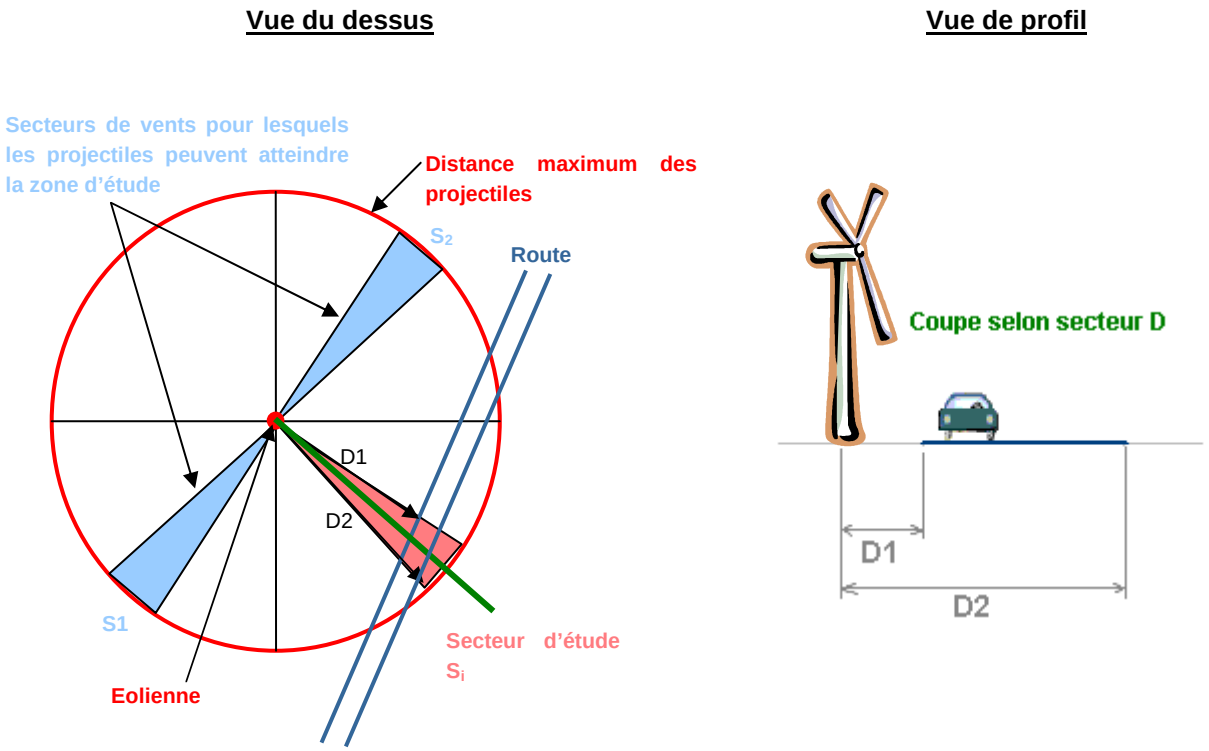


Figure 1 : Représentation des distances prises en compte et des angles d'approche (exemple sur une route)

Exemple pour le secteur S_i impactant la route :

Le secteur d'étude S_i est perpendiculaire aux secteurs S1 et S2 de la rose des vents. Dans chaque cas, selon les angles d'envol, une partie des fragments est orientée vers la route, et l'autre partie à l'opposé.

Ainsi, pour un secteur S_i, un type de fragment et une vitesse de rotation donnés, la probabilité d'atteinte de la route est :

$$P_{S_i} = \frac{\text{Fréquence du vent 1 perpendiculaire à } S_i}{100^*} \times \frac{\text{Nb d'angles permettant d'atteindre la route}}{360^{**}} + \frac{\text{Fréquence du vent 2 perpendiculaire à } S_i}{100^*} \times \frac{\text{Nb d'angles permettant d'atteindre la route}}{360^{**}}$$

* La fréquence du vent pour un secteur donné est le pourcentage de vents soufflant dans cette direction. La probabilité qu'un vent souffle dans une direction est donc le rapport de sa fréquence sur 100.

** 360 est le nombre total d'angles d'envol.

Pour une éolienne, la probabilité d'atteinte d'une route est donc la somme de toutes les probabilités des différents secteurs :

$$P_{route} = \sum P_{S_i}$$

6.2.3 Interprétation du trafic sur les routes impactées

Un comptage routier a été réalisé en 2010 sur le tronçon de la RD130. Le trafic a été estimé à 158 véhicules par jour[1].

La route entre Guiscard et Beines (desserte locale) n'a pas fait l'objet de comptage mais nous pouvons estimer que sa fréquentation ne sera pas supérieure à celle de la RD130. Pour cette route, nous retiendrons donc également, de façon conservative, un trafic de 158 véhicules/jour.

A partir du trafic routier, supposé régulier, de la vitesse moyenne des véhicules empruntant la route, et de la longueur du tronçon de route étudié, il est possible d'évaluer la probabilité qu'un véhicule soit sur le tronçon de route étudié.

$$P_{\text{Pr}\,ésence_véhicule} = \frac{L}{V}\frac{Nv}{3600*24} = L*9{,}40.10^{-5}$$

Avec $P_{\text{Présence_véhicule}}$: la probabilité qu'un véhicule se trouve sur le tronçon de route étudié (-) ;

L : la longueur du tronçon de route étudié (m),

V : la vitesse moyenne des véhicule empruntant la route étudiée (m/s),

Nv : le trafic journalier sur la route étudiée (véhicules/jour).

Dans une approche conservative, une vitesse moyenne de 70 km/h est retenue alors que la limite maximale est de 90 km/h, cela augmente le temps de présence d'un véhicule sur la portion de route considérée.

La probabilité totale d'atteinte d'un véhicule situé sur l'une des routes étudiées, $P_{\text{Véhicule}}$, sera équivalente au produit de la probabilité de présence d'un véhicule sur la portion de route considérée par la probabilité d'atteinte de cette portion de route.

$$P_{Véhicule} = P_{\text{Pr}\,ésence_véhicule} * P_{Route}$$

Avec $P_{\text{Véhicule}}$: la probabilité d'atteinte d'un véhicule situé sur la route étudiée par un bris de pale (-) ;

P_{Route} : la probabilité d'atteinte de la route étudiée par un bris de pale (-).

[1] Source : Conseil général de l'Oise

6.2.4 Interprétation de la fréquentation du chemin de GR

Depuis janvier 2007, l'Observatoire des chemins[1] collecte des données sur la fréquentation des chemins de randonnées en France. Pour le département de l'Oise, la fréquentation a été estimée à environ 5 personnes par jour.

D'après cette même source, la vitesse moyenne des promeneurs, au niveau national, peut être estimée à 3,5 km/h. Nous retiendrons cette vitesse, dans cette étude, comme vitesse de marche des personnes empruntant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais.

A partir de la fréquentation journalière du chemin de GR, de la vitesse moyenne des promeneurs qui l'empruntent, et de la longueur du tronçon étudié, il est possible d'évaluer la probabilité qu'une personne soit sur le tronçon de chemin de GR étudié.

$$P_{\text{Pr}\,ésence_personne} = \frac{L}{V}\frac{Np}{3600*24} = L*6{,}0.10^{-5}$$

Avec $P_{\text{Présence_personne}}$: la probabilité qu'une personne se trouve sur le tronçon de chemin étudié (-) ;

L : la longueur du tronçon de chemin étudié (m),

V : la vitesse moyenne des personnes empruntant le chemin de GR étudié (m/s),

Np : la fréquentation journalière sur le tronçon de chemin de GR étudié (personnes/jour).

La probabilité totale d'atteinte d'une personne située sur le chemin de GR, P_{Personne}, sera équivalente au produit de la probabilité de présence d'une personne sur la portion de chemin considérée par la probabilité d'atteinte de cette portion de chemin.

$$P_{Personne} = P_{\text{Pr}\,ésence_personne} * P_{Route}$$

Avec P_{Personne} : la probabilité d'atteinte d'une personne située sur le chemin étudié par un bris de pale (-) ;

P_{Route} : la probabilité d'atteinte du chemin étudié par un bris de pale (-).

[1] Source : Observatoire des chemins - http://www.observatoire-chemins.org

6.2.5 Cible : Route départementale D130

La route D130 est définie comme suit dans la présente étude :

Tableau 8 : Interceptions des secteurs d'étude et de la D130

	Secteur d'étude	D1 (m)	D2 (m)
EOLIENNE 1	210°-230°	228	400
	230°-250°	163	228
	250°-270°	141	163
	270°-290°	130	141
	290°-310°	130	141
	310°-330°	141	174
	330°-350°	174	400

L'exploitation de ces données par le logiciel BISE permet l'obtention du nombre d'angles d'envol donnant lieu à des bris de pale qui atteignent la route.

A partir de ces résultats et de la méthode présentée au paragraphe 6.2.2, les probabilités d'atteinte de la route D130 lors d'un bris de pale d'éolienne (P_{Route}) sont calculées.

A partir des longueurs de route impactées et de la méthode présentée au paragraphe 6.2.3, les probabilités de présence d'un véhicule sur la route D130 ($P_{Présence_véhicule}$) et les probabilités d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route D130 ($P_{Véhicule}$) sont calculées. Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 9 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route D130 par un fragment de l'éolienne E1

	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	**Tiers extrême**	**Extrémité**	**Pale entière**	**Tiers extrême**	**Extrémité**
P_{Route}	0	$6{,}81.10^{-2}$	$4{,}76.10^{-2}$	0	$7{,}76.10^{-2}$	$6{,}69.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	0 m	182 m	255 m	0 m	764 m	661 m
$P_{Présence_Véhicule}$	0	$1{,}71.10^{-2}$	$2{,}39.10^{-2}$	0	$7{,}18.10^{-2}$	$6{,}21.10^{-2}$
$P_{Véhicule}$	**0**	**$1{,}16.10^{-3}$**	**$1{,}14.10^{-3}$**	**0**	**$5{,}57.10^{-3}$**	**$4{,}16.10^{-3}$**

6.2.6 Cible : Route entre Guiscard et Beines

La route entre Guiscard et Beines est définie comme suit dans la présente étude :

Tableau 10 : Interceptions des secteurs d'étude et de la route entre Guiscard et Beines

	Secteur d'étude	D1 (m)	D2 (m)
EOLIENNE 1	310°-330°	130	141
	330°-350°	109	130
	350°-10°	109	120
	10°-30°	120	152
	30°-50°	152	196
	50°-70°	196	400
EOLIENNE 2	320°-330°	348	400
	330°-350°	304	348
	350°-10°	304	315
	10°-30°	304	326
	30°-45°	326	400
EOLIENNE 3	350°-10°	370	400
	10°-30°	348	400
EOLIENNE 4	335°-350°	348	400
	350°-10°	359	400

L'exploitation de ces données par le logiciel BISE permet l'obtention du nombre d'angles d'envol donnant lieu à des bris de pale qui atteignent la route.

A partir de ces résultats et de la méthode présentée au paragraphe 6.2.2, les probabilités d'atteinte de la route entre Guiscard et Beines lors d'un bris de pale d'éolienne (P_{Route}) sont calculées.

A partir des longueurs de route impactées et de la méthode présentée au paragraphe 6.2.3, les probabilités de présence d'un véhicule sur la route entre Guiscard et Beines ($P_{Présence_véhicule}$) et les probabilités d'atteinte d'un véhicule circulant sur cette route ($P_{Véhicule}$) sont calculées. Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 11 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E1

E1	**Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min**			**Vitesse nominale maximale 15 tr/min**		
	Pale entière	**Tiers extrême**	**Extrémité**	**Pale entière**	**Tiers extrême**	**Extrémité**
P_{Route}	0	$8{,}17.10^{-2}$	$3{,}95.10^{-2}$	0	$9{,}52.10^{-2}$	$4{,}11.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	0 m	242 m	303 m	0 m	818 m	715 m
$P_{Présence_Véhicule}$	0	$2{,}28.10^{-2}$	$2{,}85.10^{-2}$	0	$7{,}69.10^{-2}$	$6{,}72.10^{-2}$
$P_{Véhicule}$	**0**	**$1{,}86.10^{-3}$**	**$1{,}13.10^{-3}$**	**0**	**$7{,}32.10^{-3}$**	**$2{,}76.10^{-3}$**

Tableau 12 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E2

E2	**Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min**			**Vitesse nominale maximale 15 tr/min**		
	Pale entière	**Tiers extrême**	**Extrémité**	**Pale entière**	**Tiers extrême**	**Extrémité**
P_{Route}	0	0	0	0	$4{,}35.10^{-2}$	$3{,}09.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	0 m	0 m	0 m	0 m	603 m	480 m
$P_{Présence_Véhicule}$	0	0	0	0	$5{,}76.10^{-2}$	$4{,}51.10^{-2}$
$P_{Véhicule}$	**0**	**0**	**0**	**0**	**$2{,}46.10^{-3}$**	**$1{,}40.10^{-3}$**

Tableau 13 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E3

E3	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
P_{Route}	0	0	0	0	$1,66.10^{-2}$	$1,73.10^{-3}$
Longueur de route interceptée	0 m	0 m	0 m	0 m	340 m	84 m
$P_{Présence_Véhicule}$	0	0	0	0	$3,20.10^{-2}$	$7,86.10^{-3}$
$P_{Véhicule}$	**0**	**0**	**0**	**0**	**$5,31.10^{-4}$**	**$1,36.10^{-5}$**

Tableau 14 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment de l'éolienne E4

E4	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
P_{Route}	0	0	0	0	$2,21.10^{-2}$	$1,57.10^{-3}$
Longueur de route interceptée	0 m	0 m	0 m	0 m	271 m	171 m
$P_{Présence_Véhicule}$	0	0	0	0	$2,54.10^{-2}$	$1,60.10^{-2}$
$P_{Véhicule}$	**0**	**0**	**0**	**0**	**$5,62.10^{-4}$**	**$2.51.10^{-5}$**

Tableau 15 : Probabilité d'atteinte d'un véhicule circulant sur la route entre Guiscard et Beines par un fragment d'éolienne du projet Guiscard

Eolienne	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
TOTAL (E1 à E4)	**0**	**$1,86.10^{-3}$**	**$1,13.\ 10^{-3}$**	**0**	**$1,09.10^{-2}$**	**$4,20.\ 10^{-3}$**

6.2.7 Cible : Chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais

Le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais est défini comme suit dans la présente étude :

Tableau 16 : Interceptions des secteurs d'étude et du chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais

	Secteur d'étude	D1 (m)	D2 (m)
EOLIENNE 2	130°-150°	376	400
	150°-170°	315	376
	170°-190°	283	315
	190°-210°	283	312
	210°-230°	312	400
EOLIENNE 3	110°-130°	296	400
	130°-150°	248	296
	150°-170°	227	248
	170°-190°	221	227
	190°-210°	221	254
	210°-230°	254	304
	230°-250°	304	400
EOLIENNE 4	110°-130°	218	400
	130°-150°	162	218
	150°-170°	153	162
	170°-190°	153	171
	190°-210°	171	215
	210°-230°	215	324
	230°-250°	324	400
EOLIENNE 5	270°-290°	274	400
	290°-310°	132	274
	310°-330°	91	132
	330°-350°	74	91
	350°-10°	65	74
	10°-30°	62	65
	30°-50°	62	71
	50°70°	71	97
	70°-90°	97	150
	90°-110°	150	332
	110°-130°	332	400

L'exploitation de ces données par le logiciel BISE permet l'obtention du nombre d'angles d'envol donnant lieu à des bris de pale qui atteignent le chemin.

A partir de ces résultats et de la méthode présentée au paragraphe 6.2.2, les probabilités d'atteinte du chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais lors d'un bris de pale d'éolienne (P_{Route}) sont calculées.

A partir des longueurs de chemin impactées et de la méthode présentée au paragraphe 6.2.3, les probabilités de présence d'une personne sur le chemin de GR ($P_{Présence_personne}$) et les probabilités d'atteinte d'une personne circulant sur cette route ($P_{Personne}$) sont calculées. Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 17 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E2

E2	**Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min**			**Vitesse nominale maximale 15 tr/min**		
	Pale entière	**Tiers extrême**	**Extrémité**	**Pale entière**	**Tiers extrême**	**Extrémité**
P_{Route}	0	0	0	0	$4{,}96.10^{-2}$	$3.14.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	0 m	0 m	0 m	0 m	560 m	427 m
$P_{Présence_Personne}$	0	0	0	0	$3{,}33.10^{-2}$	$2{,}54.10^{-2}$
$P_{Personne}$	**0**	**0**	**0**	**0**	**$1{,}65.10^{-3}$**	**$7{,}98.10^{-4}$**

Tableau 18 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E3

E3	**Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min**			**Vitesse nominale maximale 15 tr/min**		
	Pale entière	**Tiers extrême**	**Extrémité**	**Pale entière**	**Tiers extrême**	**Extrémité**
P_{Route}	0	0	0	0	$6{,}16.10^{-2}$	$4{,}91.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	0 m	0 m	0 m	0 m	734 m	651 m
$P_{Présence_Personne}$	0	0	0	0	$4{,}37.10^{-2}$	$3{,}87.10^{-2}$
$P_{Personne}$	**0**	**0**	**0**	**0**	**$2{,}69.10^{-3}$**	**$1{,}90.10^{-3}$**

Tableau 19 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E4

E4	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
P_{Route}	0	$1,71.10^{-2}$	$3,55.10^{-2}$	0	$7,68.10^{-2}$	$6,64.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	0 m	71 m	153 m	0 m	706 m	624 m
$P_{Présence_Personne}$	0	$4,20.10^{-3}$	$9,10.10^{-3}$	0	$4,20.10^{-2}$	$3,71.10^{-2}$
$P_{Personne}$	**0**	**$7,19.10^{-5}$**	**$3,23.10^{-4}$**	**0**	**$3,23.10^{-3}$**	**$2,46.10^{-3}$**

Tableau 20 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment de l'éolienne E5

E5	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
P_{Route}	$5,84.10^{-2}$	$1,29.10^{-1}$	$8,82.10^{-2}$	$2,04.10^{-1}$	$1,20.10^{-1}$	$9,33.10^{-2}$
Longueur de route interceptée	65 m	312 m	359 m	194 m	829 m	747 m
$P_{Présence_Personne}$	$3,58.10^{-3}$	$1,86.10^{-2}$	$2,14.10^{-2}$	$1,16.10^{-2}$	$4,94.10^{-2}$	$4,45.10^{-2}$
$P_{Personne}$	**$2,25.10^{-4}$**	**$2,40.10^{-3}$**	**$1,88.10^{-3}$**	**$2,36.10^{-3}$**	**$5,91.10^{-3}$**	**$4,15.10^{-3}$**

Tableau 21 : Probabilité d'atteinte d'une personne fréquentant le chemin de GR de pays Tour du Noyonnais par un fragment d'éolienne du projet Guiscard

Eolienne	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
TOTAL (E2 à E5)	**$2,25.10^{-4}$**	**$2,48.10^{-3}$**	**$2,21.10^{-3}$**	**$2,36.10^{-3}$**	**$1,35.10^{-2}$**	**$9,31.10^{-3}$**

6.3. PROBABILITES TOTALES : EJECTION ET ATTEINTE D'UNE CIBLE

Les probabilités d'atteinte de chacune des cibles peuvent alors être multipliées par les probabilités d'un bris de pale. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 22 : Probabilité finale d'atteinte de la route départementale RD130 par un fragment d'éolienne

Eolienne	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
TOTAL (E1)	0	$1,42.10^{-7}$	$2,78.10^{-7}$	0	$6,80.10^{-7}$	$1,01.10^{-6}$

Tableau 23 : Probabilité finale d'atteinte de la route entre Guiscard et Beines par un fragment d'éolienne

Eolienne	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
TOTAL (E1 à E4)	0	$2,27.10^{-7}$	$2,75.10^{-7}$	0	$1,33.10^{-6}$	$1,02.10^{-6}$

Tableau 24 : Probabilité finale d'atteinte du chemin de GR de Pays Tour du Noyonnais par un fragment d'éolienne

Eolienne	Vitesse nominale minimale 7,8 tr/min			Vitesse nominale maximale 15 tr/min		
	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité	Pale entière	Tiers extrême	Extrémité
TOTAL (E2 à E5)	$5,49.10^{-8}$	$3,02.10^{-7}$	$5,39.10^{-7}$	$5,76.10^{-7}$	$1,64.10^{-6}$	$2,27.10^{-6}$

7. CONCLUSIONS

L'étude balistique menée dans le cadre du projet d'implantation d'éoliennes sur la commune de Guiscard (60) a mis en évidence la distance maximale atteinte par les fragments d'éoliennes en cas de bris de pale. **Cette distance est de 400 m pour ces fragments de pales d'éoliennes Repower MM92**.

Cette distance est évaluée dans le cas conservatoire consistant à assimiler le fragment à un javelot, et les éventuels obstacles ou la topographie, qui pourraient gêner la trajectoire des fragments de pale, ne sont pas pris en compte (l'environnement du site de Guiscard est notamment composé d'espaces boisés).

Dans le cadre de ce projet, six cibles potentielles ont été étudiées :

- les habitations les plus proches,
- la route départementale D128,
- la route départementale D130,
- la route départementale D572,
- la route entre Guiscard et Beines,
- le chemin de GR de Pays - Tour du Noyonnais.

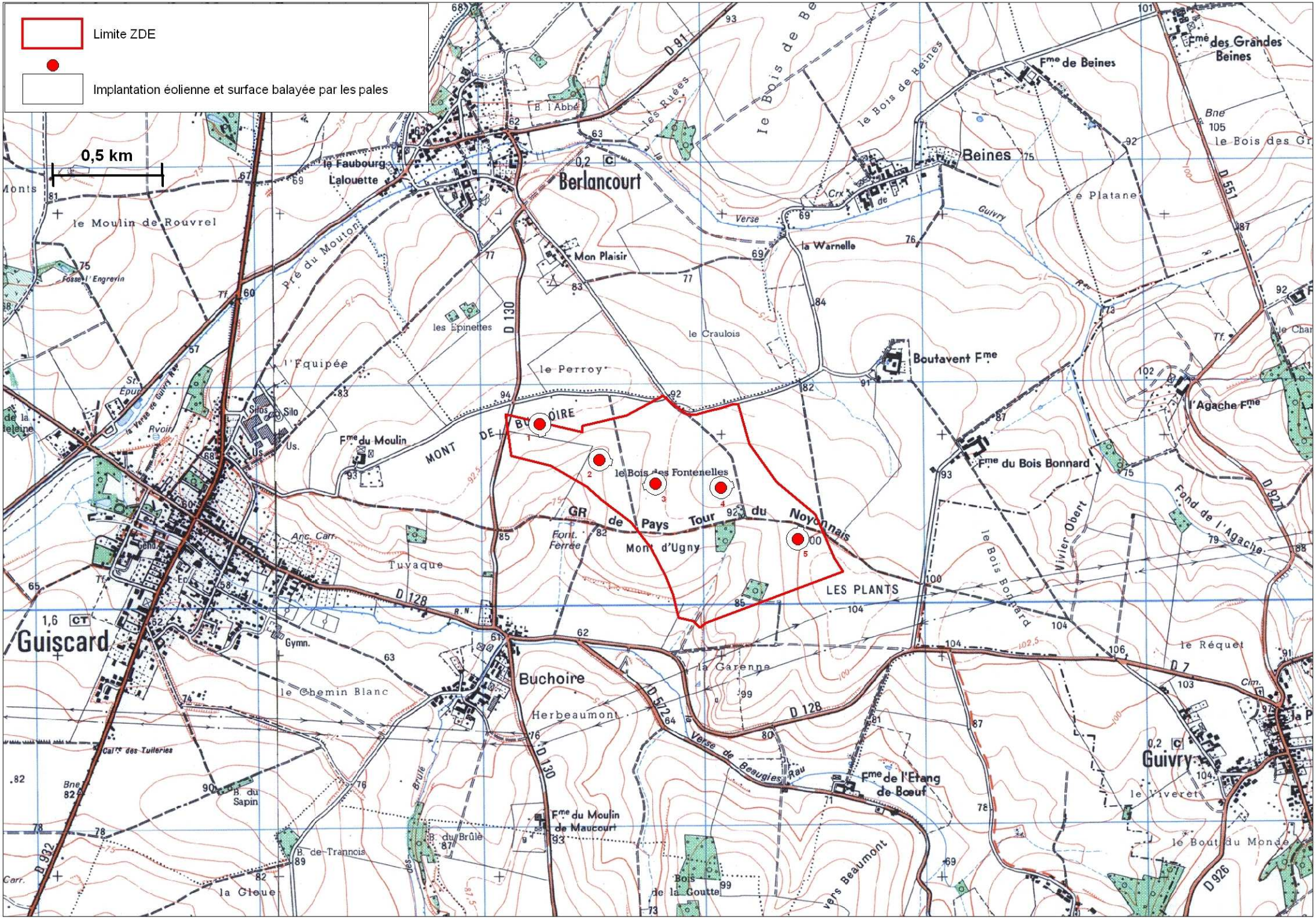
Seules trois d'entre elles, la route D130, la route entre Guiscard et Beines et le chemin de GR de Pays - Tour du Noyonnais, pourraient être atteintes par des fragments issus des éoliennes.

Les probabilités d'atteinte ont été calculées pour ces cibles et sont de l'ordre de 10^{-6}/an (prise en compte du trafic des routes et de la fréquentation du chemin de GR).

A titre comparatif, l'INERIS, dans son rapport DRA-51 « Approche probabiliste dans les canalisations de transport » de décembre 2006 estime de 6.5 à $7{,}1.10^{-3}$/an la probabilité d'un accident sur un site SEVESO II français et, dans son rapport DRA41 « Appui technique pour la mise en œuvre des PPRT – note de réflexion sur l'estimation de la probabilité des scénarios d'accidents dans le cadre des PPRT expérimentaux » de juin 2004, estime de 10^{-5} à 10^{-4}/an la probabilité d'une chute d'avion.

Il a été démontré que les éventuels bris de pales issus des autres éoliennes du parc ne présentaient pas de risque d'impact sur les autres cibles étudiées.

ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES EOLIENNES


Limite ZDE
Implantation éolienne et surface balayée par les pales
0,5 km
Berlancourt
Guiscard
Buchoire
Guivry
Beines
le Faubourg
L'alouette
le Moulin de Rouvrel
Pré du Mouton
Mon Plaisir
la Warnelle
les Épinettes
le Craulois
l'Equipée
le Perroy
Boutavent Fme
l'Agache Fme
Fme du Moulin
MONT DE BUCHOIRE
le Bois des Fontenelles
GR de Pays Tour du Noyonnais
Mont d'Ugny
Fme du Bois Bonnard
LES PLANTS
Tuvaque
le Chemin Blanc
Herbeaumont
la Garenne
Fme de l'Etang de Bœuf
Fme du Moulin de Maucourt
le Réquet
le Viveret
le Bout du Monde
la Gieue
Bois de la Goutte
vers Beaumont
Fme de Beines
Fme des Grandes Beines
le Bois de Beines
le Bois des Gr
Fond de l'Agache
Vivier Obert
le Bois Bonnard
D 91
D 130
D 128
D 551
D 927
D 7
D 926
D 932
D 512
R.N.

ANNEXE 2 : PRINCIPE DES CALCULS DE BALISTIQUE

PRINCIPE DES CALCULS BALISTIQUES

Les calculs balistiques ont été effectués à l'aide du logiciel BISE, développé par APSYS sur la base des travaux de Baker. Ils sont réalisés avec une démarche conservatoire consistant à assimiler le fragment à un javelot (le modèle javelot correspond à une trajectoire parfaite du projectile, sans que celui-ci ne tourne sur lui-même, et conduit de ce fait à une détermination conservatoire de la portée).

Les équations du mouvement sont développées pour les composantes de l'accélération dans les directions horizontale et verticale ($\ddot{X}$ et $\ddot{Z}$).

$$\ddot{X} = -\frac{SC_D\rho_{air}\left(\dot{X}^2+\dot{Z}^2\right)\cos\alpha}{2M} - \frac{SC_P\rho_{air}\left(\dot{X}^2+\dot{Z}^2\right)\sin\alpha}{2M}$$

$$\ddot{Z} = -g - \frac{SC_D\rho_{air}\left(\dot{X}^2+\dot{Z}^2\right)\sin\alpha}{2M} - \frac{SC_P\rho_{air}\left(\dot{X}^2+\dot{Z}^2\right)\cos\alpha}{2M}$$

Avec :

- ⇒ $\dot{X}$, la composante horizontale de la vitesse du fragment (m/s),
- ⇒ $\dot{Z}$, la composante verticale de la vitesse du fragment (m/s),
- ⇒ S, la surface maitre-couple (m²),
- ⇒ C_D, le coefficient de trainée,
- ⇒ C_P, le coefficient de portance,
- ⇒ ρair, la masse volumique de l'air (kg/m^3),
- ⇒ α, l'angle le long de la trajectoire,
- ⇒ g, la gravité (m/s²),
- ⇒ M, la masse du fragment (kg).

La solution de ces équations différentielles est obtenue par la méthode de RUNGE-KUTTA.

HYPOTHESES

Les données d'entrée et hypothèses de calcul considérées afin de déterminer les portées maximales de fragments de pale d'éolienne sont données ci-après.

Les conditions initiales de ce système sont la position et la vitesse initiale du fragment.

- **Vitesses d'éjection (ou vitesses initiales) :** les vitesses d'éjection des fragments découlent :
  - des vitesses de rotation considérées, qui correspondent respectivement à la vitesse de rotation minimale et à la vitesse de rotation nominale maximale.
  - de la distance entre le moyeu de l'éolienne et le centre de masse du fragment considérés.
- **Positions initiales :** les positions initiales des fragments découlent :
  - de l'angle d'éjection, il est calculé automatiquement par le logiciel BISE en fonction du nombre d'angles d'envol à considérer (360 dans le cas de cette étude).
  - de la distance entre le moyeu de l'éolienne et le centre de masse du fragment considérés.

Les autres paramètres de l'équation sont les suivants :

- **Coefficient de trainée :** de façon conservative, sur la base des travaux de Baker, le coefficient de trainée retenu est pris égal à 0,5. Cette valeur correspond au coefficient de trainée d'une sphère (géométrie de fragment offrant le moins de résistance au mouvement).
- **Coefficient de portance :** Il est considéré nul.
- **Masses des fragments :** la masse des fragments dépend des caractéristiques de l'éolienne et de la taille des fragments retenus. Dans l'étude, trois fragments types sont retenus : la pale entière, le tiers extrême de la pale et l'extrémité de la pale (5% de la longueur totale).
- **Surfaces maitre-couple :** la surface maître couple retenue est, de façon conservatoire, la plus petite possible. Elle correspond au produit de l'épaisseur par la largeur du fragment considéré.

ANALYSE

Les paramètres influant sur la portée et les variations qu'ils induisent (tous les autres paramètres étant identiques par ailleurs) sont les suivant :

- La **vitesse de rotation de l'éolienne**, lorsqu'elle augmente, la portée maximale augmente (vitesse d'éjection plus importante),
- La **distance entre le centre de gravité du fragment et le centre du moyeu de l'éolienne**, lorsqu'elle augmente, la portée maximale augmente (vitesse d'éjection plus importante).
- La **masse** du fragment, lorsqu'elle augmente, la portée maximale augmente,
- La **surface maitre-couple** du fragment, lorsqu'elle augmente, la portée maximale diminue.

Pour les configurations où plusieurs paramètres varient simultanément (augmentation de la masse du projectile et de la surface maitre-couple par exemple), il peut être parfois difficile de savoir *a priori* quelle sera la tendance en termes de portées maximales.

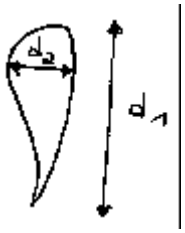
ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES DES EOLIENNES

CARACTERISTIQUES DES EOLIENNES

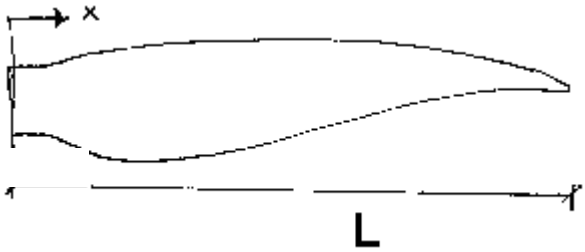
Type d'éolienne : **Repower MM92**

Hauteur du mat : 80 m
Vitesse minimale de rotation : 7,8 tr/min
Vitesse maximale nominale de rotation : 15 tr/min
Longeur de pale (L) : 45,2 m
Poids d'une pale : 7,9 t + 179kg écrous par pale pour fixation sur moyeu

Section	Longueur des fragments [mm]	Largeur d1 [mm]	Epaisseur d2 [mm]	Masse des fragments [kg]	Centre de gravité du fragment [mm]
1 (pale entière)	45 200	2 210	2 210	8 079	10 000
3 (tiers extême)	15 067	1 883	415	1 316	6 296
4 (extrêmité)	2 260	762	194	24	420



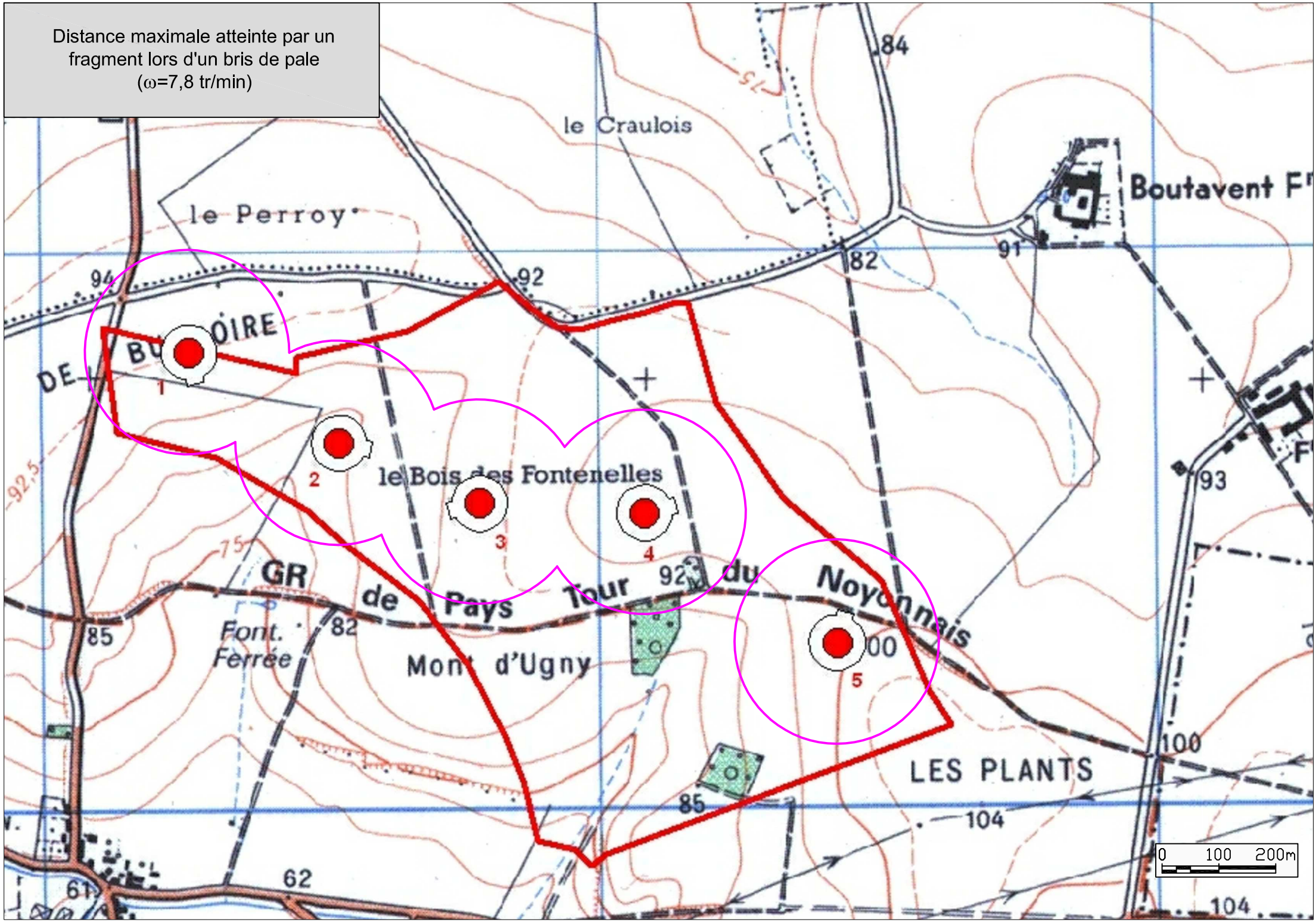
Dessin 1 : coupe de la pale

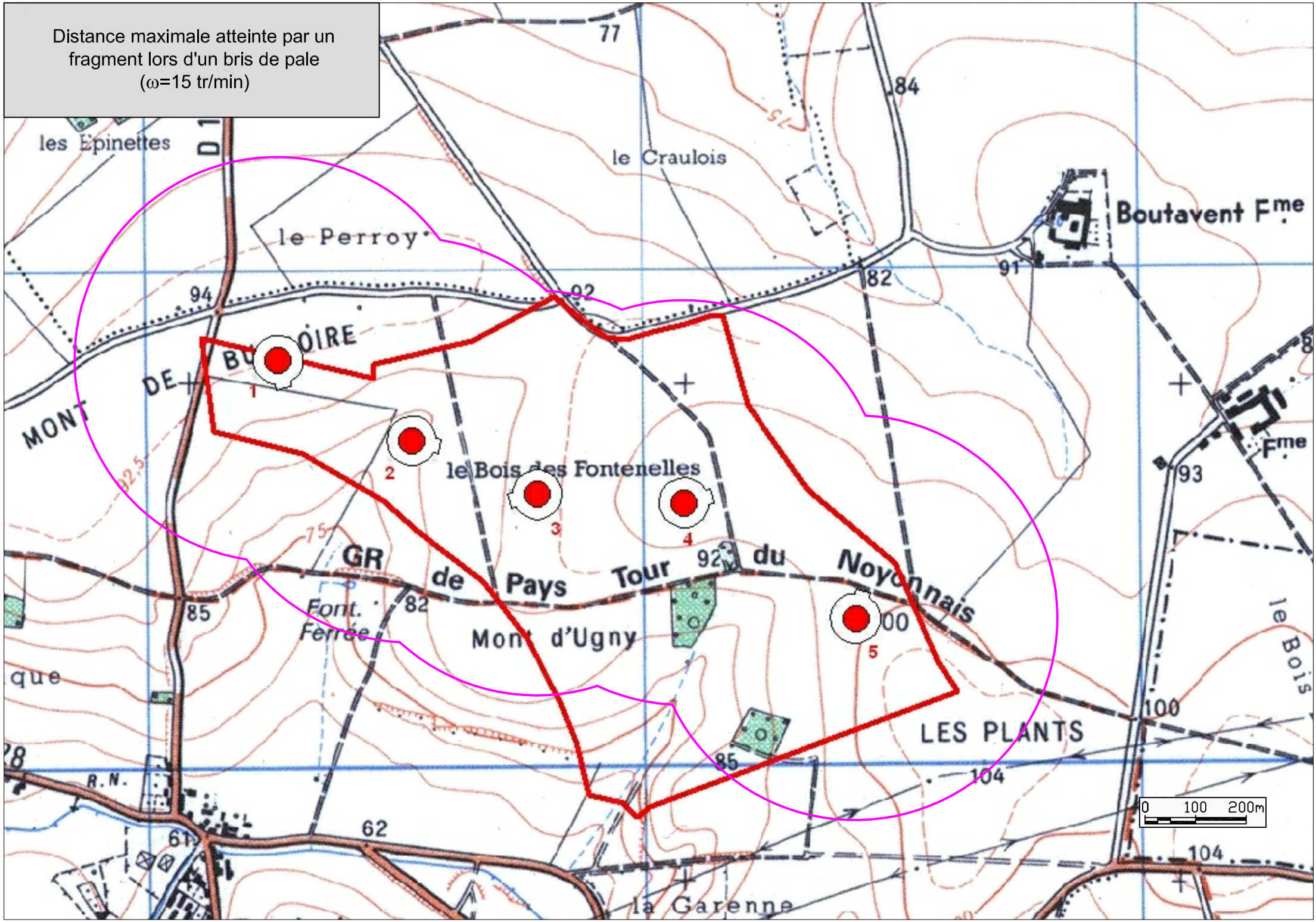


Dessin 2 : Vue de profil de la pale

ANNEXE 4 : TRACES DES DISTANCES MAXIMALES ATTEINTES PAR DES FRAGMENTS LORS DE BRIS DE PALE

Distance maximale atteinte par un fragment lors d'un bris de pale
(ω=7,8 tr/min)




Distance maximale atteinte par un fragment lors d'un bris de pale (ω=15 tr/min)
les Épinettes
D 1
le Craulois
le Perroy
Boutavent Fme
MONT DE BUÒIRE
le Bois des Fontenelles
GR de Pays Tour du Noyonnais
Font. Ferrée
Mont d'Ugny
LES PLANTS
R.N.
la Garenne
le Bois
Fme
1
2
3
4
5
0 100 200m

ANNEXE 5 : ROSE DES VENTS

Projet:
Villeselve2

Imprimé le: / Page
10/08/2010 13:58 / 1

Titulaire de la licence:
Maïa-Eolis
Tour de Lille, Boulevard de Turin
FR-59777 Lille
+33 (0)3 20 21 42 14
Girard, ngirard@maiaeolis.fr

Calculé le:
10/08/2010 13:56/2.7.449

PARK - Analyse du vent

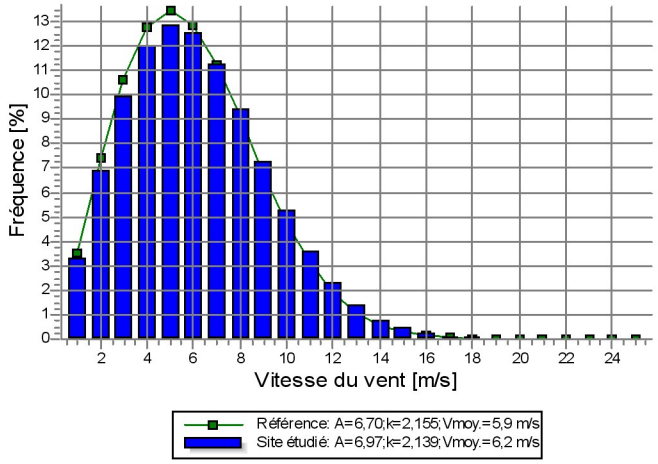
Calcul: 2010-08-06 Implantation MM92 80m **Données de vent:** A - Données-site 18 secteurs; Rayon: 20 000 m (4); Hauteur de moyeu: 80,0

Coordonnées du site
NTF Lambert 2 et Est: 654 559 Nord: 2 523 010
Statistiques éoliennes utilisées
FR mat 1an (MCP par méthode matricielle en utilisant meteo court terme)_Villeselve_mat40m.wwb

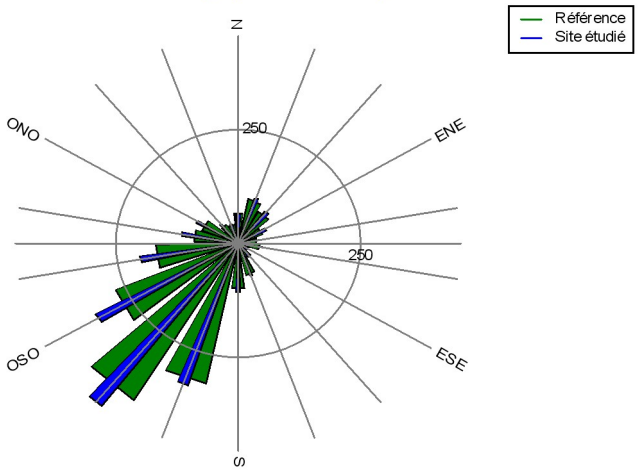
Paramètres de Weibull

	Site étudié				Référence: plat et rug. classe 1			
Secteur	Paramètre A [m/s]	Vitesse du vent [m/s]	Paramètre k	Fréquence [%]	Paramètre A [m/s]	Paramètre k	Fréquence [%]
0 0	6,37	5,64	2,334	4,2	6,19	2,332	4,3
1 1	6,56	5,82	2,361	6,0	6,39	2,362	6,2
2 2	6,28	5,57	2,322	5,7	6,07	2,315	5,7
3 3	5,83	5,17	2,084	4,7	5,48	2,058	4,6
4 4	5,45	4,83	2,150	4,3	5,13	2,155	4,2
5 5	5,41	4,80	2,334	4,9	5,28	2,332	4,8
6 6	4,57	4,05	2,279	3,6	4,50	2,285	3,5
7 7	5,50	4,87	2,256	3,3	5,44	2,245	3,2
8 8	6,35	5,63	2,545	5,0	6,21	2,548	5,1
9 9	6,54	5,79	2,311	6,0	6,37	2,302	6,1
10 10	8,66	7,70	2,631	8,7	8,51	2,638	8,9
11 11	8,90	7,90	2,584	11,0	8,50	2,578	11,3
12 12	8,47	7,52	2,502	9,1	8,00	2,488	8,8
13 13	7,92	7,02	2,303	6,4	7,55	2,285	6,2
14 14	6,86	6,08	2,092	5,2	6,40	2,078	5,1
15 15	6,62	5,87	2,131	4,9	6,25	2,128	4,8
16 16	5,99	5,31	2,279	3,9	5,73	2,295	3,9
17 17	5,99	5,30	2,291	3,3	5,82	2,285	3,3
Global	6,97	6,17	2,139	100,0	6,70	2,155	100,0

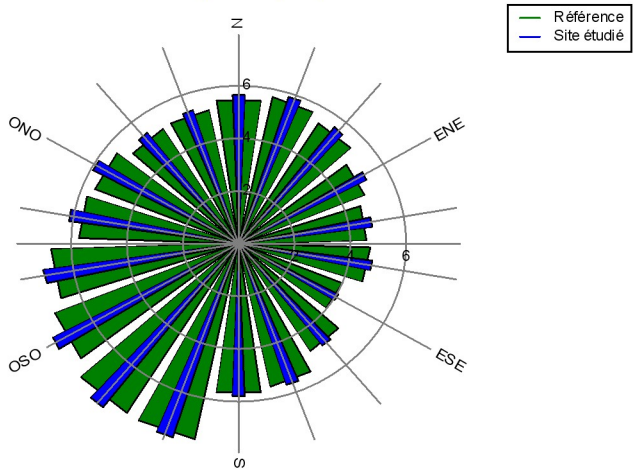
Distribution de Weibull



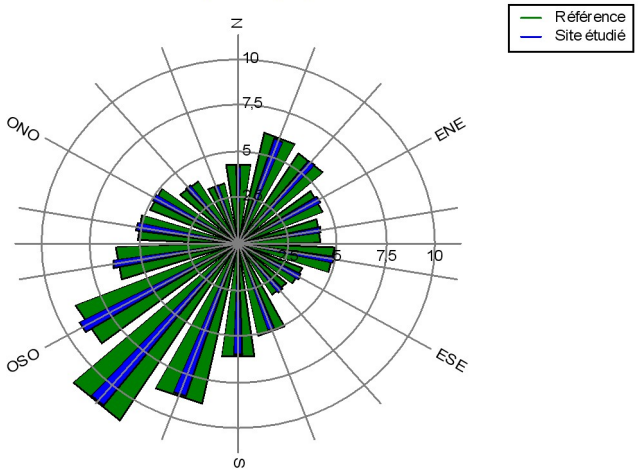
Rose d'énergie (kWh/m²/année)



Vmoy. vent (m/s)



Fréquence (%)



Projet:
Villeselve2

Imprimé le: / Page
10/08/2010 13:58 / 2

Titulaire de la licence:
Maïa-Eolis
Tour de Lille, Boulevard de Turin
FR-59777 Lille
+33 (0)3 20 21 42 14
Girard, ngirard@maiaeolis.fr

Calculé le:
10/08/2010 13:56/2.7.449

PARK - Analyse du vent

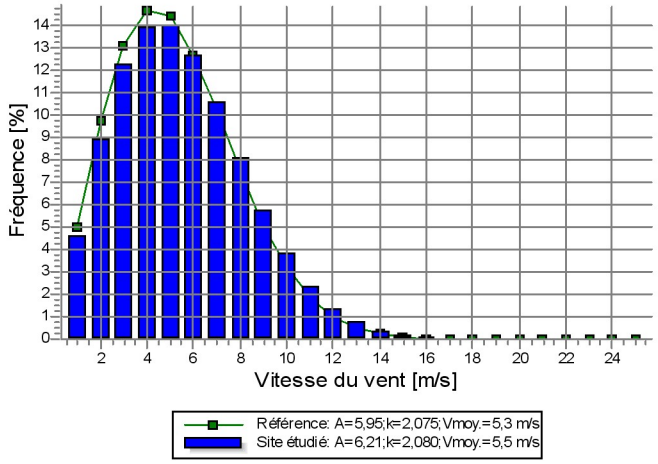
Calcul: 2010-08-06 Implantation_MM92_80m **Données de vent:** A - Données-site 18 secteurs; Rayon: 20 000 m (4); Hauteur de moyeu: 50,0

Coordonnées du site
NTF Lambert 2 et Est: 654 559 Nord: 2 523 010
Statistiques éoliennes utilisées
FR mat 1an (MCP par méthode matricielle en utilisant meteo court terme)_Villeselve_mat40m.wwb

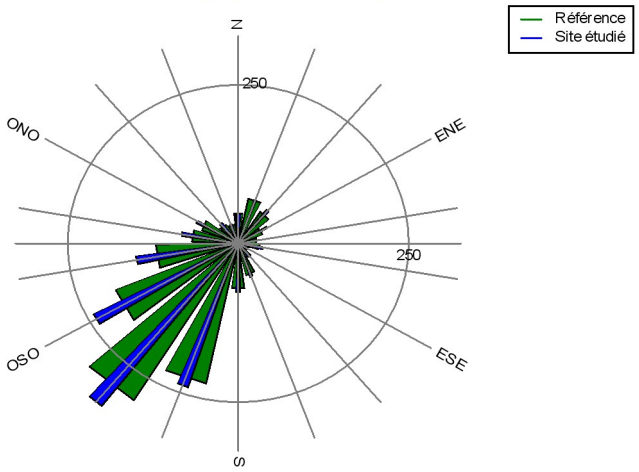
Paramètres de Weibull

	Site étudié				Référence: plat et rug. classe 1			
Secteur	Paramètre A [m/s]	Vitesse du vent [m/s]	Paramètre k	Fréquence [%]	Paramètre A [m/s]	Paramètre k	Fréquence [%]
0 0	5,66	5,01	2,264	4,2	5,49	2,230	4,3
1 1	5,76	5,11	2,291	5,9	5,67	2,260	6,2
2 2	5,62	4,98	2,240	5,7	5,39	2,220	5,7
3 3	5,21	4,61	2,021	4,7	4,86	1,970	4,6
4 4	4,87	4,32	2,080	4,3	4,55	2,060	4,2
5 5	4,86	4,31	2,229	4,9	4,68	2,230	4,8
6 6	4,08	3,61	2,178	3,6	3,99	2,190	3,5
7 7	4,90	4,34	2,158	3,3	4,82	2,150	3,2
8 8	5,69	5,05	2,443	5,0	5,52	2,440	5,1
9 9	5,84	5,18	2,221	5,9	5,66	2,200	6,1
10 10	7,75	6,88	2,529	8,6	7,56	2,530	8,9
11 11	7,93	7,03	2,502	11,0	7,55	2,470	11,3
12 12	7,57	6,71	2,424	9,1	7,10	2,380	8,8
13 13	7,11	6,30	2,232	6,4	6,70	2,190	6,2
14 14	6,11	5,41	2,037	5,3	5,67	1,990	5,1
15 15	5,89	5,21	2,076	4,9	5,54	2,040	4,8
16 16	5,35	4,74	2,217	3,9	5,09	2,200	3,9
17 17	5,34	4,73	2,221	3,3	5,16	2,190	3,3
Global	6,21	5,50	2,080	100,0	5,95	2,075	100,0

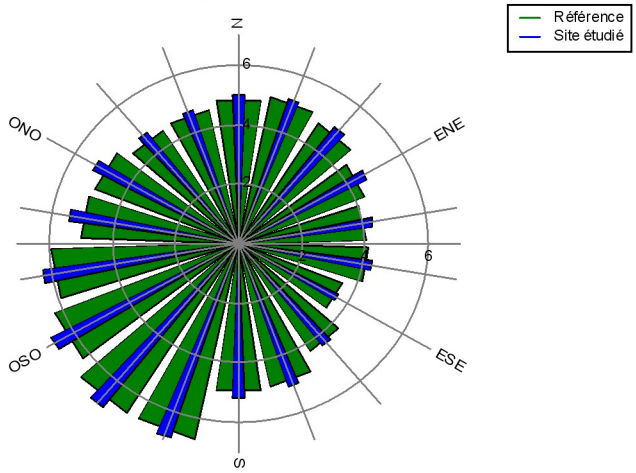
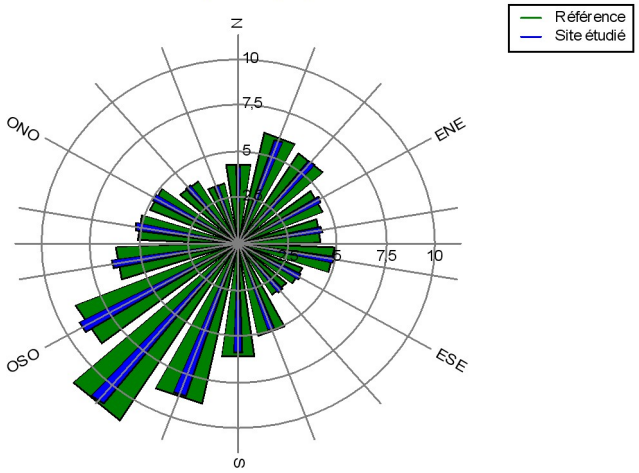
Distribution de Weibull



Rose d'énergie (kWh/m²/année)



Vmoy. vent (m/s)



Fréquence (%)