

## 4.7 ANNEXES DE L'ETUDE D'IMPACT

### **Compléments**

Décembre 2022

# PROJET EOLIEN DE FORTEL-VILLERS





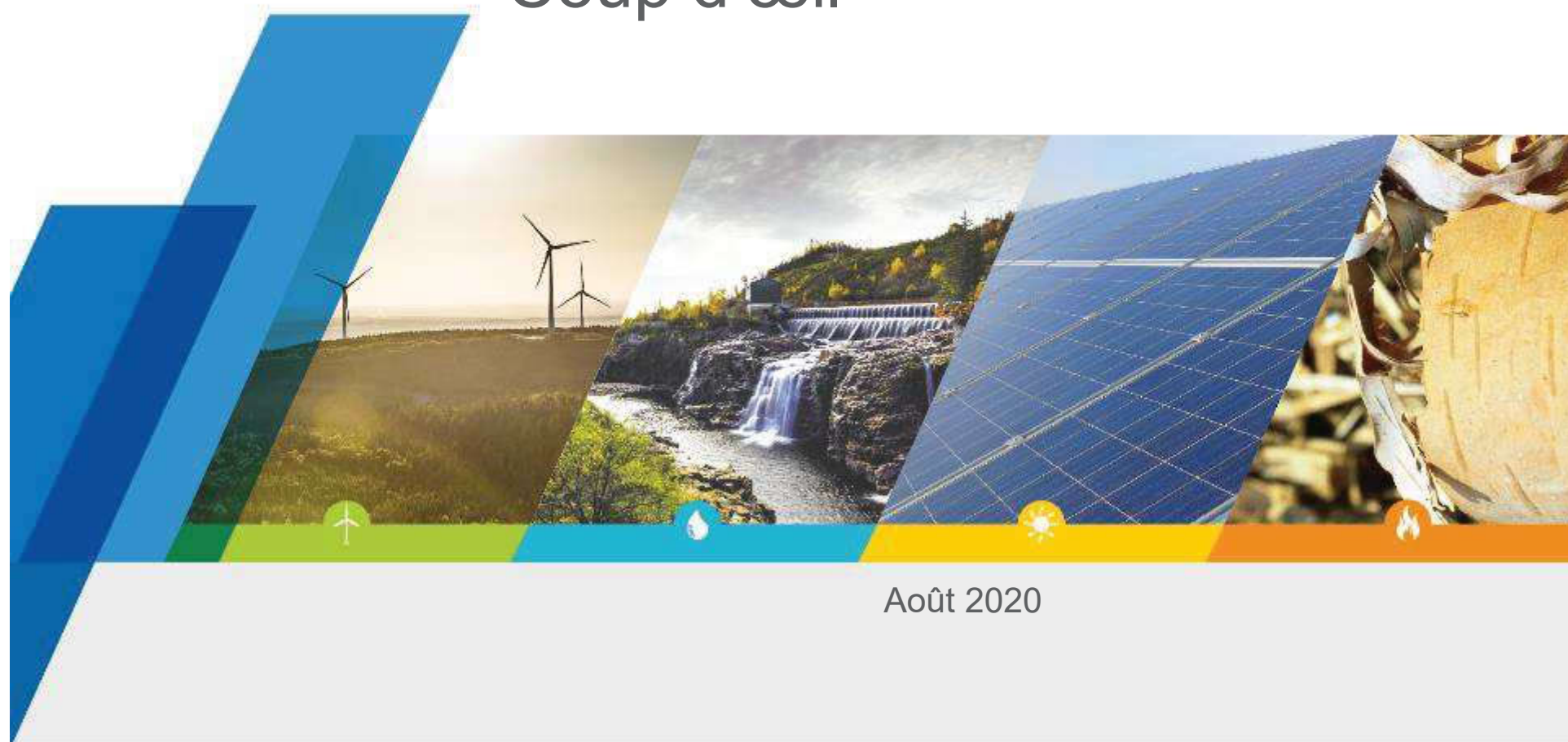
# SOMMAIRE

- **Annexe 1** : Présentation de BORALEX
- **Annexe 2** : Documents de communication sur le projet éolien de Fortel-Villers
- **Annexe 3** : Présentation de l'éolien
- **Annexe 4** : Acceptabilité de l'éolien
- **Annexe 5** : Réponse aux courriers de consultation du bureau d'études et du Maître d'Ouvrage
- **Annexe 6** : Documentation constructeurs
- **Annexe 7** : Etudes d'expertises annexes :
  - o Etude d'impact du projet de Fortel-Villers sur le radar militaire de Doullens (PagerPower, août 2018) ;
  - o Etude des ombres portées (BORALEX, 2021).

## **Annexe 1 : Présentation de BORALEX**

**BORALEX**

## Coup d'œil



## Un leader

Un parcours et un bilan solides :  
notre tremplin pour l'avenir





# 2 055 MW

De puissance installée

## Développement, construction et exploitation

de sites de production d'énergie renouvelable



## Historique en bref



Cascades met en service la **première centrale de cogénération au gaz naturel du Canada**, à Kingsey Falls.



Boralex fait une **première incursion en France** par l'acquisition de la centrale hydroélectrique de la Rochette.



En France, Boralex inaugure son **premier parc solaire**.

1990

1995

1998

2002

2010

2011

2013

Cascades acquiert Boralex par voie de prise de contrôle inversée.

Boralex regroupe alors **cinq centrales hydroélectriques et une usine de cogénération au gaz naturel**, toutes situées au Québec, d'une puissance installée de 50,5 MW.

Premiers pas dans le domaine de la production **d'énergie éolienne** par la mise en service du site éolien, Avignonet-Lauragais, en France.



Boralex met en service son **premier site éolien au Canada**, Thames River en Ontario.



Boralex poursuit son développement en éolien avec les **misés en service de projets éoliens** en France ainsi que la phase I des Parcs éoliens de la Seigneurie de Beaupré, au Canada, l'un des **plus grands parcs éoliens au Canada**.

## Historique en bref (suite)

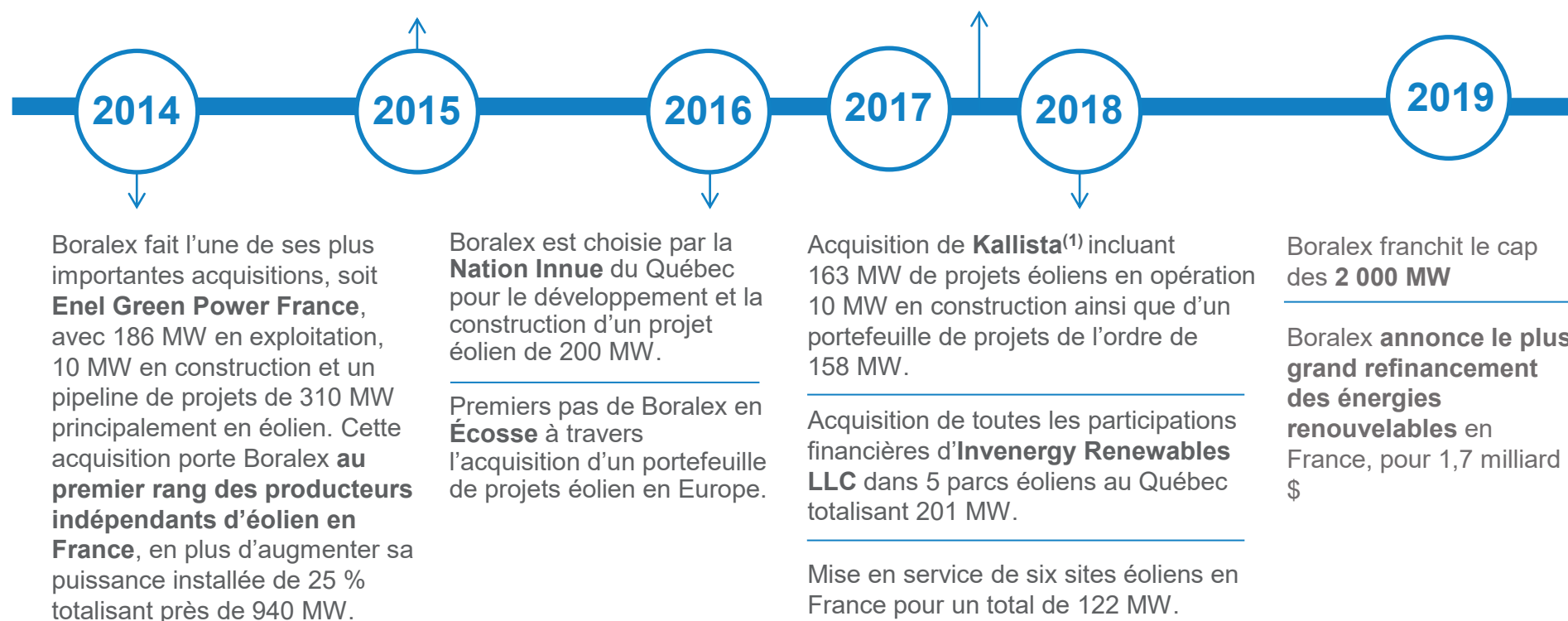


Boralex franchit le cap des **1 000 MW** de puissance installée en propriété net.



Boralex clôture **la plus importante acquisition de son histoire** avec le parc éolien de 230 MW de la région de Niagara.

La **Caisse de dépôt et placement du Québec** complète l'acquisition de la totalité des actions de Boralex détenues par Cascades Inc. et devient l'actionnaire principal



5

<sup>(1)</sup> Kallista Energy Investment SAS et KE Production SAS.

## Coup d'œil corporatif et financier

- / Producteur d'énergie indépendant (Canada, France et États-Unis)
- / 30 ans d'expérience dans le secteur des énergies renouvelables
- / Titre coté à la Bourse de Toronto (BLX)
- / 18,4 % de l'actionnariat détenu par la Caisse de dépôt et placement du Québec au 30 juin 2020

Un producteur d'énergie indépendant  
grandement reconnu

6



# Le comité de direction de Boralex



**Patrick Lemaire**

Président chef de la direction



**Marie-Josée Arsenault**

Vice-présidente Talent et Culture



**Julie Cusson**

Vice-présidente Affaires publiques et corporatives



**Patrick Decostre**

Vice-président et chef de l'exploitation



**Hugues Girardin**

Vice-président développement



**Bruno Guilmette**

Vice-président et chef de la direction financierel Officer



**Pascal Hurtubise**

Vice-président, chef des affaires juridiques et secrétaire corporatif



**Nicolas Wolff**

Vice-président et directeur général, Boralex Europe

7

## Notre positionnement

Un profil unique, diversifié et équilibré

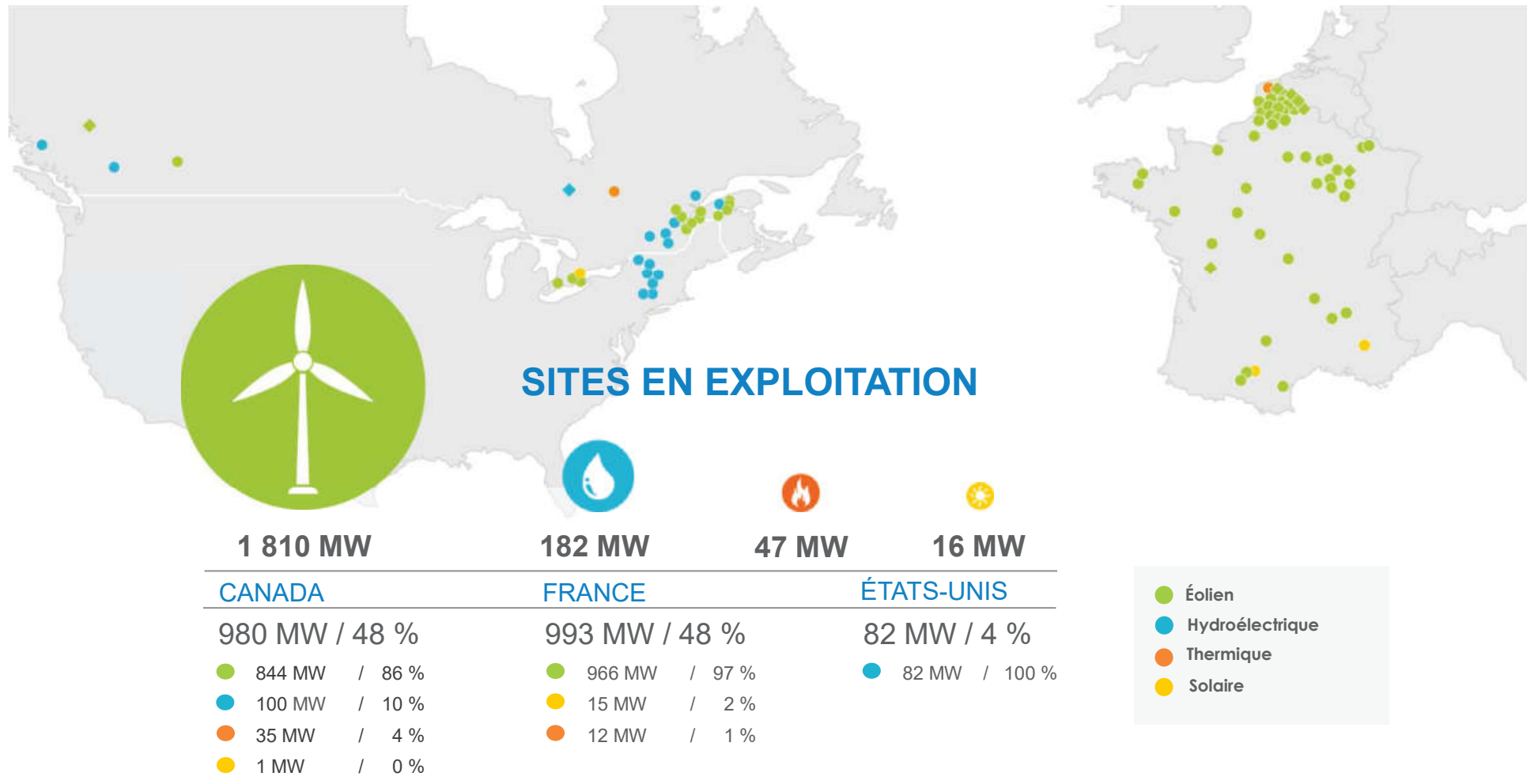






# Boralex dans le monde

Un des leaders du marché canadien et premier acteur indépendant de l'éolien terrestre en France



9

## Notre force

La qualité exceptionnelle de nos employés

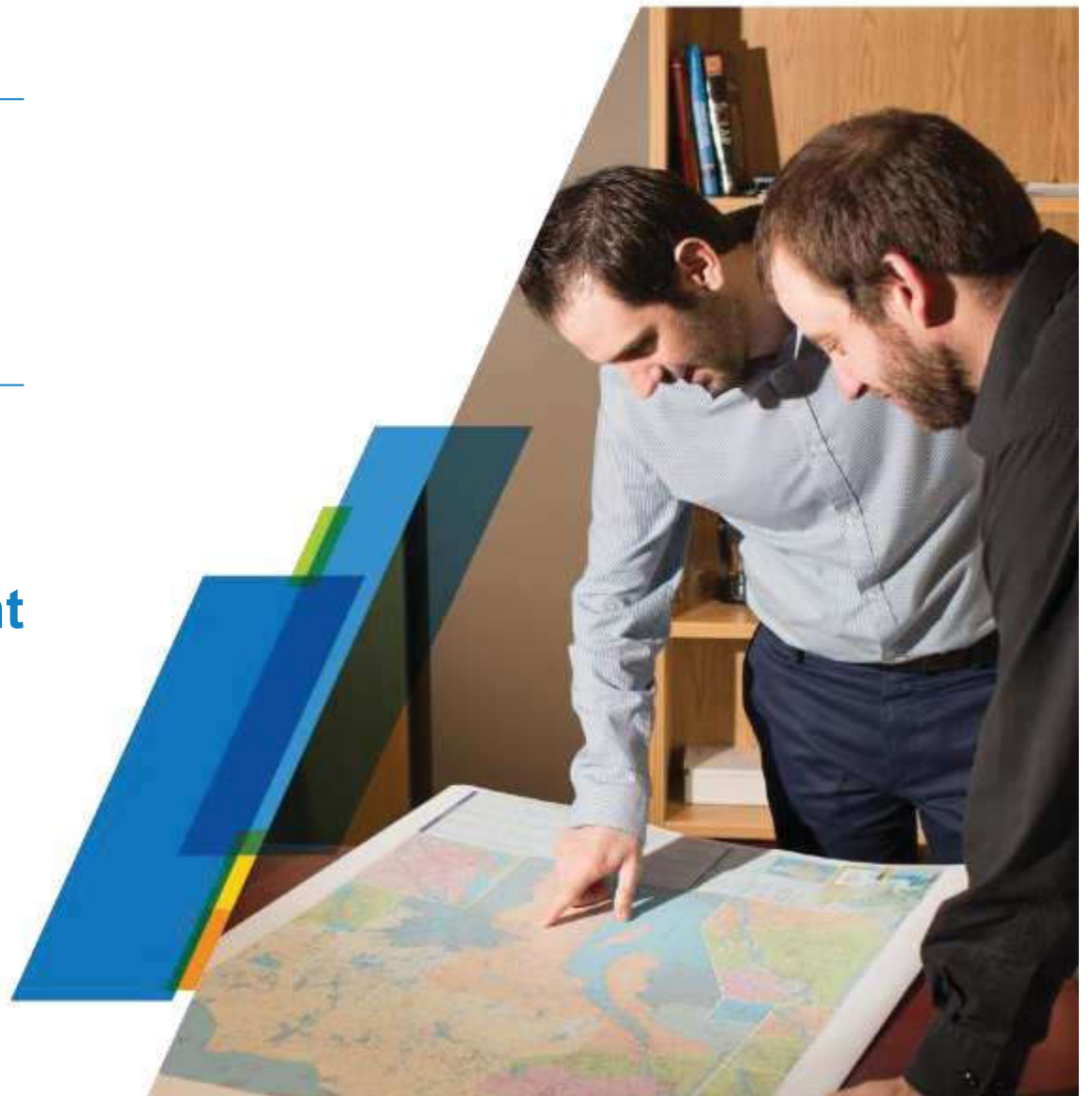


# Boralex en bref

Plus de **485** employés

Équipe **compétente, expérimentée et dévouée**

**30 ans** d'expérience dans **l'exploitation et le développement** de sites énergétiques



11

# Nos valeurs

**Respect, esprit d'équipe, créativité, entrepreneurship et communication** sont les pierres angulaires de la philosophie de gestion de Boralex.

Les valeurs de Boralex reflètent l'esprit et la culture véhiculés par chacun de nos employés. Elles inspirent notre **développement**, éclairent nos prises de **décisions** et guident nos **actions**.

**ESPRIT D'ÉQUIPE**  
Démontrer que nous sommes  
meilleurs ensemble

**RESPECT**  
Faire preuve de considération, guidés par  
les principes du développement durable

**COMMUNICATION**  
S'ouvrir à un dialogue porteur et durable

**CRÉATIVITÉ**  
Aller plus loin en faisant preuve d'ingéniosité

**ENTREPRENEURSHIP**  
Penser et agir avec proactivité et agilité

12



# Notre stratégie de croissance

La production d'énergie renouvelable



## Notre vision

Boralex est un acteur majeur des **énergies renouvelables**.

Basés au **Canada**, présents aux **États-Unis** et fortement implantés en **France**, nous ambitionnons de repousser nos frontières pour capturer notre croissance là où elle se trouve. Nous continuerons à augmenter notre puissance installée avec des modes de production alimentés par les ressources naturelles renouvelables en plus de saisir les opportunités d'affaires offertes par la transition énergétique mondiale. Ces actions se font dans **le respect** de nos **employés**, de nos **partenaires**, des **communautés** et de **l'environnement**.

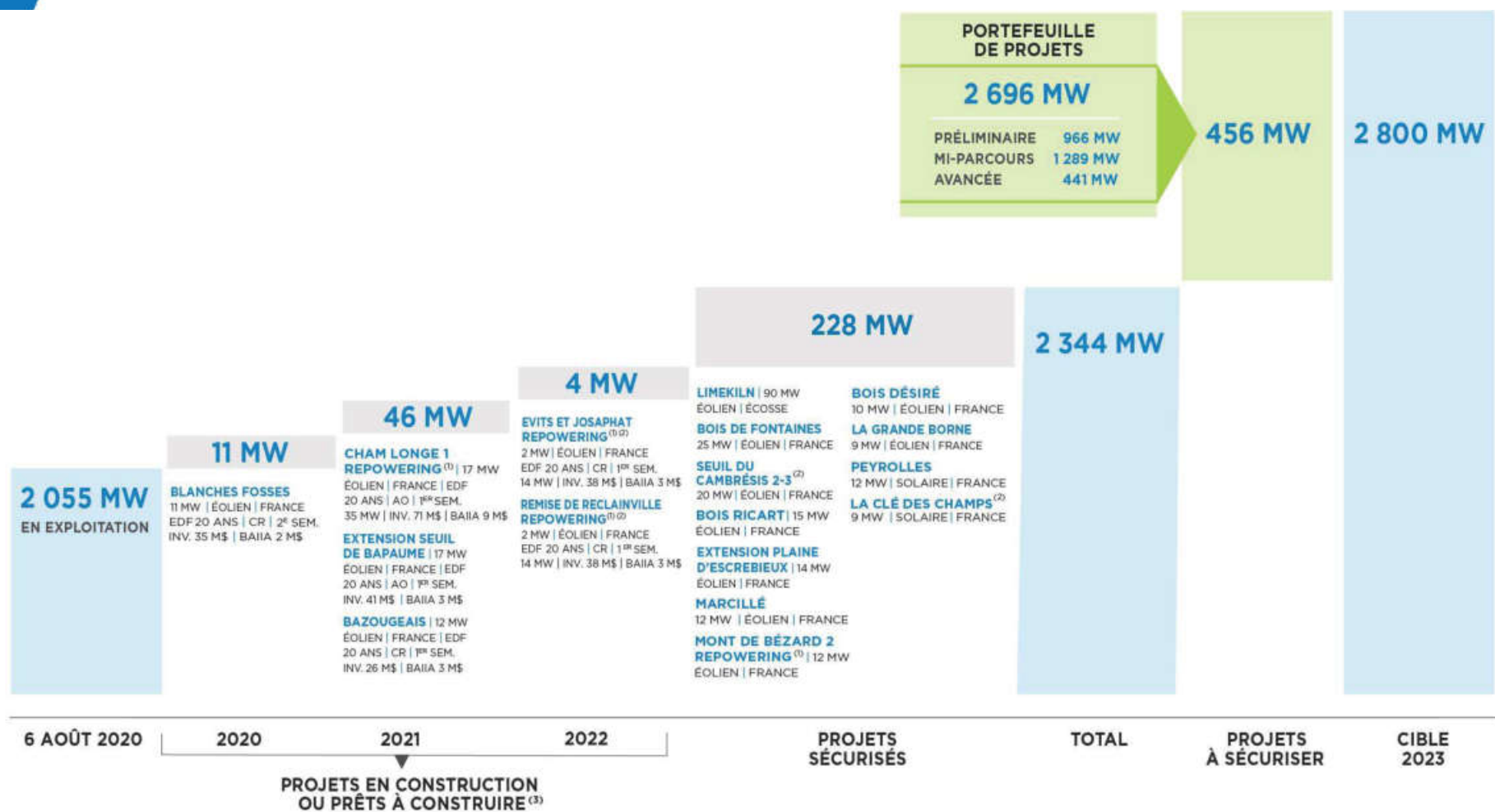
Le dialogue et la concertation font partie de notre ADN.

Notre force repose sur l'**expertise**, la **compétence** et l'**ingéniosité** de nos employés.

Nous nous engageons à réaliser cette vision en faisant preuve d'éthique, en étant une **entreprise citoyenne exemplaire**, en partageant avec les communautés et en offrant un rendement financier soutenu à nos actionnaires ainsi qu'à nos partenaires.



# Chemin de croissance



(1) Le projet Cham Longe 1 repowering remplace les éoliennes existantes par de nouvelles éoliennes pour une puissance totale sécurisée par l'entremise d'un nouveau contrat à long terme de 35 MW, soit un ajout de 17 MW sur la puissance actuelle. Le projet de Evits et Josaphat repowering représente une puissance totale de 14 MW, soit un ajout de 2 MW, celui de Remise de Reclainville repowering représente une puissance totale de 14 MW, soit un ajout de 2 MW et le projet Mont de Bézard 2 repowering représente une puissance totale de 24 MW, soit un ajout de 12 MW.

(2) La terminologie des projets suivants a été modifiée au cours du deuxième trimestre de 2020: Louville repowering 1 pour Evits et Josaphat repowering, Louville repowering 2 pour Remise de Reclainville repowering, RIB2-3 pour Seuil du Cambrésis 2-3 et St-Christophe pour La clé des champs.

(3) L'investissement total et le BAIIA annuel estimé pour les projets situés en France ont été convertis en dollars canadiens au taux de clôture au 30 juin 2020.

# Un plan stratégique bien défini avec grand potentiel de croissance



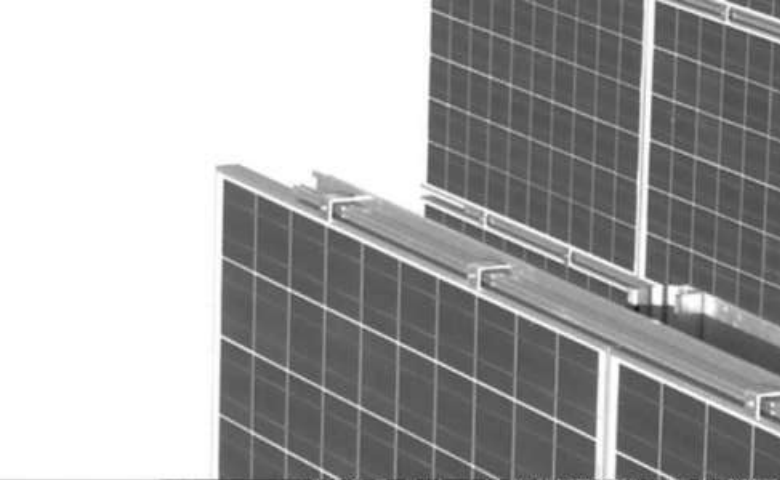
**BORALEX**



@BoralexInc  
boralex.com



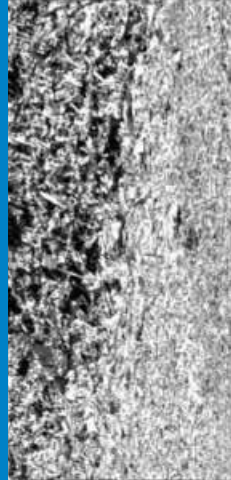
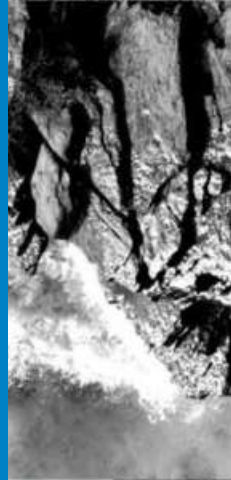
## **Annexe 2 :** Documents de communication sur le projet éolien de Fortel-Villers



27 juin 2018

# BORALEX

Projet d'extension du parc de Fortel-Bonnières

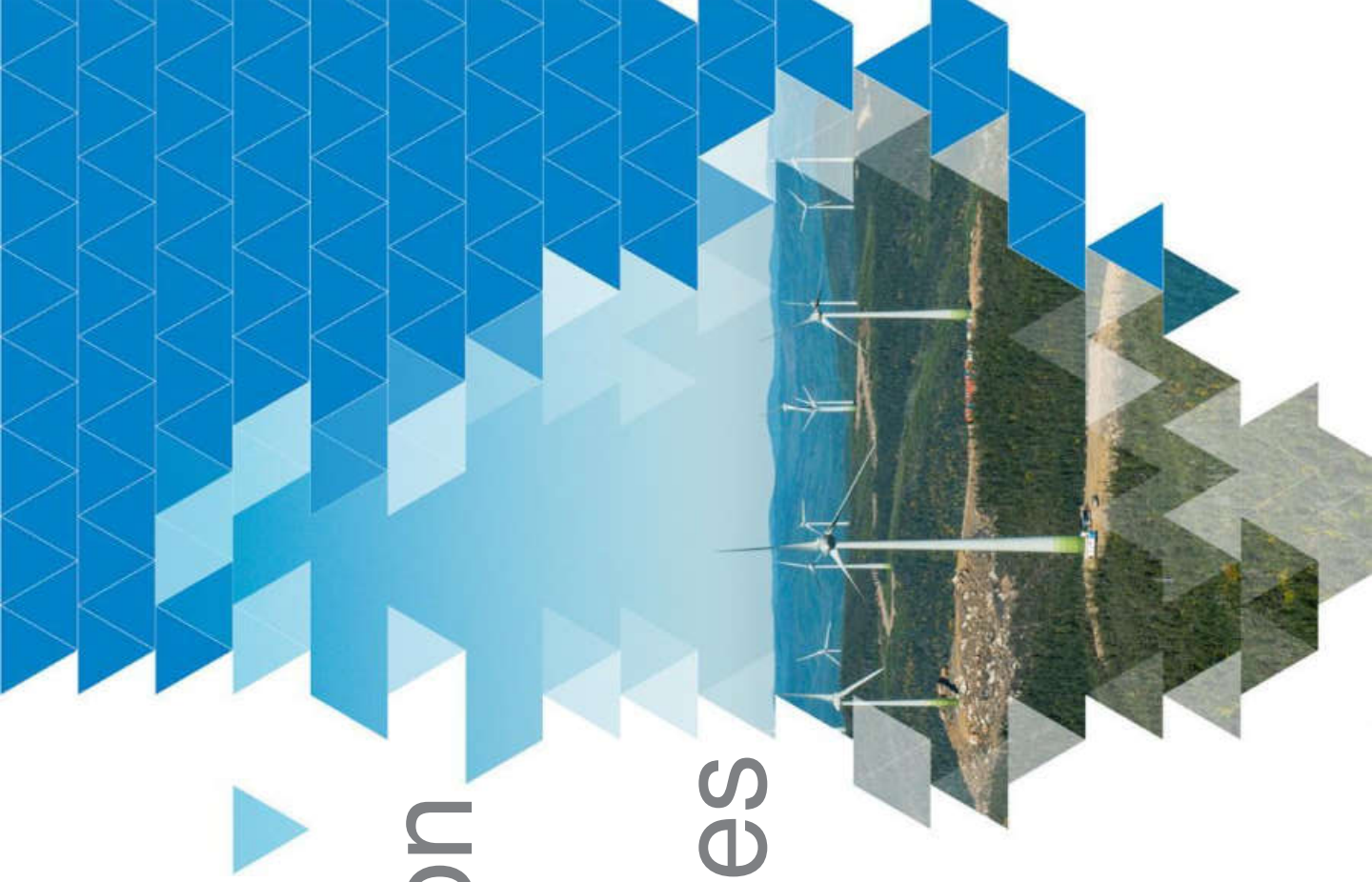


- 1. Présentation de Boralex**
- 2. Présentation du site éolien**
- 3. Les caractéristiques du projet**
- 4. Communication autour du projet**

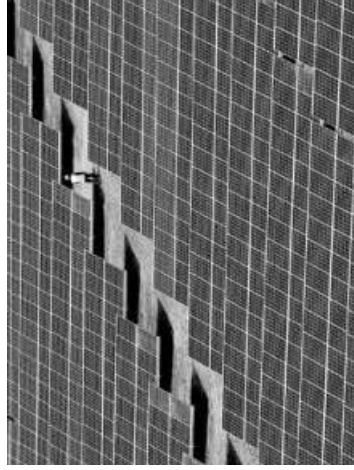


# Étude du projet d'extension du parc éolien Fortel – Bonnières

Présentation de  
Boralex



Une base d'actifs  
d'environ  
**1 619 MW**



Objectif de  
croissance fixé à  
**2 000 MW**  
d'ici l'année 2020

## Développement, Construction et Exploitation

de sites de production d'énergie renouvelable

**Boralex** - France

*Création en 1999*

*Plus de 150 employés*

*799 MW installés*



**Boralex Inc** - Canada

*Création en 1982*

*Environ 200 employés*

*738 MW installés*



**PUISSANCE TOTALE  
INSTALLÉE EN FRANCE**

**799** MW

772 MW

● éolien

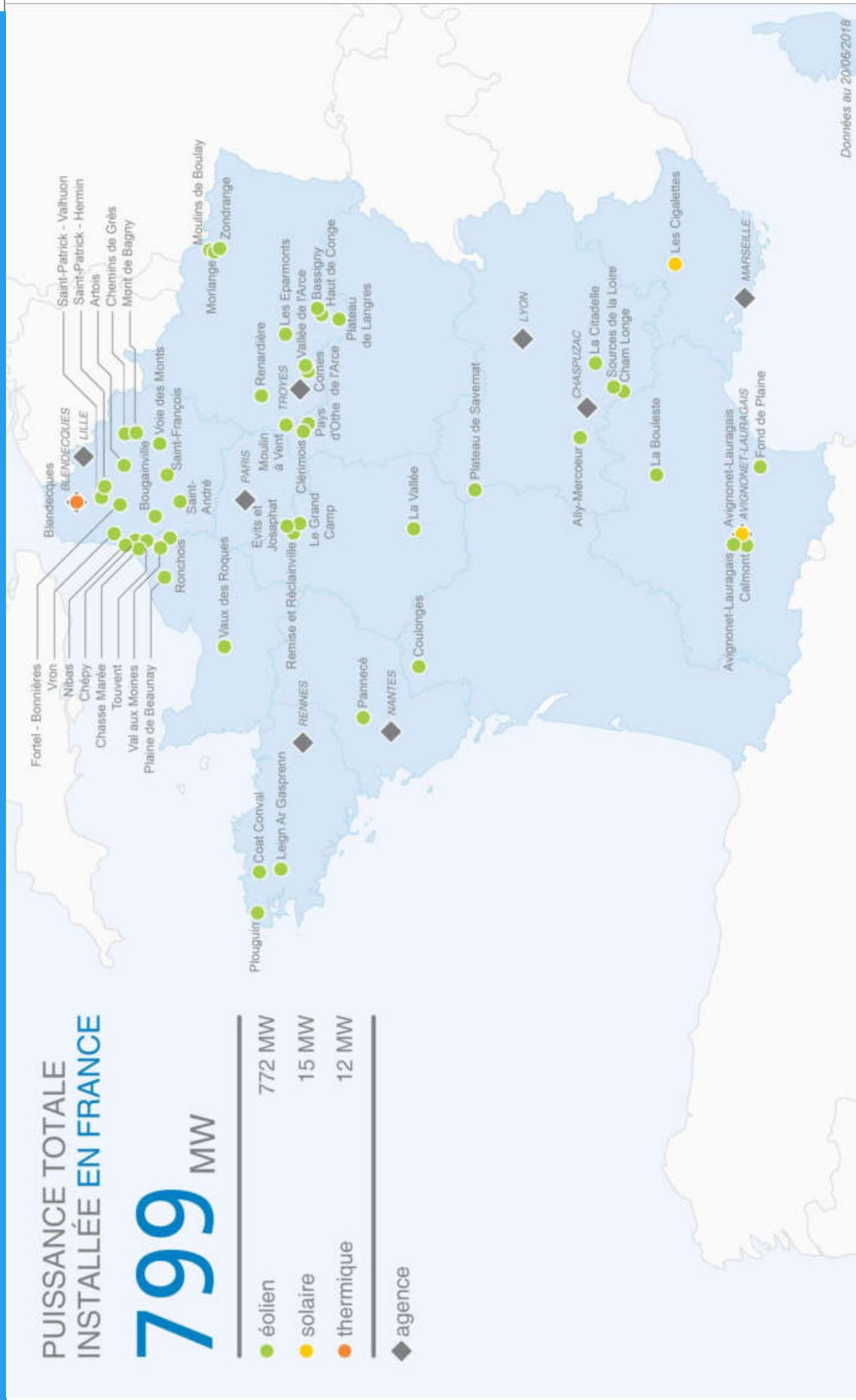
15 MW

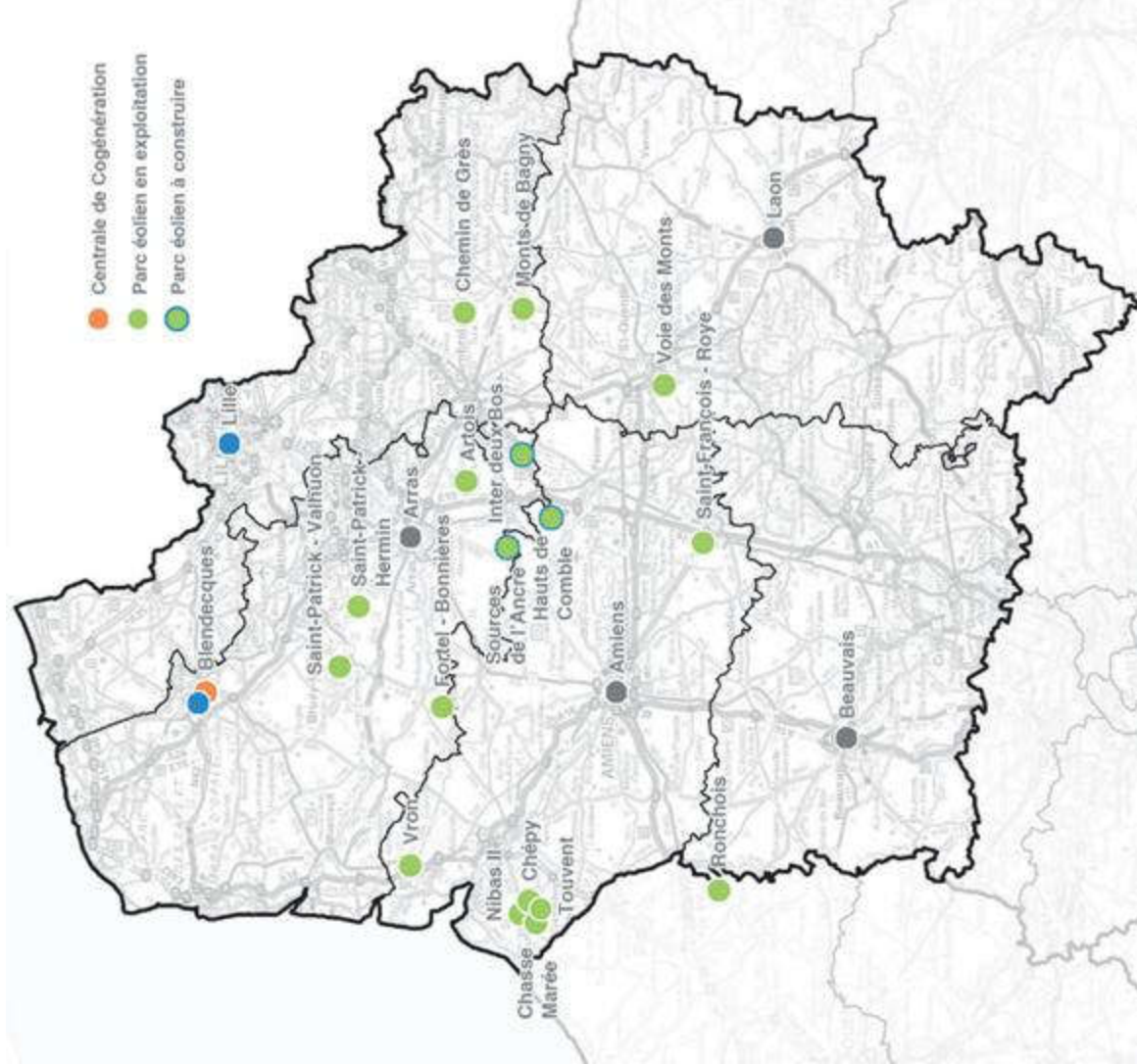
● solaire

12 MW

● thermique

◆ agence





## HAUTS-DE-FRANCE

2001 Implantation dans les Hauts-de-France

2017 Puissance totale installée

**257** MW

Soit la consommation annuelle d'environ 257 000 foyers

**97** Eoliennes installées



Entre 2001 et 2017

~ **2** M€/an de retombées fiscales  
versées aux collectivités locales au titre de la CFE, CVAE, IFRER, et de la taxe foncière.

**60** emplois directs  
à Blendecques et à Lille

~ **300** emplois indirects

**150,7** M€ investis dans les Hauts-de-France

Orléans à 2019

Plus de **100** M€ d'investissements prévus dans la région

**Agence de Blendecques - Siège social**  
Administration – Exploitation d'une centrale cogénération et des sites éoliens du nord de la France  
**Nombre de salariés : 47**



**Agence de Lille – Bureau de direction**  
Direction Générale, service finance et développement de projets  
**Nombre de salariés : 13**

**Agence de Rennes**  
Développement et construction de projets  
**Nombre de salariés : 3**



**Agence de Troyes**  
Développement et exploitation de parcs éoliens  
**Nombre de salariés : 11**



**Agence de Nantes**  
Exploitation de parcs éoliens  
**Nombre de salariés : 4**



**Agence de Lyon**  
Exploitation de 12 parcs éoliens  
Ressources humaines, ingénierie, développement  
**Nombre de salariés : 40**



**Agence de Chaspuzac**  
Développement et exploitation de parcs éoliens en Ardèche et en Haute Loire  
**Nombre de salariés : 15**



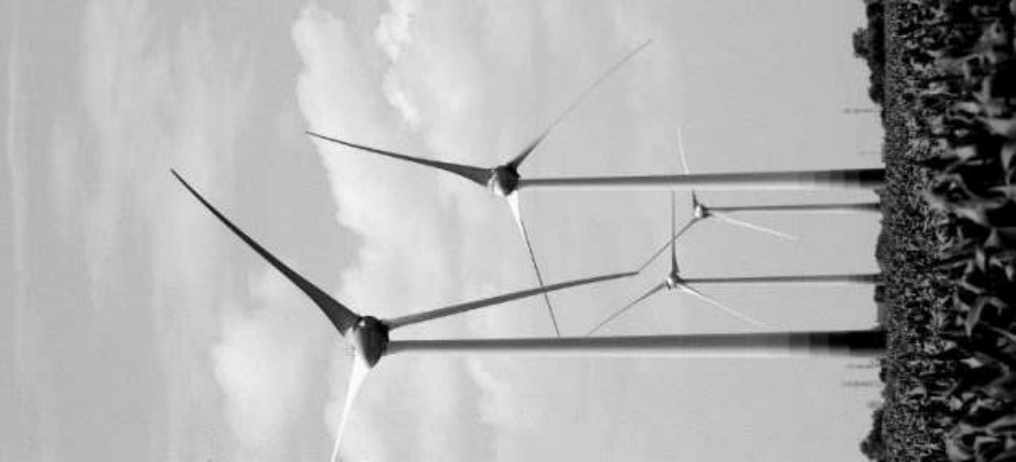
**Agence d'Avignonnet-Lauragais**  
Exploitation de 2 parcs solaires et de 2 parcs éoliens  
**Nombre de salariés : 7**



**Agence de Marseille**  
Développement de projets éoliens et solaires  
**Nombre de salariés : 5**

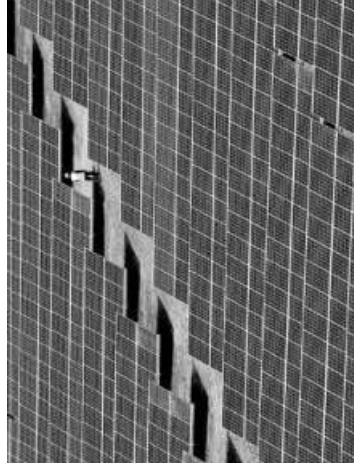


**1<sup>er</sup> acteur  
Indépendant  
Plus de 15 ans  
d'expérience**



## **Une expertise complète**

- Gisement éolien
- Études naturalistes
- Études sonores
- Études paysagères
- Études techniques



## **Un réel accompagnateur**

- Gestion raisonnée d'intégration
- Mesures d'accompagnements
- Interlocuteur unique sur la durée du projet
- Soutien au dynamisme local

**Le WWF s'engage  
aux côtés de Boralex**

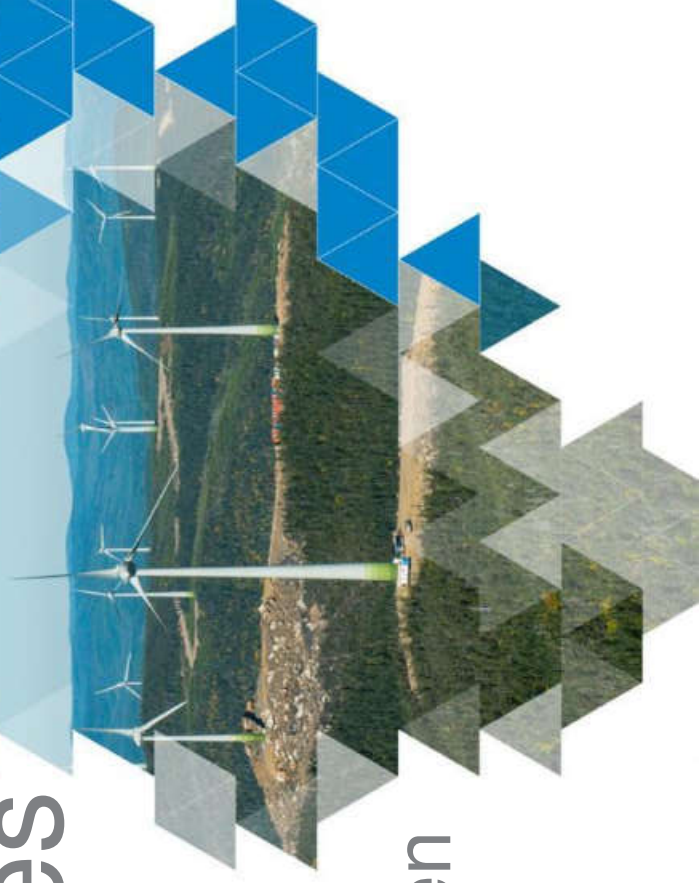


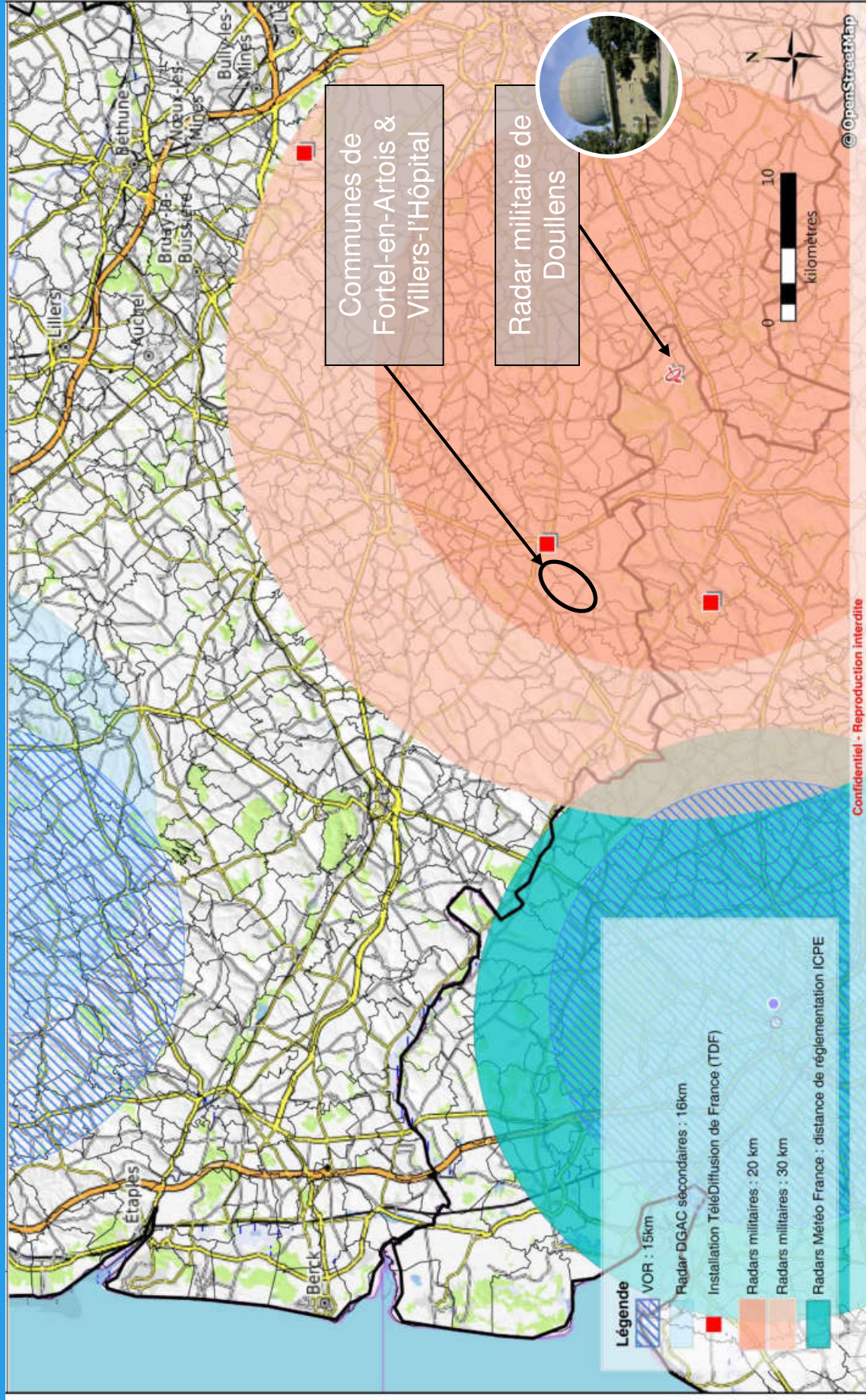
**LE WWF  
ACCOMPAGNE  
BORALEX  
DANS SA DEMARCHE  
ENVIRONNEMENTALE**



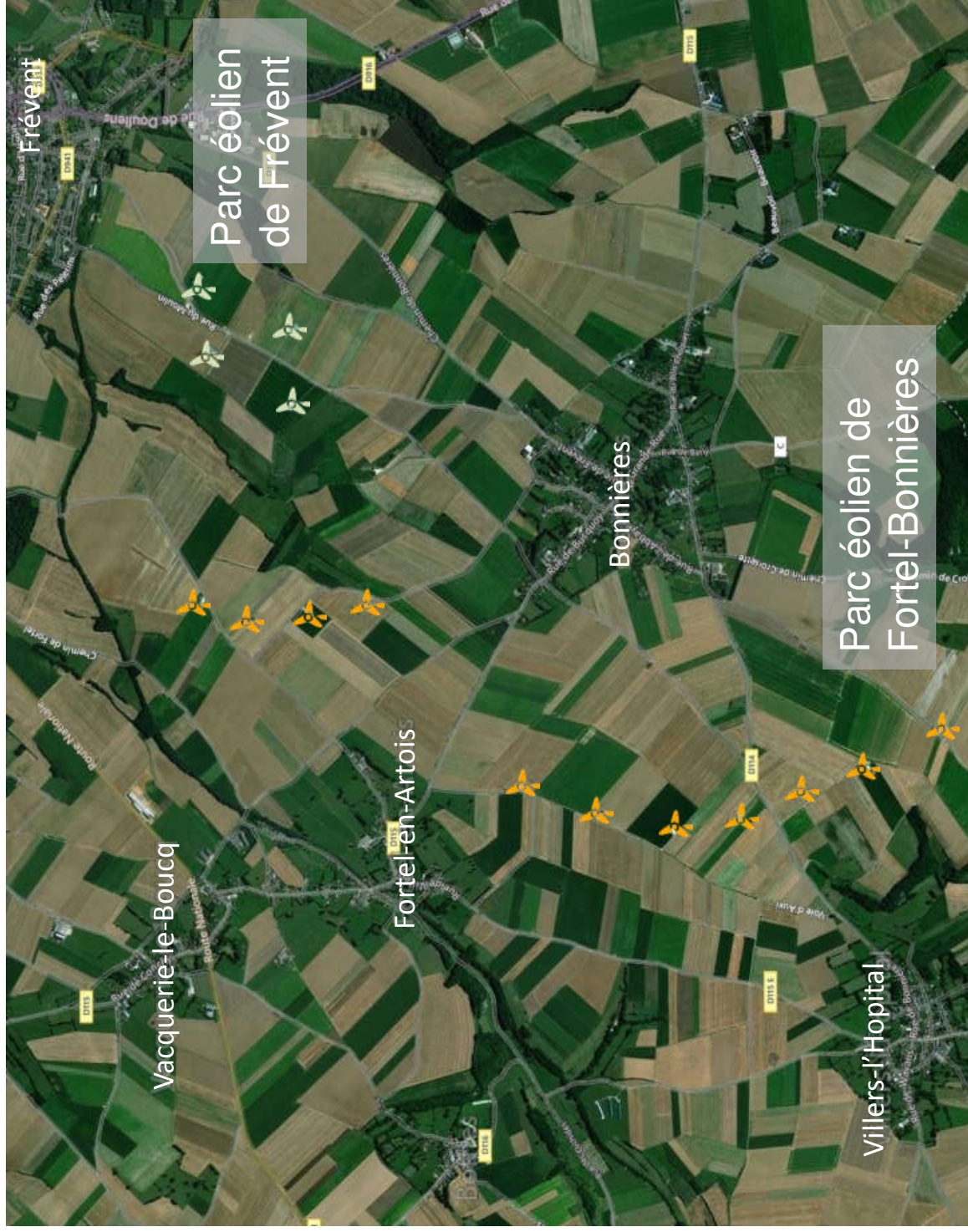
# Étude du projet d'extension du parc éolien Fortel – Bonnières

Présentation du site éolien  
Première approche





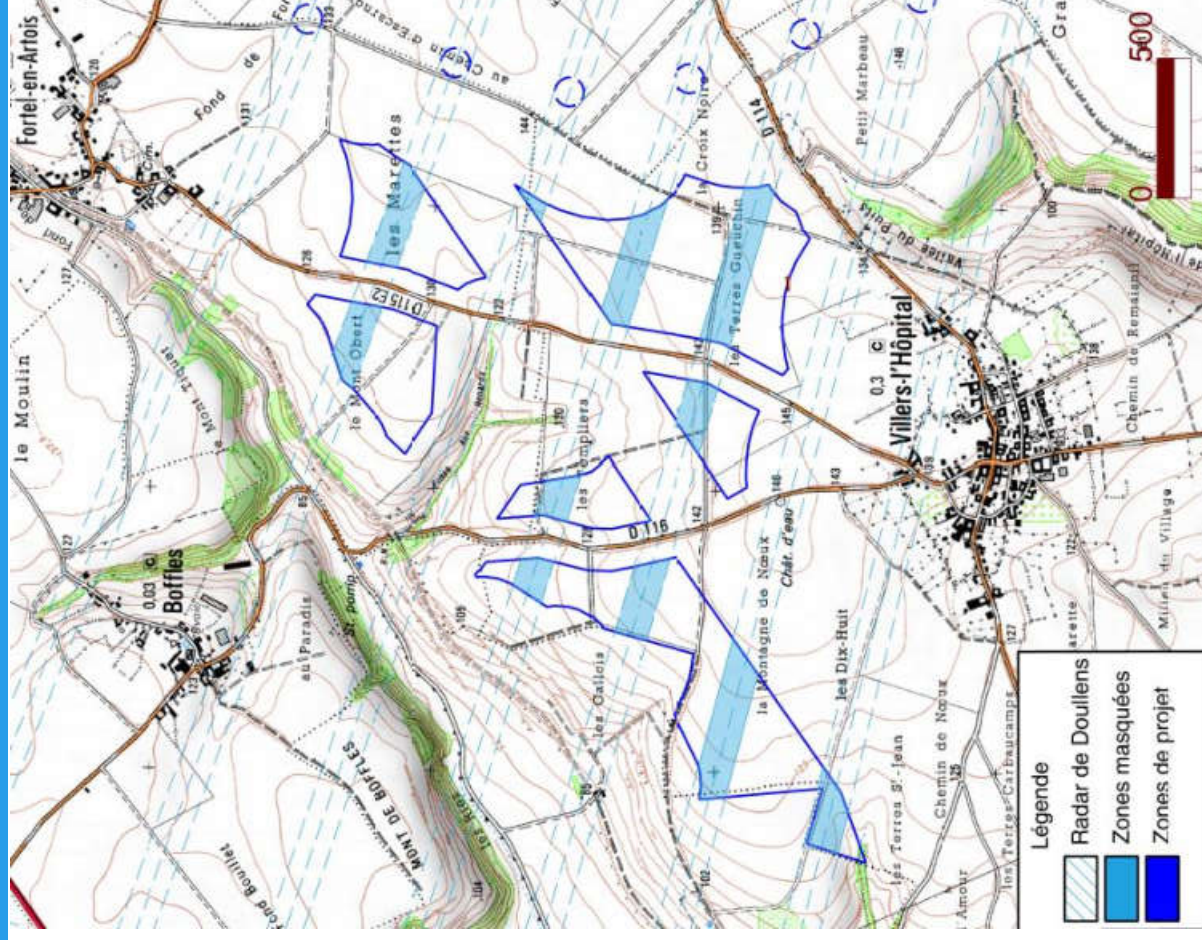




## Fortel-en-Artois / Villers-l'Hôpital

Zone de projet prenant en compte une zone de retrait de :

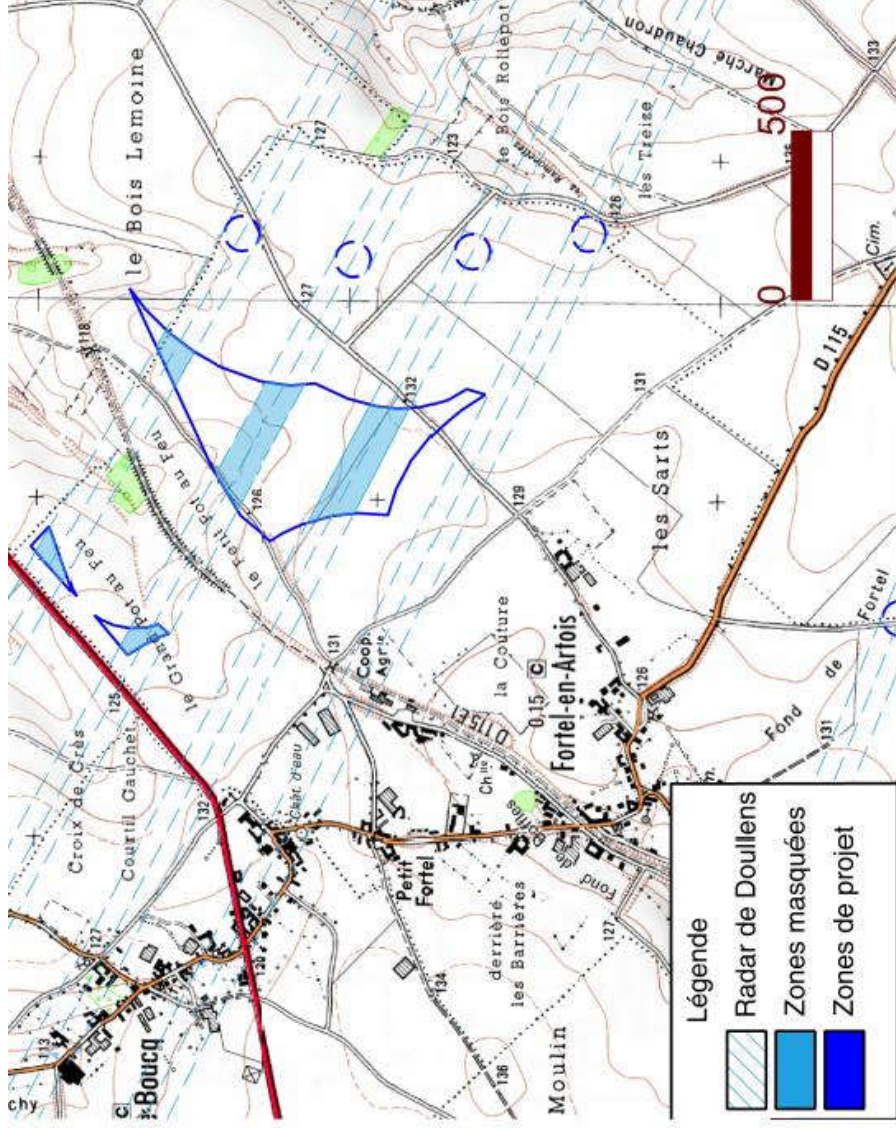
- 500 m par rapport à l'habitat
- 75 m par rapport aux routes départementales
- 200 m par rapport aux boisements, haies
- 130 m par rapport à la conduite de gaz



## Fortel-en-Artois / Villers-l'Hôpital

Zone de projet prenant en compte une zone de retrait de :

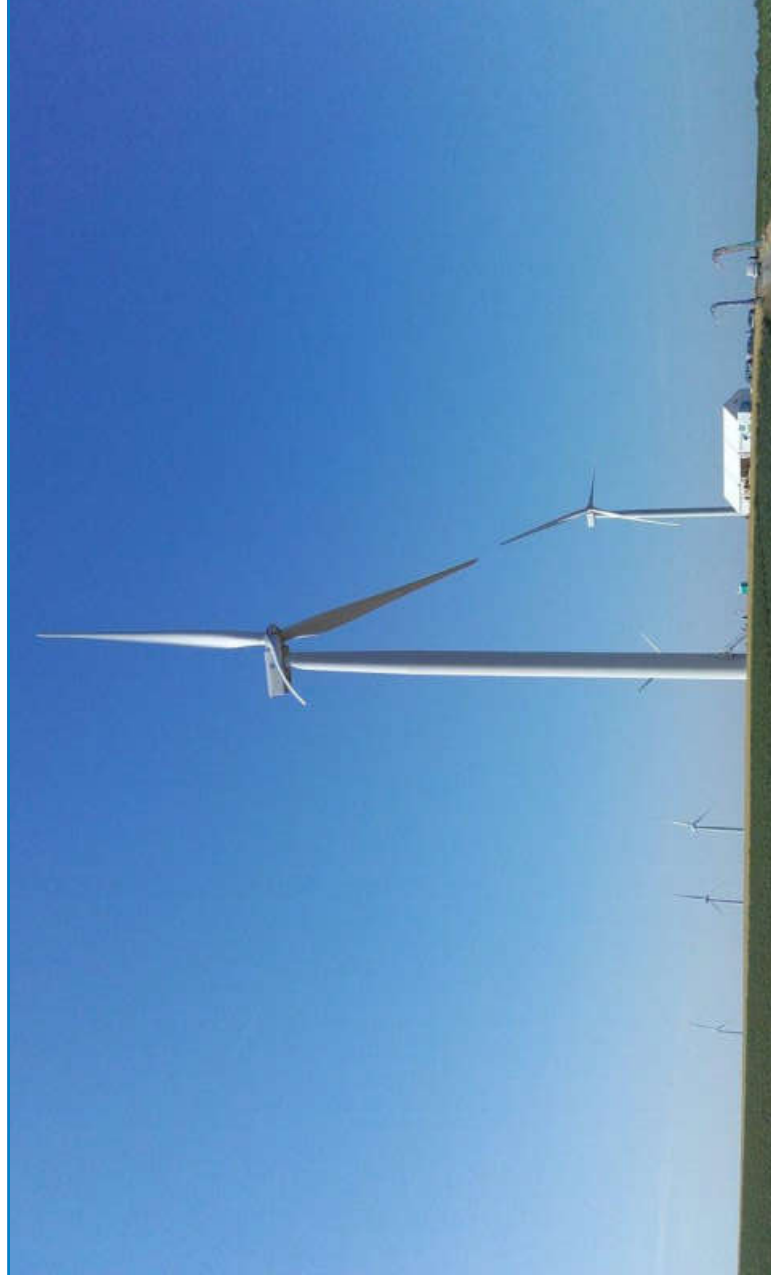
- 500 m par rapport à l'habitat
- 75 m par rapport aux routes départementales
- 200 m par rapport aux boisements, haies



### Caractéristiques du parc éolien actuel de Fortel-Bonnières

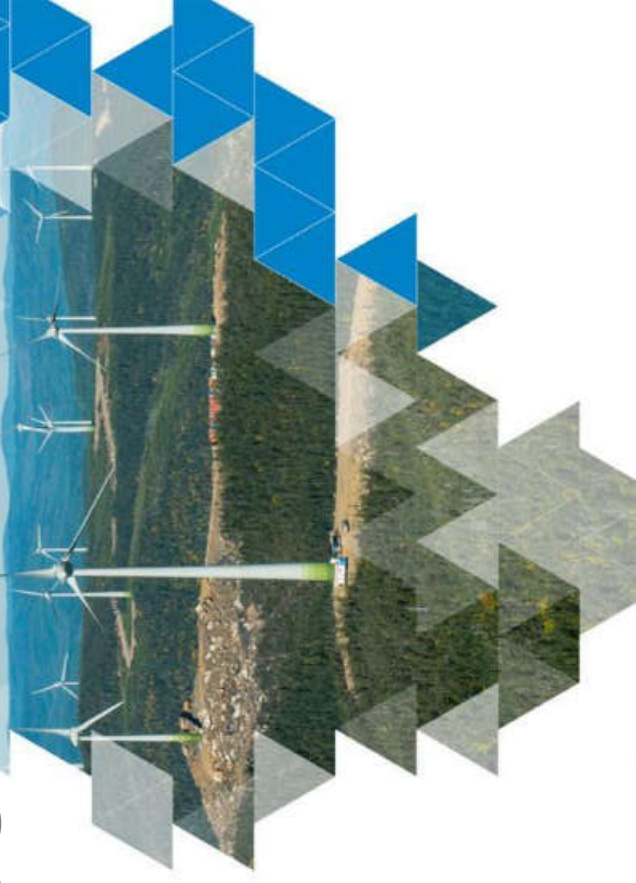
8 machines GE 103 2,85 MW

Hauteur nacelle	75 m
Diamètre rotor	103 m
Hauteur hors tout	126,5 m
Puissance nominale	2,85 MW



# Étude du projet d'extension du parc éolien Fortel – Bonnières

Les caractéristiques  
du projet



⇒ La Contribution Économique Territoriale (CET), 3 volets la composent :

- ✓ Cotisation Foncière des Entreprises (CFE) => environ 1 800 €/éolienne
  - 100% au bloc communal (Commune + Communauté de Communes)
- ✓ Cotisation sur la Valeur Ajoutée des Entreprises (CVAE) => environ 4 000 €/éolienne
  - 26,5% au bloc communal, 48,5% au département, 25% à la région
- ✓ Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseau (IFER) => 7 340 €/MW
  - 20% à la communes, 50% à l'EPCI, 30% au département

**CET approximative pour un projet de 4 éoliennes (3,2 MW) ≈ 120 000 €/an**

Dont environ 80 000 euros au bloc communale - Communauté de Communes + Commune

A NOTER que le montant et la répartition de ces recettes dépend du régime fiscal de l'établissement public de coopération intercommunale (EPCI) dont fait partie la commune et de l'entente entre la commune et la communauté de communes.

En plus de la CET...

⇒ **Taxe Foncière** => environ 1 400 €/éolienne      100% à la commune

## ⇒ Évaluation des retombées fiscales selon la réglementation en vigueur:

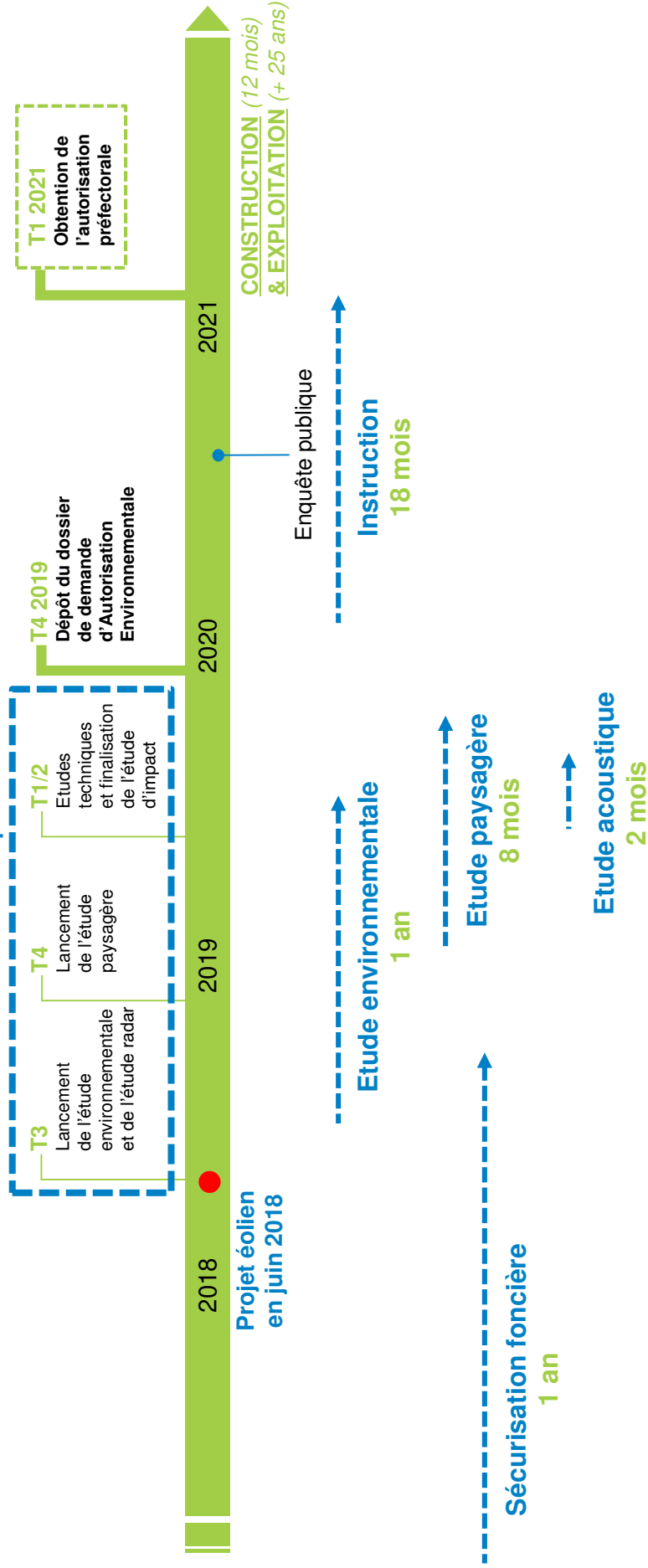
	Total par éolienne	Commune	EPCI	Département	Région	Hypothèses
<b>CFE</b>	1 800,00 €	0%	100%	0,00 €	0,00 €	4 éoliennes
		0,00 €	1 800,00 €	0,00 €	0,00 €	3,2 MW
<b>CVAE</b>	4 000,00 €	0%	26,5%	48,5%	25%	0 % fiscalité EPCI => aux communes
		0,00 €	1 060,00 €	1 940,00 €	1 000,00 €	
<b>IFER</b>	23 488,00€	20%	50%	30%		
		4 697,60 €	11 744,00 €	7 046,40 €	0,00 €	
<b>Taxe Foncière</b>	1 400,00 €	100%				
		1 400,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	

<b>Retombées annuelles par éolienne</b>	30 688,00 €	6 097,600 €	14 604,00 €	8 986,40 €	1 000,00 €
<b>Retombées annuelles pour le projet</b>	122 752,00 €	24 390,40 €	58 416,00 €	35 945,60 €	4 000,00 €

**Villers-l'Hôpital: environ 24 000€/an**

# Planning d'un projet éolien – prochaines étapes

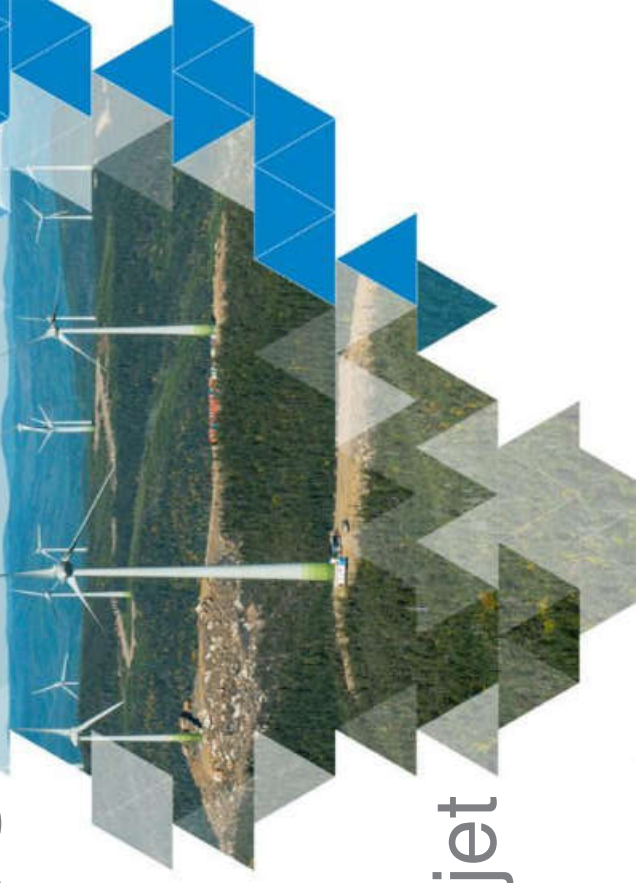
## Prochaines étapes





# Étude du projet d'extension du parc éolien Fortel – Bonnières

Communication &  
information autour du projet







# BORALEX

## **Gérard LORENZI**

Développement territorial

06.30.32.58.22

[gerard.lorenzi@boralex.com](mailto:gerard.lorenzi@boralex.com)

## **Arthur BUIRETTE**

Ingénieur projets

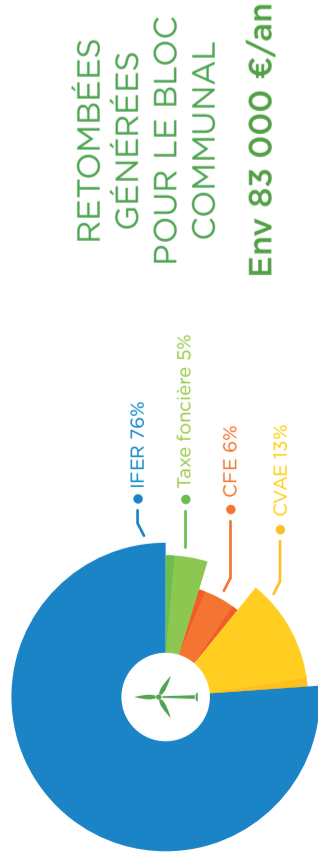
06.78.33.28.44

[arthur.buirette@boralex.com](mailto:arthur.buirette@boralex.com)



# RETOMBÉES

Les éoliennes sont soumises au titre de la taxe foncière sur les propriétés bâties (TFPB), l'imposition forfaitaire sur les entreprises de réseaux (IFER) et la contribution économique territoriale (CET) qui regroupe la cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises (CVAE) et la cotisation foncière des entreprises (CFE).



Cas d'une commune accueillant : **RETOMBÉES GÉNÉRÉES POUR LA COMMUNE**

**4 ↑ DE 3,2 MW**

**Env 26 000 €/an\***

## Mécénat en phase d'exploitation

Boralex accorde une grande importance à son implication sociale et appuie chaque année différents organismes et initiatives locales sans but lucratif afin de contribuer à l'épanouissement des communautés qui accueillent ses activités.



## PARTENARIAT DURABLE AVEC LE WWF FRANCE

Le 31 mai 2017, Boralex a renouvelé son partenariat avec le WWF France. Ainsi, elle porte à 2020 l'échéance de cette entente en vigueur depuis 2011. Le WWF France et Boralex collaborent en vue de la protection des espèces et de leurs habitats dans le contexte du développement du secteur éolien.



# BORALEX — UN SAVOIR-FAIRE NATIONAL

## DÉVELOPPEMENT - CONSTRUCTION - EXPLOITATION

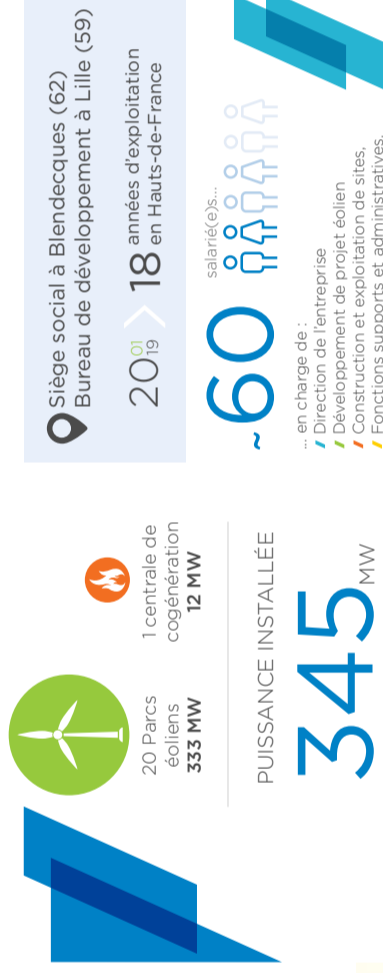


## 1ER PRODUCTEUR INDÉPENDANT ÉOLIEN TERRESTRE DE FRANCE

Implantation au plus près des sites: Blendecques (62), Lille (59), Paris (75), Verrières (10), Lyon (69), Chassuzac (43), Marseille (13), Avignonnet-Lauragais (31), Haute-Goulaine (44) et Saint-Grégoire (35).

**+170** Employé(e)s

## DANS LES HAUTS-DE-FRANCE



## À VOTRE ÉCOUTE

Vous avez des questions sur le projet éolien ou souhaitez recevoir les prochains numéros de ce Journal de l'Éolien directement par email ? Nous vous invitons à nous envoyer un email en précisant votre demande accompagnée du nom du projet et de vos coordonnées à l'adresse suivante : [info@boralex.com](mailto:info@boralex.com)



# Le Journal de l'Éolien

HIVER 2019 - NUMÉRO 1



## PROJET D'EXTENSION DU PARC ÉOLIEN DE FORTEL-BONNIÈRES

L'énergie du vent est devenue un véritable enjeu national pour assurer à la fois, une alternative aux ressources fossiles et une diversification de nos sources d'énergies, tout en limitant nos émissions de polluants et la production de déchets dangereux. Chez Boralex, nous pensons que ce contexte est une formidable opportunité offerte à tous les territoires pour créer une dynamique positive dans l'élan de la transition énergétique. Industriel partenaire des territoires, nous concevons, construisons et exploitons des parcs de production d'électricité décentralisés.

Cette dynamique, le territoire de l'Artois la cultive depuis quelques années maintenant grâce à des conditions optimales pour la production d'énergie propre. En témoigne le parc éolien de Fortel-Bonnières dont Boralex exploite 8 de ses 11 éoliennes. Le parc éolien mis en service en décembre 2014, connaît aujourd'hui un nouvel essor puisque nos équipes de développement ont identifié une zone ouvrant la voie au développement d'une possible extension de ce dernier. Cette extension viendrait renforcer un peu plus la dynamique territoriale initiée il y a 4 ans entre Boralex et le territoire.

Dans ce premier journal de l'éolien, nous vous présenterons les premiers pas du projet. Nous aborderons les études de faisabilité et les études à venir du projet. Ce journal est issu d'une démarche volontaire de la part de Boralex qui, en accord avec les élus, souhaite communiquer et informer les populations concernées par le projet en toute transparence et objectivité.

Nous vous souhaitons à toutes et à tous une bonne lecture.

Photos non contractuelles  
Imprimé sur du papier 100 % recyclé  
Publication : © Boralex SAS

[www.boralex.com](http://www.boralex.com)  
@BoralexInc

**Boralex S.A.S.**  
8 rue Anatole France  
59000 Lille

## HISTORIQUE

L'histoire de Boralex sur le territoire de l'Artois débute avec le développement puis la mise en service des 8 éoliennes du parc éolien de Fortel-Bonnières en décembre 2014. Fortel-Bonnières nous a permis d'étudier, de part son développement, une zone prometteuse et de confirmer, au cours de ses premières années d'exploitation, toutes les promesses entrevues lors des études. De cet élan est également née une véritable relation de proximité avec le territoire et nos communes d'accueils que sont Bonnières, Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital.

C'est pourquoi aujourd'hui, et au travers de cette première communication auprès du grand public, nous renouvelons notre logique de développement du territoire par notre intention de développer un projet d'extension au parc éolien actuel.

Ce projet est en réflexion depuis l'été 2017. **Sa zone d'étude est située sur les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital.** Après une première analyse de la faisabilité du projet en interne, nous avons, par le biais de notre équipe de développement, évoqué dans un premier temps le sujet avec les élus des communes. Puis, avec leur accord, nous nous sommes rapprochés des propriétaires fonciers et des exploitants agricoles concernés par la zone d'étude. Nous avons ensuite renouvelé nos intentions lors d'une réunion de présentation du projet aux élus des communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital en juin 2018.

Cette période de réflexion et d'échanges a débouché sur des retours positifs.

**Les études environnementales ont été lancées à l'automne 2018.** Réalisées par des bureaux d'études indépendants, elles donneront leurs premiers résultats au deuxième trimestre de l'année 2019. C'est grâce à ces résultats que nous pourrions identifier les sensibilités et les enjeux du territoire liés à la zone d'études et, ainsi, adapter le projet en conséquence.

Ces études consistent notamment en :

- Une étude écologique : un bureau spécialisé va être mandaté par Boralex afin d'analyser le territoire sur un cycle biologique complet, soit au moins une année. Cette expertise portera sur la faune et la flore environnante au site et permettra d'identifier, entre autres, les habitats naturels les plus sensibles, les espèces d'oiseaux et de chauve-souris ainsi que leur activité.
- Une étude du potentiel éolien : nous connaissons le potentiel éolien grâce aux données enregistrées dans le cadre de l'exploitation du parc éolien actuel. Dans notre cas, la législation n'impose pas l'installation d'un mât de mesure. Nous allons nous servir des données du mât de mesure installé lors du développement du premier parc, ainsi que des données de production actuelles, pour confirmer le potentiel éolien.

Dans un deuxième temps, un complément d'étude sera mené pour identifier les sensibilités locales par exemple sur des aspects paysagers et acoustiques.

Il est important de noter que le nombre, le type et l'emplacement des éoliennes ne seront déterminés et validés qu'après la prise en compte des résultats des études écologiques, paysagères et techniques, conformément à la réglementation en vigueur. Les données récoltées à ce jour nous permettent toutefois d'estimer un potentiel d'implantation allant de 6 à 8 éoliennes maximum sur les zones d'études du projet couvrant les deux communes. Aussi, pour des raisons évidentes d'harmonisation avec le parc éolien actuel, les nouvelles éoliennes auront le même gabarit que les éoliennes existantes.



## PAROLES D'ACTEUR

**ARTHUR BUIRETTE**  
CHEF DE PROJETS

**Pourquoi une zone de développement seulement sur Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital ?**

« Contrairement à la zone de développement du parc éolien de Fortel-Bonnières, la nouvelle zone de développement ne touche pas la commune de Bonnières (Cf cartographie de la zone de projet). Cette zone étant limitée par la contrainte militaire imposée par le radar de Doullens. »

**Pourquoi réaliser de nouvelles études alors que le projet vient en extension du parc existant ?**

« Les études environnementales ont ce que nous pourrions comparer à une date de péremption. Ainsi, les études réalisées lors du développement du parc éolien de Fortel-Bonnières ne peuvent être prises en compte dans le cadre du nouveau projet. De plus, ces dernières ne couvriraient pas la zone actuelle de développement. D'où la nécessité d'en effectuer de nouvelles. »

## ACOUSTIQUE

Les évolutions technologiques permettent aux éoliennes de présenter des caractéristiques sonores de plus en plus faibles et ce malgré une puissance unitaire plus élevée (3 à 4 MW). Le volume sonore d'une éolienne en fonctionnement à 500 mètres de distance s'élève, à l'extérieur d'une habitation, à 35 décibels (dB). Cela équivaut à peu de chose près au bruit existant dans une chambre à coucher tandis que le niveau gênant de bruit se situe autour de 60 dB et les premiers risques pour la santé autour de 90 dB.

Le projet en question ici consiste en une extension d'un de nos parcs éoliens en exploitation. Ainsi, dans la pratique, nous avons pour obligation de prendre en compte non pas une source de bruit mais deux. A savoir : le bruit émis par le parc éolien en exploitation et celui émis par les éoliennes du projet en développement.

En effet, si le développement touchait une extension d'un parc appartenant à un autre exploitant nous ne serions pas tenu de prendre en compte le bruit émis par la source en exploitation. Cependant, Boralex étant propriétaire du parc sujet à une extension, la réglementation nous impose de prendre en compte deux sources de bruit.

Autrement dit, notre étude acoustique nous obligera à être d'autant plus consciencieux, précis et exigeants au sujet de la qualité auditive future de notre projet d'extension. L'enjeu étant que la sonorité ambiante, cumulée avec celle des éoliennes existantes, entre en ligne de compte avec les exigences réglementaires.

L'étude acoustique du projet d'extension débutera au cours de l'année 2019, nous saurons vous tenir informé de ses constatations dans de futures communications.

### Pour aller plus loin

L'Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) a réalisé en mars 2017 un rapport d'expertise sur les éventuels effets de l'éolien sur la santé reprenant une étude de l'AFSSÉ datant de 2008. Il convient de noter également que la loi française impose aux parcs éoliens de ne pas dépasser le bruit ambiant de +3 dB la nuit et de +5 dB le jour.



## **Annexe 3 : Présentation de l'éolien**

## Le développement de l'éolien dans le monde

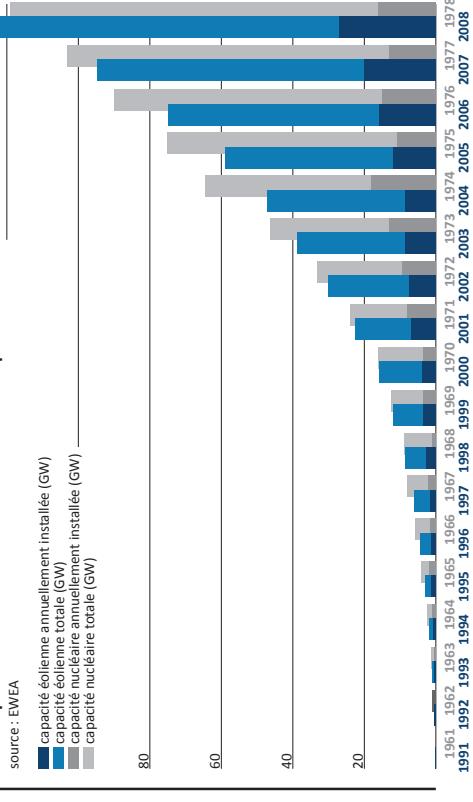
Certaines énergies renouvelables, comme le bois ou l'hydroélectricité, sont utilisées massivement depuis très longtemps. Aujourd'hui, l'énergie éolienne se développe à un rythme particulièrement soutenu dans presque tous les pays du monde, avec une croissance de 30% par an.

**« Six raisons principales expliquent ce succès rapide : l'énergie éolienne est abondante, bon marché, inépuisable, disponible presque partout, propre et sans impact sur le climat. Aucune autre source d'énergie ne possède toutes ces qualités. »**

Lester R. Brown, *Le plan B.*

© EVEC UNIMABLE AUTORISATION DE VESTAS WIND SYSTEMS A/S

## Développements comparés des énergies éolienne et nucléaire sur les périodes 1991-2008 et 1961-1978 en Europe



**En moyenne, depuis 1997, la capacité de production éolienne installée en Europe croît de 30% par an. Cette hausse est comparable à celle qu'a connu le nucléaire dans les années 1970.**

## La Chine et les États-Unis en tête

Fin 2012, la Chine cumule 75,3 GW d'énergie éolienne et confirme sa place de premier pays en termes de capacité installée totale depuis 2010. Le pays a installé 13 GW sur l'année 2012, après avoir établi un record en 2011 avec 17,6 GW de nouvelles capacités accordées. Cela met la Chine sur la bonne voie pour atteindre plus de 200 GW de puissance éolienne installée d'ici 2020 afin d'obtenir au moins 15% de son électricité à partir de sources renouvelables. Pour atteindre ce résultat, le gouvernement a identifié en 2008 les six régions les plus ventées et leur a affecté des objectifs de capacité installée – compris entre 10 GW et 23 GW – à atteindre d'ici 2020.

Début 2013, les fabricants d'éoliennes chinois ont toutefois régressé sur le marché mondial des fabricants, mais conservent 3 constructeurs dans le top 10. Le constructeur chinois Sinovel passe ainsi de la 2<sup>ème</sup> à la 9<sup>ème</sup> place, tandis que l'américain General Electric (11,8%) fait jeu égal avec le Danois Vestas qui dominait le marché depuis 12 ans.

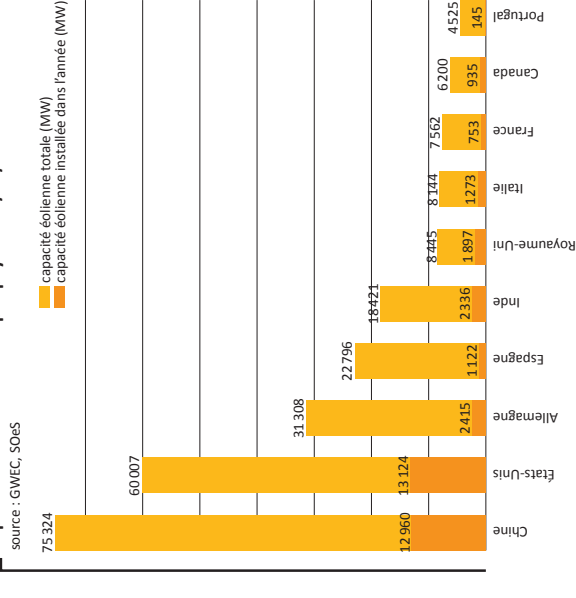
Avec 60 GW, les États-Unis sont le deuxième pays au monde en termes de capacité installée cumulée et les premiers en terme de nouvelles capacités installées durant l'année 2012 avec 13,1 GW. Un ensemble de mesures prises en 2009 a permis de maintenir la dynamique dans le secteur lors du ralentissement économique de la période 2008-2009. À la fin de l'année 2011, l'industrie éolienne américaine employait 75 000 personnes.

## Du côté de l'Inde et de l'Afrique

L'Inde est le cinquième marché mondial de l'éolien avec plus de 18 GW installés fin 2012. Selon l'Agence internationale de l'énergie, l'énergie éolienne installée pourrait atteindre 90 GW en 2020. Suzlon, son principal opérateur industriel, est devenu l'un des premiers constructeurs mondiaux.

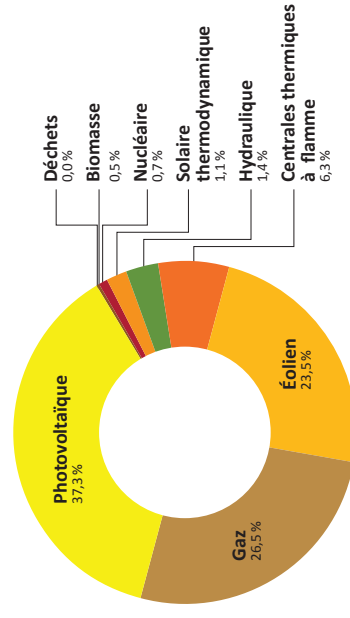
De son côté, l'Afrique bénéficie d'un vaste potentiel pour le développement de l'énergie éolienne, surtout dans le Nord, le long des côtes, et en Afrique du Sud. À la fin de l'année 2012, environ 90% des installations éoliennes totales du continent cumulent à 1 135 MW se situent en Egypte (550 MW), au Maroc (291 MW) et en Tunisie (104 MW). En Afrique du Sud, un plan de développement pour cette énergie prévoit 8 000 MW en 2020.

## Capacité éolienne installée par pays au 31/12/2012



## L'énergie éolienne représente 23,5% des nouvelles capacités installées en 2012 en Europe, en troisième position après le photovoltaïque et le gaz.

Nouvelles capacités de production électrique installées en Europe en 2012  
source : EWEA



## Une énergie en pleine croissance

L'énergie éolienne est développée par de très nombreux pays et connaît une croissance très importante : +30% par an en moyenne depuis 10 ans (+19% en 2012). En 2012, près de 45 000 MW de nouvelles capacités éoliennes ont été installés dans le monde, et les 250 000 MW installés ont été dépassés dans le courant de l'année. L'éolien représente 3,4% de la consommation totale d'électricité dans le monde et a attiré un total d'investissements de 56 milliards d'euros (68 milliards de dollars). Les experts du GWEC (Conseil mondial de l'énergie éolienne) prévoient le maintien d'une croissance soutenue de l'éolien, conduisant à un parc installé de près de 500 000 MW dès 2016. En France, néanmoins, l'installation de nouveaux parcs connaît, depuis 2011, un net ralentissement.

## Une filière européenne très dynamique

L'Europe a pris une longueur d'avance en matière d'énergies renouvelables en affirmant son ambition d'atteindre l'objectif de 20% d'énergies renouvelables dans sa consommation finale d'énergie en 2020. L'éolien contribuera à l'essentiel de cet objectif, en ce qui concerne la production d'électricité. Fin 2012, 105 635 MW éoliens étaient installés dans l'Union européenne, pour une production annuelle de 200 millions de MWh, soit 7% de la consommation électrique européenne. Plusieurs pays ont annoncé des objectifs ambitieux pour 2012 : outre le Danemark (3 241 MW), l'Allemagne (31 027 MW) et l'Espagne (22 796 MW), locomotives historiques de l'éolien en Europe, le Royaume-Uni a récemment annoncé un programme d'investissement dans les énergies renouvelables de 100 milliards de livres d'ici 2020, dont une importante partie consacrée à l'énergie éolienne (qui devra totaliser 28 000 MW en 2020). De son côté, la Norvège a dévoilé un programme d'investissement à grande échelle visant à créer entre 5 000 et 8 000 MW de capacités supplémentaires.



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr)



## L'énergie éolienne en France : chiffres clés (au 1<sup>er</sup> janvier 2013)

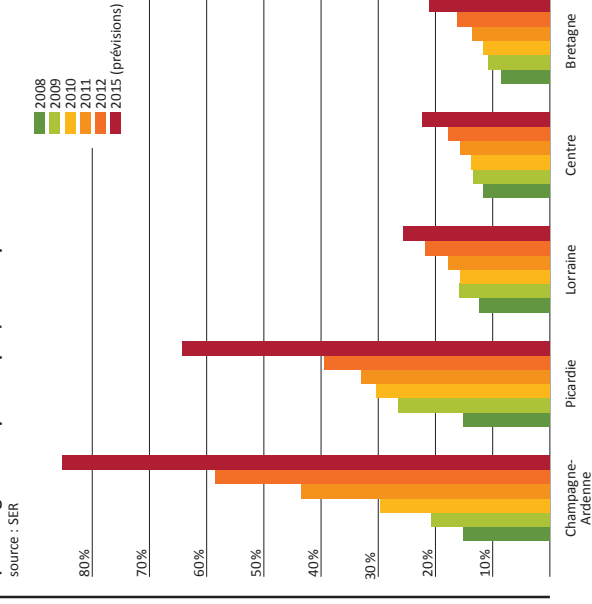
La puissance éolienne raccordée au réseau au 30 juin 2013 est de 7 821 MW en France. L'énergie éolienne est indispensable pour atteindre les objectifs que la France s'est fixée pour 2020 : elle comptera pour un quart des 20 millions de tonnes équivalent pétrole qui représente au moins 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique de la France. Pour la filière éolienne : 25 000 MW éoliens, dont 6 000 MW en mer, soit environ 8 000 éoliennes incluant les 4 450 déjà installées, sont prévus.

### En 2020, l'énergie éolienne produira jusqu'à 10% de notre consommation électrique

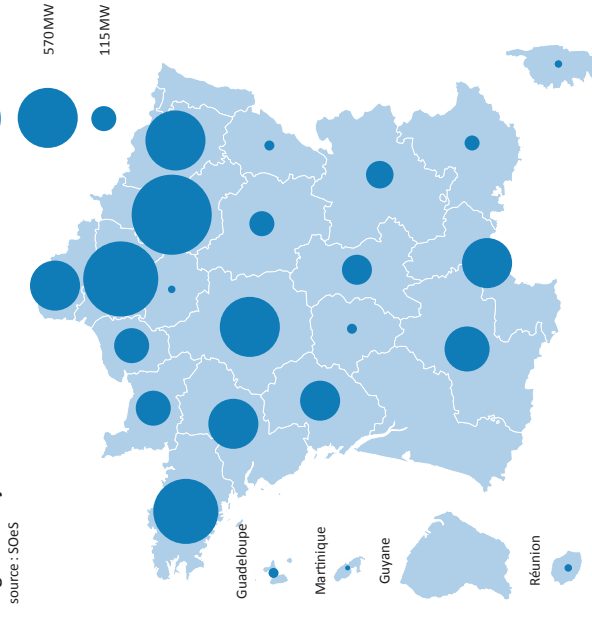
En 2012, le parc éolien français a produit plus de 14,3 millions de MWh d'électricité, soit 3 % de notre consommation intérieure d'électricité. Cela représente l'équivalent de la consommation domestique, chauffage compris, de près de 5,5 millions de personnes. Selon RTE, le parc éolien français a battu jeudi 27 décembre 2012 un nouveau record de production avec une puissance de production de 5 982 MW, surpassant le précédent record établi le 24 septembre 2012 (5 000 MW). Cette production a couvert 10 % de la consommation électrique française ce qui correspond à la consommation domestique d'environ 5 millions de français. Début 2013, l'énergie éolienne représentait plus de 20 % de la consommation domestique dans trois régions françaises (Champagne-

Ardenne, Picardie, Lorraine). Elle atteint jusqu'à 58 % de la consommation domestique en Champagne-Ardenne, qui figure comme région leader en France (1 138 MW raccordés). En 2015, le SER estime que la région Champagne-Ardenne sera en mesure de produire l'équivalent de presque 85 % de sa consommation domestique avec ses éoliennes, et 15 départements produiront plus de 50 % de leur consommation domestique, chauffage compris, à partir de l'énergie éolienne (l'Aube, la Meuse et la Seine-Maritime en tête). En 2020, selon les projections du Grenelle de l'Environnement, le parc éolien français produira 55 millions de MWh, soit 10 % de la consommation électrique de notre pays.

Proportion de la consommation domestique (chauffage électrique compris) fournie par l'éolien



Puissance éolienne raccordée au réseau par région au 1<sup>er</sup> janvier 2012



## Combien y a-t-il d'éoliennes en France ?

- 7 821 MW, répartis dans plus de 650 parcs éoliens, sont raccordés en France.
- Près de 4 000 éoliennes sont actuellement en service en France métropolitaine, et environ 450 dans les DOM-COM.
- Début 2013, on comptabilise près de 8 781 MW de puissance en attente de raccordement dont près de 4 000 MW accordés (sources : SOeS d'après ERDF, RTE, SEI et principales ELD).

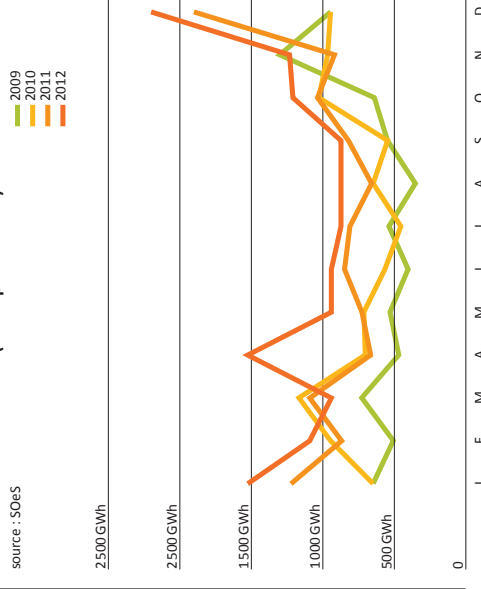
## L'évolution du parc éolien français

Évolution de la puissance installée et cumulée depuis 2000 en France

Année	Puissance annuelle installée (MW)	Puissance cumulée (MW)	Énergie produite (GWh)	Estimations de la population alimentée (consommation domestique y compris chauffage électrique)
2000	27	48	70	29 000
2001	10	58	131	54 000
2002	76	134	245	100 600
2003	00	224	363	150 000
2004	145	369	577	237 000
2005	504	873	963	395 000
2006	844	1 717	2 169	890 000
2007	782	2 499	4 140	1 725 000
2008	1 081	3 576	5 653	2 500 000
2009	1 139	4 715	7 800	3 492 000
2010	1 264	5 979	9 600	3 954 000
2011	830	6 809	11 900	4 900 000
2012	754	7 562	13 400	5 500 000

source : SER

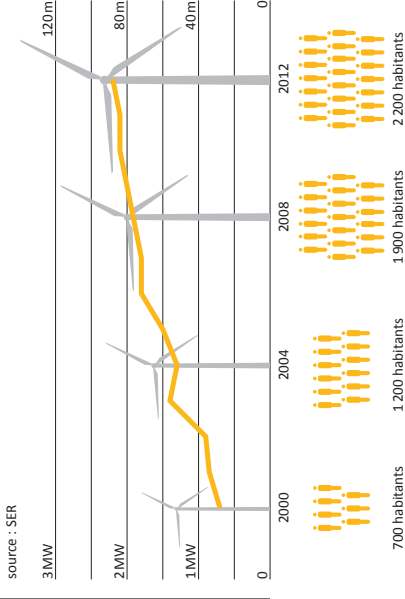
Évolutions mensuelles de la production électrique éolienne en France de 2009 à 2012 (métropole + DOM)



## Des parcs de plus en plus puissants avec moins d'éoliennes

La puissance d'une éolienne a été multipliée par 10 entre 1997 et 2007. Dans les années 80, une éolienne permettait d'alimenter environ 10 personnes en électricité. Aujourd'hui, une seule éolienne de 2 MW fournit de l'électricité pour 2 000 personnes, chauffage compris. La puissance moyenne d'une éolienne installée en 2000 était de 0,7 MW en 2000, de 1,9 MW en 2007, de 2 MW en 2009, pour atteindre 2,2 MW en 2012. Un parc éolien de 12 MW, composé de quatre à six éoliennes, couvre les besoins en consommation d'électricité de près de 12 000 personnes, chauffage inclus, et permet d'éviter l'émission de 8 000 tonnes de CO<sub>2</sub>. Grâce aux progrès réalisés dans la technologie éolienne, les nouveaux parcs produisent, pour un nombre égal de machines, de plus en plus d'électricité.

Puissance et taille moyennes des éoliennes installées. Population alimentée en électricité (consommation domestique chauffage compris)



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr



## ■ L'énergie éolienne, une énergie fiable et sûre

Les éoliennes sont de plus en plus performantes : leurs puissances moyennes augmentent régulièrement, et les services R&D des constructeurs les améliorent sans cesse. Quant à l'électricité fournie, son accueil sur le réseau est bien maîtrisé : les machines tournent 80 % du temps et leur production est connue à l'avance grâce aux modèles de prévision météorologique. De plus, l'existence, en France, de trois grands régimes de vent décorrélés permet une bonne régularité de la production : à tout instant, sur notre territoire, le vent souffle quelque part.

### ■ Une bonne maîtrise des variations du vent

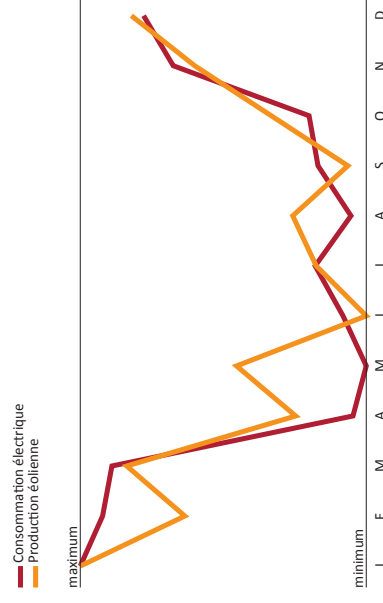
Le vent est capricieux et peut fluctuer d'un jour à l'autre. Dans ces conditions, comment utiliser la production issue du vent pour satisfaire les besoins de la population ? La réponse consiste à ne pas prendre en compte l'énergie produite par une seule éolienne mais à considérer l'énergie totale produite par l'ensemble du parc français qui, grâce aux prévisions météorologiques, peut être prévue de manière précise.

### ■ Trois régimes de vent : un atout pour la France

La France dispose de trois zones géographiques où s'appliquent des régimes de vent différents : façade Manche-Mer du Nord, front atlantique et zone méditerranéenne. Les variations de la production éolienne s'équilibrent ainsi au niveau national. Grâce à ces trois régimes de vent, les prévisions sont améliorées et la fiabilité de l'éolien pour le système électrique est renforcée comme l'explique le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, dans son bilan prévisionnel publié en 2007 : « *La décorrélation des vitesses de vent est quasi-totale entre la zone Méditerranée et la zone Manche ; de plus, à l'intérieur de cette dernière, la corrélation entre Nord-Picardie d'un côté et Bretagne de l'autre est faible. Un parc éolien développé de manière géographique équilibrée entre ces zones autorise la compensation de variations régionales, et permet une plus grande régularité de la production nationale* ». En France, les éoliennes sont présentes dans la quasi-totalité des départements où la ressource en vent disponible est favorable à leur implantation.

### La production éolienne est globalement plus importante en hiver qu'en été, ce qui correspond à nos besoins de consommation électrique saisonniers.

Variations saisonnières comparées de la consommation électrique et de la production éolienne  
moyenne 2004-2006  
source : SER



## ■ La complémentarité de l'éolien avec le parc hydraulique français

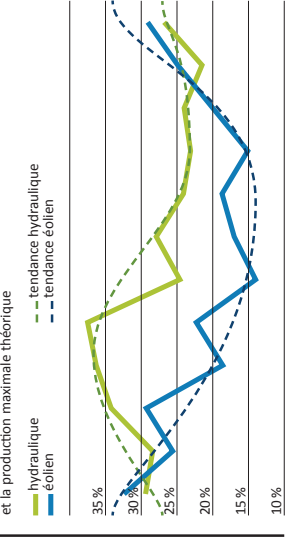
La France possède le plus important parc hydraulique européen. Cet atout permet d'utiliser au mieux l'énergie du vent car l'hydroélectricité et l'énergie éolienne sont deux énergies complémentaires.

En hiver, le vent souffle davantage et permet aux barrages de reconstituer plus facilement leurs réserves, grâce à cet apport de production et à une économie quant à l'utilisation de l'eau disponible. En été, quand le vent est généralement plus faible, l'hydraulique prend le relais, assurant ainsi une continuité et une substitution optimale à la production thermique.

### ■ Fonctionnement comparé de l'hydroélectricité et de l'éolien sur une année (facteur de capacité en %)

moyenne 2004-2006  
source : DGEC, RTE, SER

Le facteur de capacité est le rapport entre la production moyenne et la production maximale théorique



### ■ L'éolien, une technologie décentralisée en progrès constant

Les éoliennes font partie des installations de production d'électricité les plus fiables. Le facteur de disponibilité des éoliennes, qui mesure le pourcentage du temps pendant laquelle une installation est en état de fonctionnement, s'établit à plus de 98 % et est largement supérieur à celui des centrales conventionnelles (de l'ordre de 70 à 85 %). Par ailleurs, lorsqu'une éolienne cesse de produire, le reste du parc éolien continue de fonctionner, assurant la continuité de la production. Ainsi, l'énergie éolienne, du fait de son foisonnement et de son caractère décentralisé, ne nécessite pas de disposer de réserves de production pour faire face à d'éventuels dysfonctionnements. En revanche, ce type de réserve « de secours » est prévu en cas d'incident sur une centrale électrique. Ce phénomène se produit régulièrement et peut priver le réseau d'une puissance pouvant atteindre jusqu'à 1 600 MW, sans aucune prévision possible.

### ■ La forte capacité française d'interconnexion avec ses voisins

Les interconnexions permettent de répartir la production éolienne au niveau de l'Europe entière : lorsque le vent souffle fort en France, une partie de l'électricité produite peut être exportée en Espagne, en Allemagne ou en Italie. Cette mutualisation des capacités permet une meilleure régularité de la production éolienne. A l'inverse, lorsque le vent souffle plus fort chez nos voisins, les importations nous permettent de bénéficier d'une électricité à moindre coût et sans émission de CO<sub>2</sub>.

Avec 33 lignes transfrontalières à très haute tension (dont 17 en 400 000 Volts), soit plus de 13 000 MW de capacités d'interconnexion avec ses voisins, la France dispose d'une marge de manœuvre importante pour utiliser au mieux l'énergie du vent.

### Le système électrique français est prêt à accueillir les 25 000 MW éoliens prévus à l'horizon 2020

Le gestionnaire du réseau de transport de l'électricité confirme qu'il est « prêt à accueillir l'électricité éolienne sur son réseau, à la hauteur des objectifs que s'est fixés la France », soit un objectif de 25 000 MW en 2020. L'éolien représentera alors 10 % de notre consommation électrique, ce qui n'est pas marginal mais reste beaucoup plus faible que ce qui est atteint aujourd'hui au Danemark (20 %) ou en Espagne (15 %).



© JULIEN BASTIDE / FOTOLIA



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr

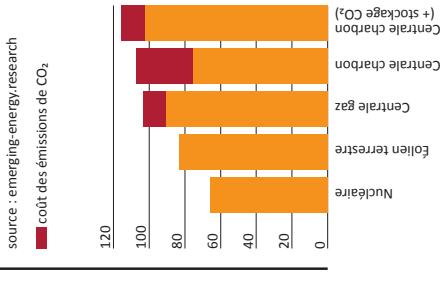
## Le financement de l'électricité éolienne

La filière éolienne est très prometteuse. Comme pour toutes les filières énergétiques en développement, les pouvoirs publics ont décidé de lui apporter un soutien économique afin de faciliter son essor. Un tarif d'achat a été créé, garantissant l'achat par EDF de l'électricité produite à un prix fixe et garanti, pour sécuriser les investissements et donner une visibilité à long terme aux acteurs de la filière. Ce soutien garantit également, sur 15 ans, un prix indépendant de toute augmentation du coût des matières premières.

### Le mégawattheure éolien de plus en plus compétitif

L'écart entre le prix d'achat d'un MWh éolien et le prix de l'électricité sur le marché a tendance à diminuer. Dans quelques années, en France, le prix de l'électricité éolienne pourrait être inférieur au prix de l'électricité sur le marché. L'éolien constitue donc, à terme, un moyen de production compétitif et contribue à diminuer la dépendance aux combustibles fossiles dont le prix est très volatile, d'autant que les gisements fossiles diminuent irrémédiablement et que leur prix augmente, au contraire de l'énergie du vent au coût décroissant, puis, à terme, stable et maîtrisé.

Comparaison du coût de l'éolien avec celui des autres moyens de production d'électricité (€/MWh)  
source : emerging-energy/research



### Comment les pouvoirs publics accompagnent-ils le développement de la filière ?

Chaque kilowattheure d'électricité produite par une éolienne est achetée par EDF à 8,2 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 c€/kWh pendant 5 ans selon la productivité du parc. Ce tarif a été fixé par le Gouvernement pour permettre aux projets de trouver des financements. Le système de tarif d'achat fixe et garanti constitue en effet un système de soutien intéressant pour la collectivité, car il permet de mutualiser, à grande échelle, les risques associés aux projets individuels et d'obtenir le prix le plus bas.

Cette intervention publique n'est pas spécifique à l'éolien : les filières nucléaire et hydraulique ont historiquement bénéficié d'un fort soutien public.

Les pays qui ont fortement développé les énergies renouvelables, et en particulier l'éolien, ont d'ailleurs tous mis en œuvre ce type de mécanisme. L'Italie, par exemple, a choisi de remplacer à partir de 2012 son système de certificats verts par un tarif d'achat garanti.

Étant donné que le développement de l'éolien résulte d'une politique publique visant à diversifier nos moyens de production d'énergie et à développer les énergies renouvelables, la différence entre le tarif d'achat et le prix de marché de l'électricité achetée par EDF est prise en charge par la CSPE (Contribution au Service Public de l'Électricité), qui repose sur le consommateur final.

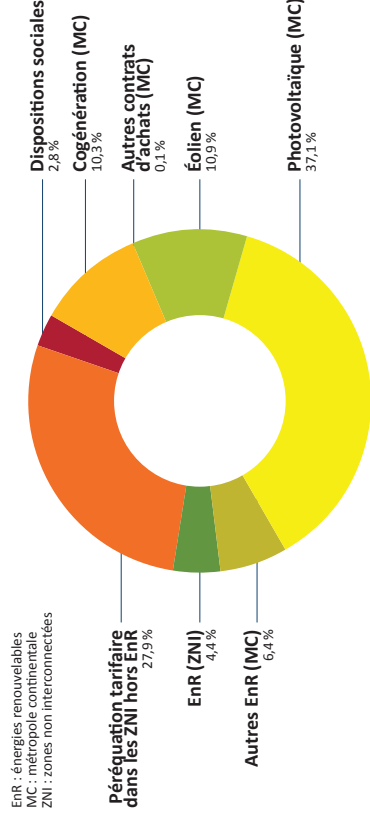


### Le coût de l'éolien pour le consommateur

La CRE (Commission de Régulation de l'Énergie) prévoit qu'à défaut d'arrêté tarifaire le fixant, le montant de la CSPE pour 2013 est de 13,5 €/MWh.

L'énergie éolienne ne représente que 11,8% de ce montant, soit une charge de 0,09 c€/kWh par habitant. En moyenne, pour un ménage français consommant 2 500 kWh par an, le coût annuel est d'environ 2,25 €.

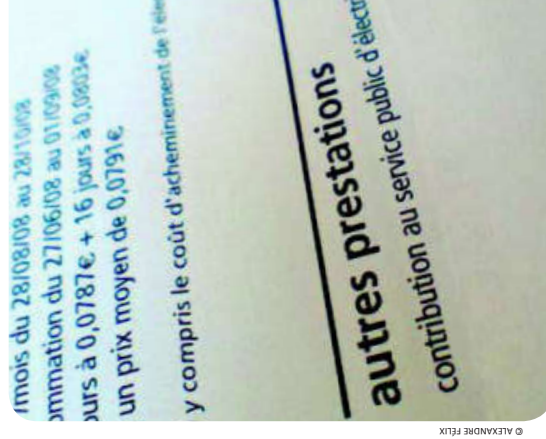
Répartition de la CSPE en 2013  
source : CRE



### Que finance la CSPE ? (Contribution au Service Public de l'Électricité)

La CSPE, payée par tous les consommateurs d'électricité, ne recouvre pas seulement les surcoûts engendrés par l'achat d'électricité de source renouvelable, elle vise aussi à supporter plusieurs missions de service public, telles :

- l'obligation d'achat de l'électricité produite par la cogénération (production d'électricité et de chaleur) ;
- la péréquation tarifaire, c'est-à-dire le surcoût de la production électrique dans certaines zones insulaires (Corse, DOM-COM, îles bretonnes, etc) ;
- les dispositions sociales, soit le coût supporté par les fournisseurs en faveur des personnes en situation de précarité.



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr

## L'éolien, une filière dynamique et créatrice d'emplois

L'énergie éolienne est désormais entrée dans une phase industrielle marquée par un dynamisme important et une croissance de près de 22% par an depuis 10 ans. En 2011, la filière représente un marché de plus de 50 milliards d'euros et 670 000 emplois dans le monde. En France, le montant des investissements et le nombre d'emplois ne cessent d'augmenter : 10 000 personnes pour un marché de plus de 2 milliards d'euros en 2012.

### Un vent porteur pour une croissance internationale

Le chiffre d'affaires de l'industrie éolienne double tous les 4 ans et, en 2012, 56 milliards d'euros ont été investis dans le monde pour les nouvelles installations. Avec un taux de croissance annuel de près de 22% par an depuis 10 ans, la filière éolienne a permis la création de plusieurs centaines de milliers d'emplois. En 2009, on comptait plus de 192 000 emplois en Europe : 40 000 emplois directs en Allemagne, 24 000 au Danemark, 20 000 en Espagne, etc.

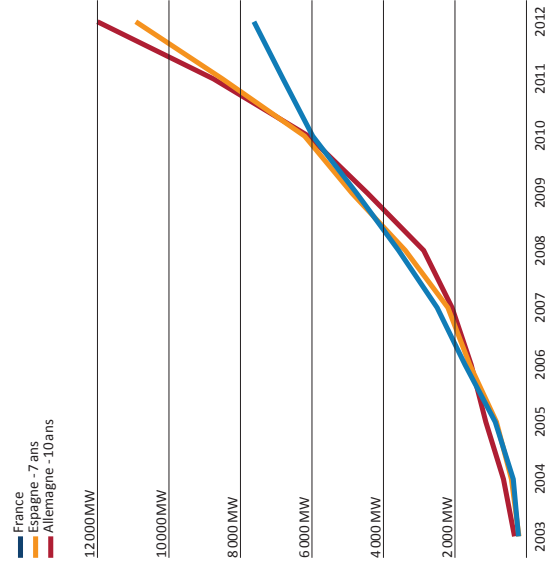
Cette dynamique ne s'essouffle pas : la prise de conscience de l'urgence liée au changement climatique, à la raréfaction et à l'augmentation des coûts des ressources fossiles, conduit les différents pays à multiplier les projets de parcs éoliens. Selon le rapport 2013 du Conseil Mondial de l'Énergie Éolienne, près de 280 GW étaient en service dans le monde fin 2012 et cette capacité devrait atteindre 500 GW en 2016.

### L'éolien : un véritable enjeu pour l'avenir de l'industrie française

En 2012, 23,5% des nouvelles capacités de production d'électricité construites en Europe étaient des installations éoliennes, soit près de 12 000 MW. La France dispose d'une expérience reconnue dans le secteur énergétique, que ce soit en matière de nucléaire, d'hydraulique, de pétrole ou de gaz.

Elle doit aussi maîtriser le vent pour profiter du formidable potentiel de cette énergie. Notre pays, qui dispose du 2<sup>ème</sup> potentiel éolien d'Europe, a la capacité de devenir l'un des pays leaders de cette filière dans l'Union. Malgré le retard pris par rapport aux champions européens que sont l'Allemagne, le Danemark et l'Espagne, l'évolution de la filière éolienne française doit permettre un réel développement industriel d'un tissu de donneurs d'ordres et sous-traitants, à l'image de la structuration des filières allemande et espagnole.

Comparaison de l'évolution des parcs éoliens français avec les leaders européens (MW installés)



© DAVID GELVAREC - FLANFES60 QUINPIÈRE POUR LA COMPAGNIE DU VENT

## Windustry France, l'industrie éolienne française

Dans le cadre des investissements d'Avenir, l'État a retenu le projet Windustry France 2.0 porté par le SER et en a confié le suivi à Bpifrance. Windustry France constitue un outil stratégique de réindustrialisation pour des entreprises historiquement actives sur les filières énergétiques, automobiles, ferroviaires, navales ou aéronautiques. Ouverte à toutes les entreprises volontaires, le projet Windustry France 2.0 est composé de deux volets principaux : l'accompagnement d'entreprises non-actives dans le secteur éolien, afin qu'elles s'y diversifient, et la cartographie et promotion des entreprises de la filière industrielle éolienne, sur le marché français et à l'export. Le cœur du projet consiste en l'accompagnement individualisé d'entreprises, en vue de faire évoluer leurs procédés industriels et d'obtenir des marchés auprès des donneurs d'ordres de la filière éolienne. L'accompagnement individuel débute par un audit de l'outil industriel, réalisé par un expert éolien. Son rôle est d'élaborer une liste de préconisations auxquelles l'entreprise devra savoir répondre pour satisfaire aux attentes des donneurs d'ordres de la filière, au fonctionnement de leurs procédures de qualification, de consultation et de passation de marchés. Un expert technologique vient compléter cette mission, et accompagner l'entreprise dans la mise en œuvre d'un plan d'investissements permettant de répondre aux préconisations de l'expert éolien, que ce soit en termes de procédé industriel, de contrôle qualité, de formation, etc.

### Vers une filière industrielle française forte

La filière éolienne française, lancée après celle des pays précurseurs que sont le Danemark et l'Allemagne, rattrape son retard. En 2012 la production éolienne s'élevait à 14,3 TWh soit 3% de la consommation française totale. Par rapport à 2011 (11,9 TWh), la production d'origine éolienne a augmenté de plus de 2 TWh, l'équivalent de la consommation domestique électrique (chauffage électrique compris) d'environ 950 000 Français.

En 2011, la France a constitué le troisième marché européen de l'éolien derrière l'Allemagne et l'Espagne. Encouragés par cette dynamique, les professionnels de l'éolien se renforcent en France et poursuivent l'objectif de développer leurs positions sur des marchés en pleine croissance dans le monde. De manière générale, les entreprises du secteur poursuivent un rythme de croissance fort, notamment les constructeurs, leurs fournisseurs et sous-traitants. Des composants de toute sorte sont fournis par les sous-traitants français que sont notamment : Aero composite Occitane, Rollix-Defontaine, Mersen, EADS Astrium, SKF, Convertteam, Nexans, Ferry Capitain, SPIE, Laurent SA, Céole, Baudin-Chateaufort, etc.

De nombreux bureaux d'études, entreprises de génie civil, construction ou transport profitent de cette croissance. Plus de 200 entreprises ont déjà été identifiées comme sous-traitants actifs de l'industrie éolienne, travaillant pour les grands constructeurs. Une étude de 2010, menée par CapGemini, recense près de 150 autres entreprises en mesure de se positionner pour devenir également sous-traitants de l'industrie éolienne. L'industrie éolienne représente donc une véritable opportunité de diversification pour le tissu industriel français, qui possède toutes les compétences pour répondre à ses exigences.

### L'énergie éolienne, source d'emplois et de richesses au niveau local

La filière éolienne en France représente à ce jour l'équivalent de 10 000 emplois directs. La tendance est depuis quelques années à la croissance forte. Avec un marché de 25 000 MW, plusieurs unités de construction de mâts, de pales et autres gros composants d'éoliennes devront s'implanter en France. En 2020, l'énergie éolienne sera en mesure d'employer 57 000 personnes (étude BIPE 2011). L'installation et la maintenance des parcs nécessitent de faire appel à des entreprises locales ; des emplois sont ainsi créés directement dans les zones où sont implantées les éoliennes.

### De nouvelles formations, de nouveaux métiers

La croissance de l'énergie éolienne est telle que les professionnels rencontrent d'importantes difficultés à recruter le personnel qualifié nécessaire au développement et à l'exploitation. Pour cette raison, de nombreuses formations ont été mises en place, notamment pour la maintenance de ces nouvelles installations de production d'électricité. Ainsi, après le lycée Bazin de Charleville-Mézières et le lycée Dhuoda de Nîmes, le lycée Edouard Branly d'Amiens a récemment mis en place une formation de technicien de maintenance éolienne. De très nombreuses formations en énergies renouvelables abordent également les sujets éoliens, allant du Bac technologique au master en passant par les licences professionnelles ou les Instituts Universitaires de Technologie. Les métiers de l'éolien sont multiples : chef de projet, responsable études environnementales, ingénieur technique, juriste, responsable HSE / QSE, chef de chantier, technicien de maintenance...



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr



© CHRISTIAN WÄRNIG / FOTOLIA

## L'insertion des éoliennes dans le paysage

L'intégration paysagère des éoliennes est soigneusement étudiée et constitue un point fondamental lors du développement d'un projet de parc éolien. Les maîtres d'ouvrage soumettent le projet aux riverains et à leurs élus, organisent une concertation pour une insertion harmonieuse des éoliennes dans le paysage qui les accueille.

### Le rendu visuel du parc est évalué avant sa construction

Lorsqu'un parc éolien est en projet, une étude paysagère est systématiquement menée dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement. Pour réaliser cette étude, les développeurs éoliens associent à leurs projets paysagistes, bureaux d'études spécialisés, élus locaux et riverains, le plus en amont possible, afin de déterminer la meilleure implantation possible en fonction des contraintes. Deux outils principaux sont utilisés par les spécialistes et paysagistes afin d'étudier les évolutions du cadre de vie suite à l'implantation de nouvelles éoliennes :

- des photomontages permettant de visualiser le paysage définitif avant même la construction du parc. Des logiciels permettent de représenter le futur parc éolien depuis différents points de vue ;
- des cartes de co-visibilité, permettant la représentation sur une carte IGN des lieux à partir desquels les éoliennes pourront être visibles.

Ces différents documents sont présentés aux riverains, élus locaux et à la population locale pendant la concertation menée lors de la phase de développement du projet. Ils permettent des échanges et une prise en compte optimale des différentes remarques pour l'implantation du parc.

La Commission départementale de la nature, des paysages et des sites ainsi que les Architectes des Bâtiments de France sont consultés pour donner un avis sur le volet paysager de l'étude d'impact. Les éventuelles co-visibilités avec les bâtiments et sites historiques inscrits ou classés sont systématiquement étudiées, dans un périmètre dépassant souvent 20 km. Les projets éoliens doivent respecter les exigences fixées dans le code de l'urbanisme pour la protection des monuments historiques et des sites protégés pour obtenir une autorisation.

### La méthodologie mise en œuvre pour l'installation des éoliennes

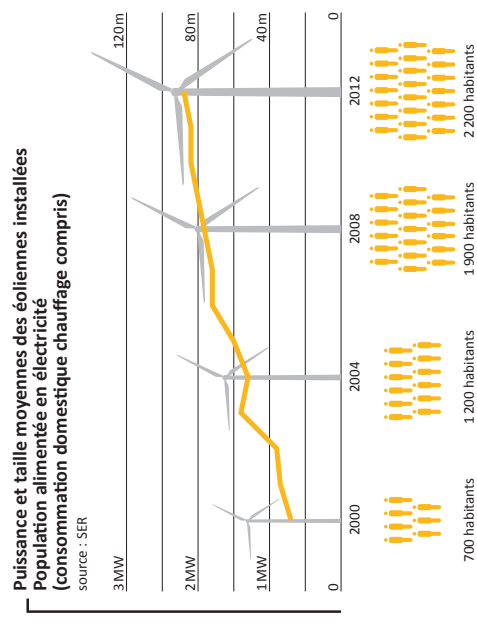
La méthodologie utilisée par les professionnels du paysage est conçue à partir du *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens* réalisé par le Ministère en charge de l'énergie et de l'environnement (MEDDE) et l'ADEME. Elle comprend trois phases :

- analyse des composantes du paysage existant (perception, pratique, transformation dans le temps) ;
- choix de l'implantation des éoliennes (nombre, espacement, positionnement...), à partir des caractéristiques paysagères et des principaux enjeux relevés sur le site ;
- étude la plus objective et exhaustive possible des éventuels effets visuels générés par le parc éolien (réalisation de photomontages sur le terrain).

### Objectif 2020 : 8 000 éoliennes

Aujourd'hui, le parc éolien français compte un peu plus de 4 100 éoliennes, dont près de 445 « petites éoliennes » situées dans les départements et collectivités d'outre-mer. Les premières éoliennes ont été installées dans les zones les plus ventées, c'est-à-dire à proximité des côtes et dans la vallée du Rhône ; les parcs les plus récents occupent les vastes plaines de la Beauce et du Nord-Est. À l'horizon 2020, pour un parc de 25 000 MW correspondant à l'objectif que la France s'est fixée, 5 400 éoliennes supplémentaires devront être installées :

- 4 400 éoliennes terrestres d'une puissance moyenne de 2,75 MW ;
- 1 000 éoliennes en mer d'une puissance moyenne de 5 MW.



### Les Français sont favorables à l'énergie éolienne



Aujourd'hui, de nombreux exemples montrent que les parcs éoliens peuvent s'inscrire de façon très satisfaisante dans les paysages ; en témoigne l'affluence des visiteurs observée aussi bien lors de la construction qu'à chaque inauguration de parcs éoliens. Les différents sondages d'opinion réalisés montrent que les éoliennes sont bien acceptées par les Français (80% des Français sont favorables à l'installation d'éoliennes dans leur département et 68% dans leur commune - source : SER - IPSOS 2012). Ces études confirment également que l'acceptabilité augmente avec la proximité d'un parc.



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr)

## Éoliennes et acoustique



Au pied d'une éolienne, le niveau sonore s'élève à 55 décibels, soit le bruit de l'intérieur d'une maison. Quand le vent souffle fort, on peut tenir, juste au pied d'une éolienne, une conversation normale.  
Un rapport de l'Asset (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), relatif à l'impact sanitaire du bruit généré par les éoliennes, indique que les éoliennes ne peuvent avoir de conséquences sanitaires directes sur les riverains.

### Origines des émissions sonores

Le bruit d'une éolienne provient du souffle du vent dans les pales. Le son augmente avec la vitesse du vent. Cependant le bruit ambiant (bruit du vent dans les arbres...) s'amplifie plus rapidement que le bruit émis par les éoliennes. Les émissions sonores dépendent également de l'environnement, de la topographie du site, de la végétation et de l'urbanisme.

Les bruits perceptibles au pied d'une éolienne sont d'origine mécanique ou aérodynamique ; le bruit mécanique, qui était perceptible avec les premières éoliennes, a aujourd'hui quasiment disparu. Le bruit aérodynamique, provoqué par le passage des pales devant le mât, a également été fortement réduit par l'optimisation du design des pales, et des matériaux qui les composent.



© PICTURELIFE / FOTOLIA

## Une implantation étudiée pour minimiser l'impact sonore

La procédure de déclaration ou d'autorisation d'exploiter au titre des ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement), à laquelle toute installation éolienne est soumise, impose la réalisation d'une étude d'impact. Celle-ci intègre une étude acoustique très précise, permettant de déterminer une implantation optimale.

Il est possible, grâce aux simulations acoustiques réalisées par des spécialistes, de prévoir la propagation du son autour de plusieurs éoliennes et de limiter ainsi tout risque de nuisance sonore.

Des logiciels permettent de tracer les courbes isophoniques (d'égal niveau sonore) autour des éoliennes. Ces courbes matérialisent la propagation du son. Le modèle de calcul tient également compte de la topographie, de l'occupation du sol, et de son absorption acoustique, de l'atténuation atmosphérique et des données météorologiques enregistrées sur le site. La propagation du son est bien sûr plus importante dans le sens des vents dominants. Dans certains cas, la modification du schéma d'implantation des éoliennes peut être rendue nécessaire après analyse des différentes simulations d'implantation.

Les études des acousticiens, qui interviennent lors du montage d'un projet de parc éolien, sont validées par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) qui, compte tenu des niveaux d'émergence autorisés, peut imposer une distance minimum entre l'éolienne et la première habitation. Enfin, après implantation du parc, les émissions sonores générées par les éoliennes doivent respecter un niveau réglementaire pour éviter la gêne des riverains.

Actuellement, l'AFNOR élabore une norme spécifique de mesure du bruit pour les éoliennes. Cette dernière prévoit une procédure pour mesurer le bruit une fois les éoliennes installées.



© DAVE & LES JACOBS / GETTY IMAGES

**Le volume sonore d'une éolienne en fonctionnement à 500 mètres de distance s'élève à 35 décibels, soit l'équivalent d'une conversation chuchotée. Afin d'éliminer tout risque de gêne sonore pour les riverains, les développeurs de projets éoliens respectent un éloignement minimum de 500 mètres entre les éoliennes et les premières habitations.**

### Infrasons

Les éoliennes, tout comme le vent dans les arbres ou la circulation automobile, émettent des infrasons, c'est-à-dire des sons de basse fréquence, au-dessous du seuil audible par l'oreille humaine. Mais l'impact des infrasons sur la santé humaine n'a été observé que dans de très rares situations et jamais dans le cas de parcs éoliens.

**« Aucune donnée sanitaire disponible ne permet d'observer les effets liés à l'exposition aux basses fréquences et aux infrasons générés par les éoliennes ».**

Agence Française de la Sécurité Sanitaire, de l'Environnement et du Travail, mars 2008.



© DANIEL VEDAMUTHU / FOTOLIA



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr)

dernière révision du document : septembre 2013

## Biodiversité et énergie éolienne

La protection de la biodiversité fait partie des priorités de l'Union européenne, qui a adopté plusieurs directives depuis 1992 pour la protection des espèces et de leurs habitats, en particulier des oiseaux. L'Europe s'est en outre engagée à consommer 20 % d'énergies renouvelables et à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % d'ici 2020, afin de limiter la responsabilité des activités humaines dans le changement climatique et, ainsi, contribuer à la préservation de la faune et de la flore. L'énergie éolienne contribue à la réalisation de ces deux objectifs.

### ■ Respect de la faune et de la flore

Lors de la construction d'un parc éolien, les travaux peuvent perturber les animaux sauvages et en particulier le gibier, en modifiant leur habitat. Des mesures simples de diminution des impacts sont mises en œuvre par les maîtres d'ouvrage lors de la phase de chantier du projet. Par exemple, les travaux ne sont pas menés pendant les périodes de nidification ou de migration des oiseaux.

Hormis cette phase très courte de 6 à 9 mois, les éoliennes n'ont pas d'impact sur la faune locale, qui adapte son comportement à la présence de ces nouvelles voisines. Quant à la flore, elle est prise en compte par les études d'impact et les différentes propositions d'implantation des parcs éoliens. Les impacts au sol des éoliennes sont très limités et concernent essentiellement les terres agricoles, ce qui limite les effets sur la flore.

### ■ Avifaune et éoliennes

Les développeurs éoliens travaillent de concert avec les associations environnementales (notamment la Ligue de Protection des Oiseaux et la Société Française d'Étude et d'Environnementale de la zone envisagée pour le projet. Les études sur l'avifaune identifient toutes les espèces, leurs activités, ainsi que le tracé de leur trajectoire migratoire. Les résultats permettent de déterminer au mieux l'implantation des éoliennes et leur disposition les unes par rapport aux autres. Une attention renforcée est consacrée aux projets d'implantation de parcs éoliens dans des zones protégées comme les parcs naturels ou les zones Natura 2000. L'implantation d'éoliennes sur des sites reconnus sensibles est évitée. Un suivi environnemental est également mis en place au cours des trois premières années de fonctionnement du parc puis tous les 10 ans.

Concernant l'avifaune migratrice, de nombreuses espèces effectuent leur migration à des altitudes bien supérieures à celles des éoliennes. Les autorisations qui sont délivrées pour la construction des parcs éoliens après consultation de nombreux services, notamment des Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), prévoient des mesures pour éviter, réduire et, le cas échéant, compenser les impacts des éoliennes sur la biodiversité (mise en place d'un suivi avifaunistique, réhabilitation de mares, création d'un sentier botanique...). Ces mesures viennent s'ajouter à celles habituellement appliquées par les développeurs lors de la phase de chantier. Dans de nombreux cas également, des mesures de suivi sont appliquées durant les premières années d'exploitation.

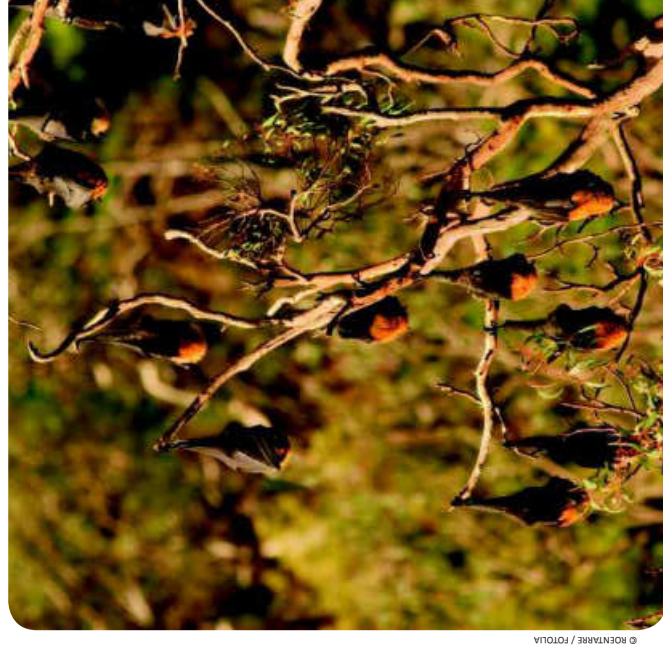


© MBS / FOTOLIA

### ■ Éoliennes et chiroptères

Les comportements des chauves-souris sont peu connus. De nombreuses études sont en cours pour connaître leur comportement en présence d'éoliennes. Nous savons qu'elles vivent dans des espaces peu exposés au vent, tels que sous-bois ou lieux protégés, non propices au développement de l'éolien. De plus, elles ne sortent que de nuit et s'aventurent peu lorsque le vent est trop fort. De ce fait, le risque éolien reste faible pour les chiroptères, contrairement aux autres risques comme l'activité agricole (pesticides, destruction des milieux favorables) et les transports.

Afin d'identifier les enjeux, une expertise chiroptérologique est toujours intégrée au contenu de l'étude d'impact réalisée préalablement à l'implantation d'un parc éolien. L'emplacement et la disposition des éoliennes sont ainsi étudiés afin de réduire au maximum cet impact, par exemple par l'éloignement des éoliennes des lisières des forêts (zones les plus exposées) ou par l'adaptation du fonctionnement du parc ; la programmation du fonctionnement des éoliennes peut ainsi être modifiée en conséquence.



© ROENTHARÉ / FOTOLIA

### Protocole de suivi chiroptérologique des parcs éoliens

La profession éolienne, la Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères (SFEPM) et la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) travaillent ensemble à la rédaction d'un protocole d'étude commun pour le suivi chiroptérologique des parcs éoliens. Le projet proposé par la SFEPM fait l'objet de discussions sur le fondement des retours d'expérience des professionnels éoliens et de chiroptérologues. Il pourrait faire l'objet d'un accord rapide.

Design graphique: THINK UP communication éco-responsable® www.thinkup.fr

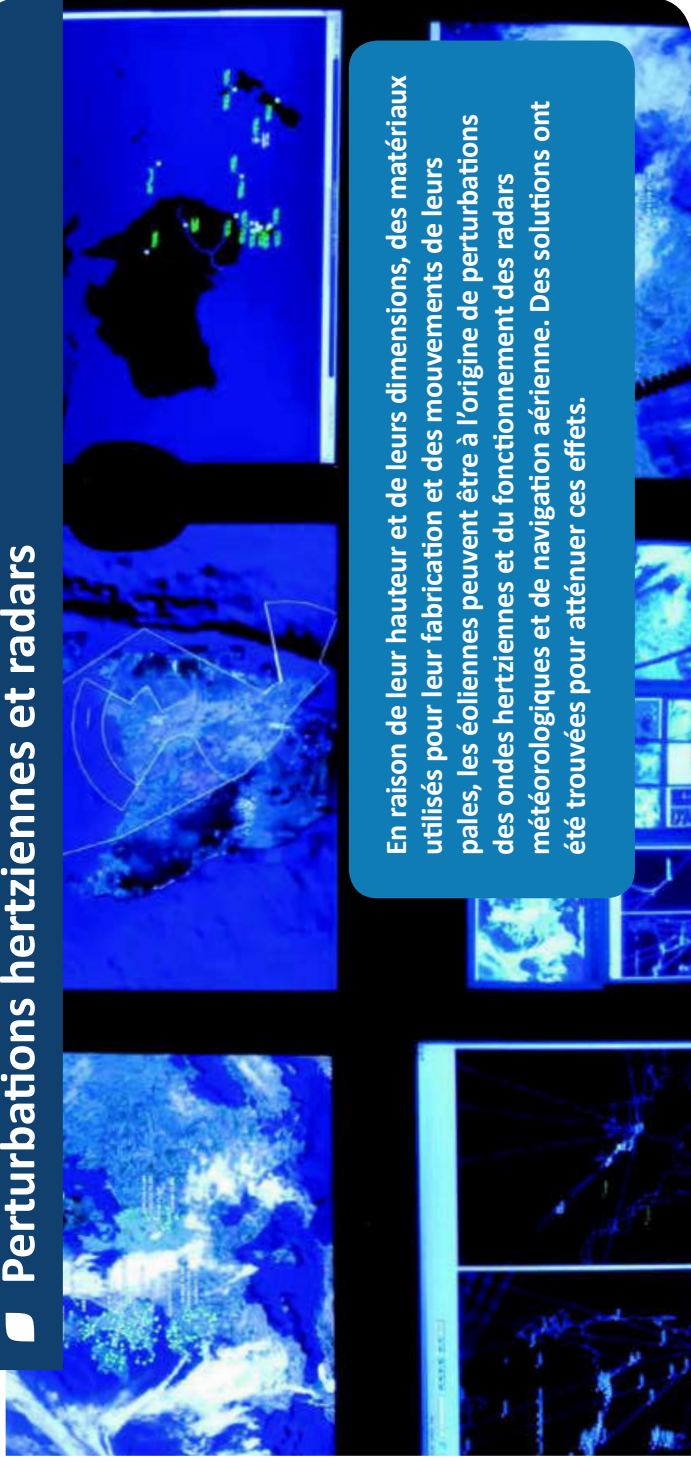


Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



## ■ Perturbations hertziennes et radars



En raison de leur hauteur et de leurs dimensions, des matériaux utilisés pour leur fabrication et des mouvements de leurs pales, les éoliennes peuvent être à l'origine de perturbations des ondes hertziennes et du fonctionnement des radars météorologiques et de navigation aérienne. Des solutions ont été trouvées pour atténuer ces effets.

© DIMITRIOS STAMBOULIS / ISTOCKPHOTO

### ■ Les perturbations hertziennes

#### Un phénomène physique bien appréhendé

Des phénomènes de perturbation des ondes hertziennes (radio, télévision, antennes de relais de téléphonie mobile...) par les éoliennes ont été constatés depuis le début du développement de l'éolien et ont fait l'objet d'études dans plusieurs pays. Ces perturbations sont générées par la réflexion et la diffraction des ondes électromagnétiques sur les pales des éoliennes.

Dès 2002, l'ANFR (Agence nationale des fréquences) a identifié ce phénomène de perturbation, qui concerne surtout l'implantation d'éoliennes dans les zones dégagées. Les études préalables à l'implantation de parcs éoliens prennent en compte l'ensemble des servitudes radioélectriques, par une consultation des organismes concernés (ANFR, Télédiffusion de France...). Ces derniers sont consultés et indiquent les zones de servitudes établies par décret, qui fixent une limitation de la hauteur des obstacles dans des zones établies autour des centres d'émission ou de réception et sur le parcours des faisceaux hertziens.

#### Les solutions mises en œuvre

Une modification de l'implantation des éoliennes permet le plus souvent, d'éviter les perturbations. Cependant, si une implantation alternative est difficile à mettre en œuvre, le développeur éolien devra, à ses frais, installer un réémetteur ou mettre en place un autre mode de réception de la télévision comme le satellite.

En cas de plainte des riverains, le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel est consulté et réalise une expertise pour proposer des solutions alternatives.

#### Environ 95 % des cas sont réglés à l'amiable avec l'installation d'un réémetteur par le développeur éolien.



© EDUARD HÄRKÖNEN / FOTOLIA

### ■ Perturbations du fonctionnement des radars par les éoliennes

Les radars météorologiques et de navigation aérienne sont sensibles à la présence d'ouvrages de grande hauteur dans leur zone de surveillance. Dans le cas des éoliennes, il peut s'agir d'un effet de désensibilisation, d'une réflexion des signaux radars par les surfaces fixes ou de faux échos par réflexion sur les parties mobiles.

#### La procédure à adopter

L'ANFR a publié, ces dernières années, plusieurs études sur les effets constatés de la présence d'éoliennes sur le fonctionnement des radars. Ces rapports préconisent des zones d'exclusion (le plus souvent de 5km) des parcs éoliens autour des radars et des zones de coordination (entre 5 et 30 km), dans lesquelles l'implantation des éoliennes est soumise à accord écrit de l'opérateur radar.

#### Tout obstacle de grande hauteur occasionne des perturbations sur les radars.

#### Les solutions apportées

En France, pour mieux comprendre le phénomène et réduire l'impact des éoliennes sur les radars, deux études financées par les pouvoirs publics (ADEME) sont en cours de réalisation. La première cherche une solution technologique pour diminuer la réflexion des ondes sur les pales. La seconde vise à modéliser les mécanismes physiques encore peu connus qui provoquent les perturbations du fonctionnement des radars. Cette dernière étude vise à développer un outil permettant d'optimiser l'implantation des éoliennes par rapport aux radars.

Design graphique: THINK UP communication éco-responsable - www.thinkup.fr



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr)

© CHRISTIAN WÄRNEN / FOTOLIA



## Le fonctionnement d'une éolienne

La fabrication d'électricité par une éolienne est réalisée par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait au cours de différentes étapes, qui font appel à des technologies très diverses.

### La chaîne de transformation énergétique

Une éolienne transforme l'énergie du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait en plusieurs étapes :

#### La transformation de l'énergie par les pales

Les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion : la différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

#### L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur

Les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (1.500 tours par minute) pour produire de l'électricité. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur. Certains types d'éoliennes n'en sont pas équipés, leur générateur est alors beaucoup plus gros et beaucoup plus lourd.

#### La production d'électricité par le générateur

L'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. Le rotor du générateur tourne à grande vitesse et produit de l'électricité à une tension de 690 volts, en général.

#### Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur

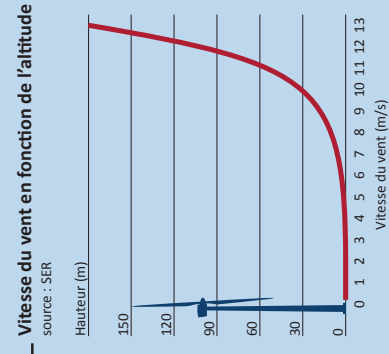
Cette électricité ne peut pas être utilisée directement ; elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est élevée à 20 000 Volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation, pour être injectée sur le réseau électrique, puis acheminée aux consommateurs les plus proches.

## Différents facteurs de productivité

L'énergie produite par une éolienne dépend de plusieurs paramètres : la longueur des pales, la vitesse du vent et la densité de l'air. La puissance produite par une éolienne augmente avec le carré de la longueur des pales, et avec le cube de la vitesse du vent. Ainsi, une éolienne produira quatre fois plus d'énergie si la pale est deux fois plus grande et, lorsque la vitesse du vent double, la production sera multipliée par 8 ! La densité de l'air entre également en jeu : une éolienne produit 3 % de plus d'électricité si, pour une même vitesse de vent, l'air est 10 degrés plus froid. Pluie ou neige n'ont, quant à elles, aucune influence.

## Pourquoi la plupart des éoliennes ont-elles trois pales ?

Le vent étant freiné par les obstacles au sol, la vitesse du vent augmente avec l'altitude. De ce fait, le vent en haut d'une éolienne soufflera plus fort qu'en bas du rotor. Dans le cas d'une éolienne à une ou deux pales, la variation de la force sur le moyeu est alors importante car lorsqu'une pale est au plus haut (captant davantage le vent), l'autre pale est au plus bas (peu de vent), obligeant alors la mise en place de systèmes spécifiques. En revanche, l'installation de trois pales permet une compensation de ces différences et une moindre variation de puissance à chaque rotation du rotor.



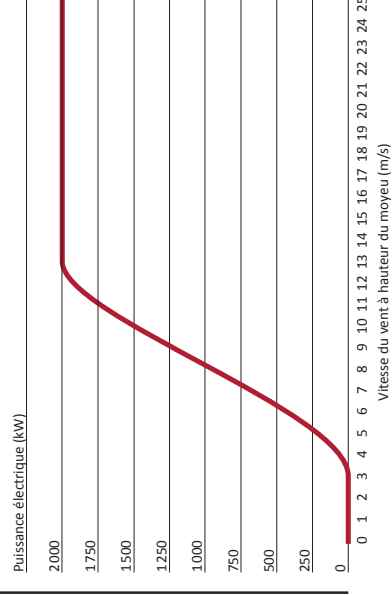
## La régulation de la puissance de l'éolienne

La production électrique varie selon la vitesse du vent :

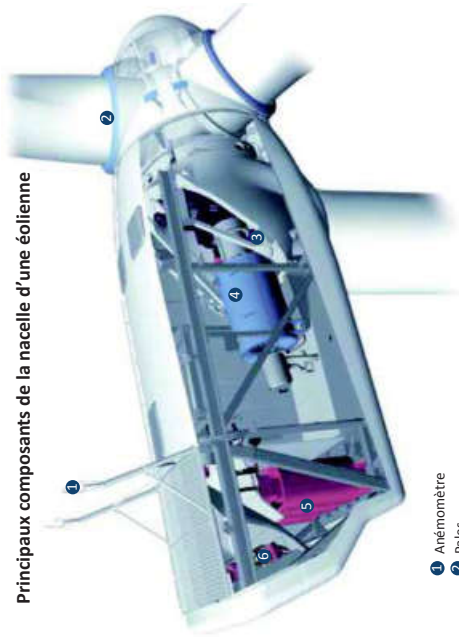
- Lorsque le vent est inférieur à 10 km/h (2,8 m/s), l'éolienne est arrêtée car le vent est trop faible. Cela n'arrive que 15 à 20 % du temps.
- Entre 10 et 36 km/h (2,8 et 10 m/s), la totalité de l'énergie du vent disponible est convertie en électricité, la production augmente très rapidement.
- A partir de 36 km/h (10 m/s), l'éolienne approche de sa production maximale : les pales se mettent progressivement à tourner sur elles-mêmes afin de réguler la production.
- À 45 km/h (12,5 m/s), l'éolienne produit à pleine puissance. Les pales sont orientées en fonction de la vitesse du vent. La production reste constante et maximale jusqu'à une vitesse de vent de 90 km/h.
- À partir de 90 km/h (25 m/s), l'éolienne est arrêtée progressivement pour des raisons de sécurité, et les pales sont mises en drapeau. Cela n'arrive que sur les sites très exposés, quelques heures par an, durant les fortes tempêtes.

## Puissance d'une éolienne en fonction du vent

source : Repower Systems AG



Une éolienne dispose de trois freins principaux (chacune des trois pales), mais est également équipée d'un frein mécanique afin d'assurer l'arrêt rapide de la machine et son immobilisation lors de la maintenance.



- 1 Anémomètre
- 2 Pales
- 3 Multiplicateur
- 4 Alternateur
- 5 Transformateur
- 6 Systèmes de refroidissement

### Composants électroniques dans le mât d'une éolienne



- 1 Convertisseurs
- 2 Armoire de commande
- 3 Transformateur
- 4 Fondation de la tour



© SUNLOVE / FOTOLIA



© CHRISTIAN WÄGNIG / FOTOLIA



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr



## ☐ L'énergie éolienne en mer

L'éolien en mer est une filière très prometteuse. Son potentiel de développement est immense, avec des vents marins très forts et très réguliers. Cette filière est aujourd'hui en très forte croissance et pourrait représenter de 13 à 16% de la consommation électrique de l'Union Européenne en 2030. En France, l'objectif est d'installer 6 000 MW en mer à l'horizon 2020, ce qui permettrait de produire 3,5% de la consommation d'électricité française.



### ■ Un vaste potentiel encore inexploité

Bénéficiant d'un espace maritime peu profond – en particulier en mers du Nord et Baltique, d'un gisement de vent important, et de zones de forte consommation d'électricité, l'Europe est une région particulièrement adaptée au développement de l'éolien offshore. En France, les sites les plus favorables se situent sur les côtes de la Manche et de la Mer du Nord, ainsi que sur la façade Atlantique dans une zone comprise entre la Bretagne et l'Aquitaine. La profondeur relativement importante des fonds marins rend plus difficile l'implantation de parcs offshore en Méditerranée et à la pointe de la Bretagne.

**« Le potentiel de production offshore en France pour 2020 est estimé à 30 TWh, soit la consommation domestique (chauffage compris) de 13 millions de Français. »**

Agence Internationale de l'Énergie

### Les 6 premiers parcs éoliens en mer français

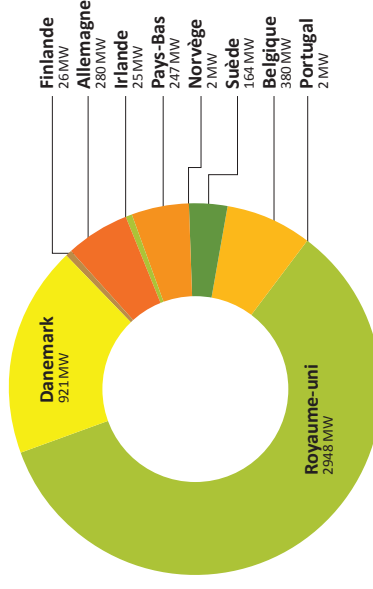
Le gouvernement français a lancé deux appels d'offres éolien offshore. 4 premiers lots ont été attribués en 2012, pour un total de près de 2 000 MW : Courseulles-sur-Mer, Fécamp, Saint-Brieuc et Saint-Nazaire. Ces 4 parcs permettront la création de plusieurs usines et de près de 10 000 emplois. Un second appel d'offres a été lancé en mars 2013, pour une puissance supplémentaire d'environ 1 000 MW, au Tréport et près des îles d'Yeu et de Noirmoutier. Ces nouvelles capacités devraient permettre de confirmer non seulement la création d'une filière industrielle nationale, mais également la revitalisation des activités navales et portuaires qui l'accompagnent, générant ainsi plusieurs milliers d'emplois supplémentaires.

### ■ Les parcs éoliens offshore en Europe

Fin 2012, on dénombre 55 parcs éoliens en mer dans dix pays à travers l'Europe : le Danemark, le Royaume-Uni, la Suède, les Pays-Bas, l'Irlande, l'Italie, l'Allemagne, la Finlande, la Belgique et le Portugal cumulent ainsi 4 995 MW de puissance installée, pour une production de 18 TWh par an – soit environ 0,5% de la consommation totale d'électricité en Europe. Le Royaume-Uni détient la plus grande part de la capacité installée en Europe (2 948 MW soit 59% du total), devant le Danemark (921 MW – 18,4%), et l'Allemagne (380 MW – 5,6%). D'après l'EWEA (Association Européenne de l'Énergie Éolienne), d'ici fin 2014, ce sont près de 7 300 MW qui devraient au total être en service en Europe. Les parcs les plus importants sont ceux de Greater Gabbard (504 MW) et de London Array (630 MW), tous deux mis en service dans les eaux Britanniques courant 2012. D'après l'EWEA, l'Europe est en bonne voie pour atteindre son objectif de 44 000 MW à l'horizon 2020.

#### Capacité offshore installée par pays fin 2012 (MW)

source : EWEA - The European offshore Wind Industry Key trends and statistics 2012



## Les objectifs de développement

La Programmation Pluriannuelle des Investissements a fixé pour l'éolien en mer et autres énergies marines un objectif de 6 000 MW en 2020, ce qui permettra une production de 18 TWh, soit l'équivalent de la consommation domestique (chauffage compris) de 8 millions de Français.

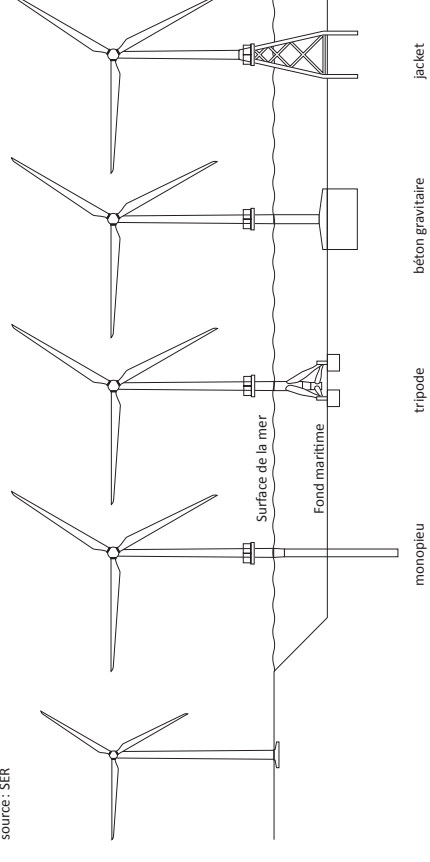
## ■ Des fondations très spécifiques

Les éoliennes offshore fonctionnent sur le même principe que les éoliennes terrestres, et leurs principaux composants sont similaires à ceux utilisés à terre, à l'exception notable des fondations qui, selon la profondeur et la nature des fonds marins, peuvent être de plusieurs types :

- gravitaire : en béton posé sur le fond marin ;
- monopieu : un pieu enfoncé profondément dans le sol ;
- tripode ;
- « jacket » : tour-trellis d'acier tubulaire, reposant sur 4 pieds ancrés par des pieux.

#### Comparaison éolienne terrestre (3 MW) / éolienne offshore (5 MW)

source : SER



## ■ Des technologies de pointe, en constante évolution

Les éoliennes offshore sont beaucoup plus puissantes que celles utilisées sur terre : leur puissance peut atteindre 6 ou 7 MW, contre 3 pour l'éolien terrestre. Elles doivent en outre résister à des contraintes particulièrement difficiles (météo, corrosion, etc.).

Le raccordement des parcs éoliens offshore est également spécifique en raison de la très forte puissance de ces parcs et de l'éloignement du réseau électrique : ce raccordement est réalisé grâce à des câbles sous-marins à courant continu, technologie spécifique utilisée généralement pour les interconnexions sous-marines. Des concepts de fondations flottantes, actuellement à l'étude, permettront à terme d'installer des éoliennes dans des zones de plus grande profondeur, et donc d'augmenter considérablement le potentiel exploitable.



## ■ Un environnement à respecter

Le développement d'un projet en mer implique la prise en compte de l'ensemble des éléments composant l'environnement local : l'ensemble de la faune et de la flore sous-marine ainsi que les oiseaux. Les projets font également l'objet d'études sur les activités socio-économiques et usages de la mer : activités de pêche, loisirs, extractions de granulats, aquaculture, sécurité et navigation, tourisme et aspect paysager. Chacun de ces critères est pris en compte et peut faire l'objet de mesures compensatoires adéquates.



Syndicat des énergies renouvelables  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax. : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr



## **Annexe 4 : Acceptabilité de l'éolien**

## L'acceptabilité sociale des éoliennes : des riverains prêts à payer pour conserver leurs éoliennes

Alors que la France s'est engagée à accroître fortement d'ici à 2020 sa production encore modeste d'énergie éolienne (encadré 1), les nuisances pour les riverains sont régulièrement invoquées à l'encontre de ce développement. Une étude menée par le ministère auprès de riverains de quatre sites montre au contraire une grande acceptabilité des éoliennes. Sur chacun de ces sites, démanteler les éoliennes existantes provoquerait même une perte de bien-être social, évaluée à plusieurs dizaines de millions d'euros. Les projets d'implantation de ces sites semblent avoir été plutôt bien accueillis ; les résultats ne sont donc pas généralisables tels quels à l'ensemble des sites.

Aurore Fleuret, SEEIDD

À fin de mesurer les impacts des éoliennes sur le bien-être de leurs riverains, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire a entrepris une démarche visant à leur donner une valeur monétaire. Une première enquête avait été menée en 2001 afin de quantifier les nuisances paysagères et sonores des éoliennes, auprès de riverains du site éolien de Sigean, dans l'Aude. Peu d'enquêtés s'étaient alors déclarés gênés par les éoliennes près desquelles ils habitaient. Une seconde étude a été lancée en 2005, sur quatre sites (encadré 2), sur la base du constat que les éoliennes pouvaient être perçues aussi bien de manière positive que négative par les personnes vivant à proximité.

Ce type d'évaluation économique vise à compléter l'analyse qualitative ou sociologique de l'acceptabilité sociale des éoliennes. L'idée est d'inciter les enquêtés à

révéler leurs préférences sur les éoliennes et à exprimer ces préférences en terme monétaire (encadré 3).

### Seuls 5 % des riverains trouvent leurs éoliennes gênantes

Les enquêtés des quatre sites ont une perception positive de l'énergie éolienne en général mais aussi de « leur » site éolien : seuls 5 % estiment que les éoliennes près desquelles ils habitent sont gênantes. Le contexte dans lequel le projet s'est mis en place, et notamment la manière dont la population locale a été impliquée, est certainement un élément déterminant de cette bonne acceptabilité : dans les quatre cas, peu d'enquêtés disent avoir été défavorables au projet d'implantation, la majorité y était plutôt favorable ou indifférente.

### Encadré 1 : L'éolien, une énergie renouvelable en plein essor

Le Grenelle environnement prévoit un doublement de la part des énergies renouvelables à l'horizon 2020, en cohérence avec l'objectif assigné à la France dans le cadre du paquet « énergie-climat » de l'Union européenne. La réalisation de cet objectif ambitieux passe par un développement de toutes les énergies renouvelables, et requiert en particulier un fort développement de la biomasse (biocarburants, biogaz, bois énergie), de la géothermie et de l'éolien. La production d'énergie éolienne devrait ainsi être multipliée par plus de dix d'ici à 2020.

La France développe déjà ses filières d'énergies renouvelables. En 2007, leur production a augmenté de 4 % pour atteindre 18 Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole). En particulier, l'énergie éolienne a fait un véritable bond, avec une progression de 85 % sur l'année, pour atteindre environ 0,4 Mtep. Elle ne représente cependant que 2 % de la production d'énergies renouvelables et moins de 1% de la production d'énergie totale.



Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

www.developpement-durable.gouv.fr

### Encadré 2: Les enquêtes auprès des riverains de quatre sites éoliens

Des personnes habitant à moins de 15 kms de quatre sites éoliens ont été interrogées sur leur consentement à payer pour différents scénarios de modification des sites. Les quatre sites choisis sont très différents afin d'évaluer si leur configuration et leur durée d'implantation ont un effet sur les préférences des riverains :

- le site de Corbières-Souleilla, implanté depuis 2001, se situe dans le département de l'Aude, qui concentre aujourd'hui le plus grand nombre de parcs éoliens en France ;
  - le site de Mardyck est implanté depuis 2003 près du littoral de la mer du Nord, dans le contexte industriel des raffineries de Dunkerque ;
  - le site de Montjoyer-Rochefort, implanté dans la Drôme depuis 2004, s'insère dans un contexte naturel à vocation touristique ;
  - le site de Bouin, implanté en Vendée depuis 2003, est situé dans une zone humide relativement touristique, le marais breton, à proximité du littoral atlantique, lui-même très fréquenté.
- Deux enquêtes ont été réalisées fin 2005 selon deux méthodologies :
- une enquête par téléphone auprès de 2 000 riverains des sites de Souleilla, de Mardyck et de Montjoyer, utilisant la méthode d'évaluation contingente ;
  - une enquête en face à face, au domicile de 300 riverains des sites de Souleilla et de Bouin, avec la méthode d'expériences de choix.



### Un démantèlement qui serait coûteux... pour le bien-être des riverains

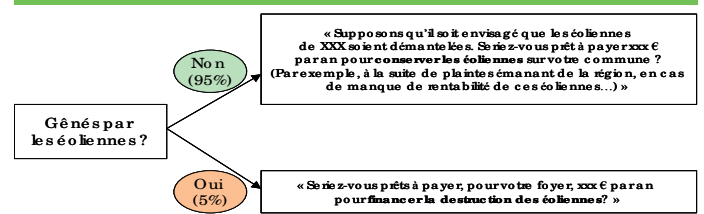
Afin d'estimer l'impact qu'aurait un projet de démantèlement d'un site éolien d'un point de vue social, la méthode d'évaluation contingente a été utilisée pour inciter les enquêtés à révéler leur consentement à payer soit pour empêcher, soit au contraire pour soutenir un tel projet. Les 95 % qui s'étaient déclarés peu ou pas gênés par ces éoliennes ont été interrogés sur leur consentement à payer pour que ce projet de démantèlement n'ait pas lieu, les 5 % restants étant interrogés sur leur consentement à payer pour financer le démantèlement (figure 1).

Les enquêtés peu ou pas gênés par les éoliennes ont un consentement à payer compris entre 24 et 74 € pour conserver les éoliennes. Ceux qui sont très gênés ou plutôt gênés par les éoliennes ont un consentement à payer entre 14 et 98 € pour financer leur destruction. Ces consentements à payer constituent respectivement les coûts et les bénéfices sociaux d'un éventuel projet de démantèlement. Ils varient peu suivant les sites étudiés.

Si les fourchettes de ces consentements à payer sont grandes, c'est que les réponses des enquêtés ont été analysées de façon très prudente : pour obtenir la borne inférieure, tous les enquêtés ayant déclaré un consentement à payer égal à zéro ont été considérés comme n'ayant pas eu de réaction de rejet des scénarios et leurs réponses ont été conservées dans le calcul des consentements à payer moyens ; pour estimer la borne supérieure, les réponses des individus qui n'acceptaient pas de révéler leur véritable consentement à payer, comportement fréquent dans ce type d'enquête, ont été éliminées.

A partir de ces valeurs estimées par an et par ménage, est alors calculé l'impact social qu'aurait un projet de démantèlement d'un site éolien, en étendant ces valeurs sur vingt ans et en les agrégeant sur l'ensemble de la population vivant à moins de 15 kilomètres des éoliennes étudiées. Les riverains enquêtés s'étant très largement opposés au démantèlement, le démantèlement représenterait donc un coût pour la collectivité. Variable suivant les sites, ce coût social serait de l'ordre de plusieurs dizaines de millions d'euros par site (figure 2).

Figure 1 : Consentement à payer pour conserver ou pour détruire les éoliennes



Source : Enquête par téléphone auprès de 2 000 personnes habitant près des sites de Souleilla, de Mardyck et de Montjoyer (Meeddat 2005).

Figure 2: Impact social d'un projet de démantèlement des éoliennes existantes (en millions d'euros)

Total actualisé sur 20 ans des consentements à payer	Mardyck	Souleilla	Montjoyer
pour démanteler les éoliennes (=bénéfices sociaux d'un projet de démantèlement)	Entre 1,1 et 8 M€	Entre 0,3 et 1,9 M€	Entre 0,4 et 3,1 M€
pour conserver les éoliennes (=coûts sociaux d'un projet de démantèlement)	Entre 35 et 109 M€	Entre 13 et 30 M€	Entre 21 et 51 M€
Impact total pour les riverains (bénéfices - coûts)	Entre -108 et -27 M€	Entre -30 et -11 M€	Entre -51 et -18 M€

Source : Enquête par téléphone auprès de 2 000 personnes habitant près des sites de Souleilla, de Mardyck et de Montjoyer (Meeddat 2005) - Calculs CGDD.

### Des extensions de site plutôt source de bien-être social

De façon analogue, l'impact de l'ajout de dix éoliennes sur les sites actuels a été estimé (figure 3). Deux tiers des enquêtés se déclarent favorables à une telle extension, ce qui montre à nouveau la bonne acceptabilité des sites étudiés.

Un tel projet d'extension constitue plutôt un bénéfice social pour la collectivité (figure 4). Cependant, les estimations les plus prudentes montrent que, sur le site de Mardyck, il pourrait avoir un impact nul en terme de bien-être social, voire un impact négatif.

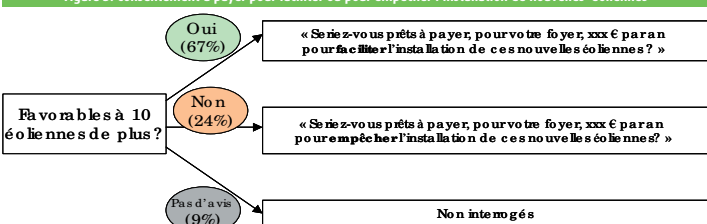
### Les riverains ne préfèrent pas forcément les sites éoliens de petite taille

Une autre enquête, réalisée près des sites éoliens de Sou-

leilla et de Bouin, visait à analyser les préférences des riverains par rapport à différentes caractéristiques d'un site éolien : le nombre d'éoliennes, leur hauteur, leur localisation et la distance à laquelle elles se trouvent du domicile de l'enquêté. Pour cela, les enquêtés devaient choisir le site éolien qu'ils préféreraient voir s'implanter près de chez eux parmi différentes propositions (figure 5).

A chaque proposition était associée une incidence sur la facture d'électricité. Cette méthode, appelée expériences de choix, permet de mesurer les préférences des riverains sur la forme d'un site éolien. Les résultats n'ont pas vocation à être interprétés comme la définition d'un site éolien « idéal ». Comme déjà souligné, le contexte dans lequel le projet s'est mis en place influe beaucoup sur le niveau d'acceptabilité des riverains. Les choix effectués par les enquêtés permettent cependant de nuancer certains a priori sur les préférences des individus sur les caractéristiques des éoliennes.

Figure 3: Consentement à payer pour faciliter ou pour empêcher l'installation de nouvelles éoliennes



Source : Enquête par téléphone auprès de 2 000 personnes habitant près des sites de Souleilla, de Mardyck et de Montjoyer (Meeddat 2005).

Figure 4: Impact social d'un projet d'extension des sites éoliens existants (en millions d'euros)

Total actualisé sur 20 ans des consentements à payer	Mardyck	Souleilla	Montjoyer
pour faciliter l'installation de 10 nouvelles éoliennes (=bénéfices sociaux d'un projet d'extension)	Entre 37 et 117 M€	Entre 12 et 36 M€	Entre 24 et 59 M€
pour empêcher l'installation de 10 nouvelles éoliennes (=coûts sociaux d'un projet d'extension)	Entre 4 et 53 M€	Entre 1 et 10 M€	Entre 5 et 21 M€
Impact total pour les riverains (bénéfices - coûts)	Entre -16 et +113 M€	Entre +2 et +35 M€	Entre +3 et +54 M€

Source : Enquête par téléphone auprès de 2 000 personnes habitant près des sites de Souleilla, de Mardyck et de Montjoyer (Meeddat 2005) - Calculs CGDD.

Figure 5: Questionnaire d'enquête expérience de choix

Exemple de choix présenté	Option A (option fixe)	Option B (option variable)
Localisation	Plaine	Plaine
Nombre d'éoliennes	20	10
Hauteur des éoliennes	100 m	100 m
Distance de votre domicile	Entre 5 et 10 km	Plus de 10 km
Incidence sur votre facture d'électricité	0 €	15 €
Choix	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Source : Enquête à domicile auprès de 300 personnes habitant près des sites éoliens de Souleilla et de Bouin (Meeddat 2005).

Note de lecture : Dans la méthode d'expériences de choix, on propose successivement aux enquêtés plusieurs alternatives de sites éoliens entre lesquelles ils doivent choisir. Ces alternatives présentent deux options de sites éoliens qui ne diffèrent que sur certaines de leurs caractéristiques. Dans l'exemple de choix ci-dessus, il s'agit du nombre d'éoliennes, de la distance au domicile et de l'incidence sur la facture. Les caractéristiques de localisation et de hauteur restent au contraire identiques.

Sur les deux sites étudiés, les enquêtés ne choisissent pas systématiquement le site éolien le plus petit possible. Les riverains du site de Bouin seraient ainsi prêts à payer 11 € de plus pour que le nouveau site créé comportent 20 éoliennes plutôt que 10. Les riverains de Souleilla, eux, se montrent indifférents entre un site de 10 ou de 20 éoliennes et entre des hauteurs de 80 ou 100 mètres. Un autre résultat inattendu concerne la distance entre les éoliennes et le domicile des enquêtés : si à proximité de Bouin, les enquêtés préfèrent le site le plus éloigné de chez eux, près de Souleilla, ils se montrent indifférents à ce critère.

### Des résultats à transférer avec prudence à d'autres sites

Les résultats de cette étude présentent, suivant les sites, des différences qui sont relativement faibles mais qu'il n'apparaît pas toujours possible d'expliquer. Leur utilisation doit donc se faire avec prudence ce qui se soit pour obtenir une première approximation de l'impact social d'un projet de démantèlement ou d'extension, ou pour approcher les préférences des habitants sur la taille et la localisation d'un nouveau site éolien. Doivent notamment être prises en compte les différences de contexte des sites concernés et des populations qui y résident.

### Encadré 3 : Comment donner une valeur à du non-marchand ? Les méthodes de préférences déclarées.

Des méthodes d'évaluation économique se développent depuis une vingtaine d'années en France dans le domaine environnemental afin d'estimer monétairement les variations de bien-être produites par un changement d'environnement.

Parmi elles, les méthodes de préférences déclarées, dont font partie la méthode d'évaluation contingente et la méthode d'expériences de choix, s'appuient sur des enquêtes dans lesquelles on incite les individus à révéler leur consentement à payer pour une amélioration environnementale, ou leur consentement à recevoir pour une dégradation environnementale. Dans la méthode d'évaluation contingente, il est demandé plus ou moins directement aux enquêtés de formuler un consentement à payer pour la mise en place d'un scénario transformant l'environnement. Dans la méthode d'expériences de choix, plus récente, qui en est dérivée, le bien étudié est décomposé en plusieurs caractéristiques et l'on demande aux enquêtés de choisir un scénario parmi plusieurs options faisant varier ces caractéristiques. A partir de ces choix, est estimé le consentement à payer des individus pour l'évolution de chacune des caractéristiques.

### Pour en savoir plus :

"L'acceptabilité sociale des éoliennes : des riverains prêts à payer pour conserver leurs éoliennes - Enquête sur quatre sites éoliens français" Études et Documents, à paraître. MEEDDAT/CGDD/SEEIDD Avril 2009 Aurore FLEURET et Sébastien TERRA. Pour télécharger : www.developpement-durable.gouv.fr

Présent pour l'avenir



Commissariat général au développement durable  
Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable  
Tour Voltaire  
92055 La Défense cedex  
Tel. : 01.40.81.21.22  
Directeur de la publication  
Françoise MAUREL  
Rédacteur en chef  
Laurence DEMEULENAERE  
ISSN : en cours  
Dépôt légal : mars 2009

## LA MÉTHODOLOGIE : UN DISPOSITIF EN TROIS TEMPS

**Volet 1 : une enquête qualitative**  
auprès de riverains

15 entretiens individuels en face à face, d'une durée d'1h à 1h30, auprès de riverains de parcs éoliens, sur trois territoires distincts, Pas-de-Calais, Yonne, Aude (5 entretiens par zone).



**Volet 2 : une enquête quantitative miroir**

**VOLET RIVERAINS**  
Enquête menée auprès d'un échantillon de 504 personnes représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus habitant dans une commune située à moins de 1000 mètres d'un parc éolien.

**Date de réalisation :** du 25 au 27 mai 2016, par téléphone

**VOLET GRAND PUBLIC**  
Enquête réalisée auprès d'un échantillon de 1005 personnes représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus

**Date de réalisation :** du 30 mai au 1<sup>er</sup> juin 2016, par internet

**Volet 3 : une enquête qualitative**  
auprès des élus

10 entretiens individuels par téléphone, d'une durée d'1h à 1h30, auprès de présidents et vice-présidents de communautés de communes:

- 4 en Bourgogne Franche Comté
- 3 en Hauts de France
- 3 en Languedoc Roussillon-Midi Pyrénées

**Date de réalisation :** du 8 au 20 avril 2016

**Date de réalisation :** du 15 juin au 8 juillet 2016

NB : la représentativité des échantillons a été assurée par la méthode des quotas (âge, sexe, profession de la personne interrogée) après stratification par région et catégorie d'agglomération.

### 7e Colloque National Eolien

Atelier n°4 : Une énergie de proximité : comprendre et activer les leviers de soutien populaire

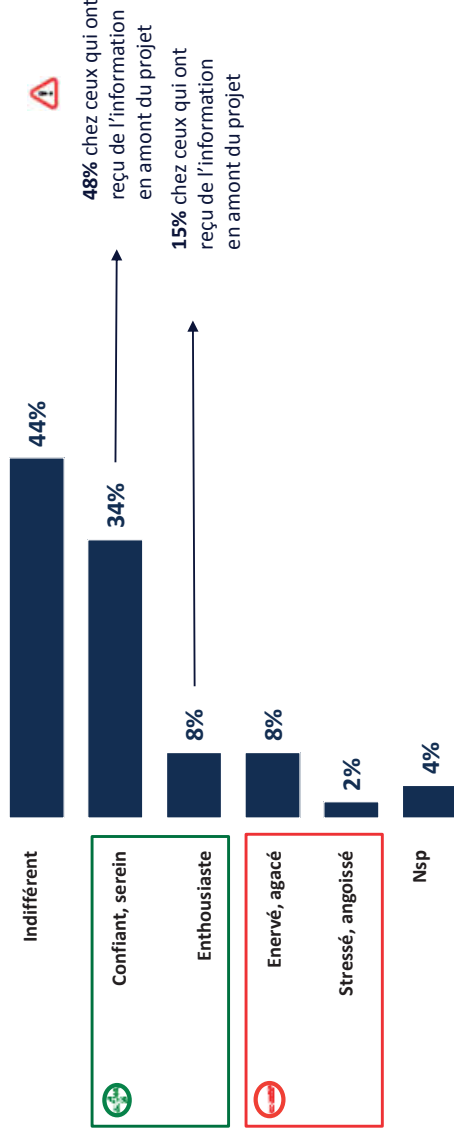


### Synthèse des résultats

## ÉTUDE D'OPINION AUPRÈS DES RIVERAINS DE PARCS ÉOLIENS, DES ÉLUS ET DU GRAND PUBLIC

## L'INFORMATION DES RIVERAINS RENFORCE LEUR CONFIANCE DANS LE PROJET ÉOLIEN

**QUESTION :** [Aux riverains] Quand vous avez appris la construction du parc éolien près de chez vous, qu'avez-vous ressenti ?  
Vous étiez ... ?



7e Colloque National Eolien Atelier n°4 : Une énergie de proximité : comprendre et activer les leviers de soutien populaire

## UN JUGEMENT GLOBAL POSITIF EN FAVEUR DES ÉNERGIES ÉOLIENNES PARTAGÉ À LA FOIS PAR LES FRANÇAIS ET LES RIVERAINS

**QUESTION :** Quelle image avez-vous des énergies éoliennes ? Veuillez m'indiquer une note comprise entre 1 et 10. 1 signifie que vous en avez une très mauvaise image et 10 que vous en avez une très bonne image.

1 : Très mauvaise image → 10 : Très bonne image



NOTES = ■ 1 à 3 ■ 4 à 5 ■ 6 à 7 ■ 8 à 10

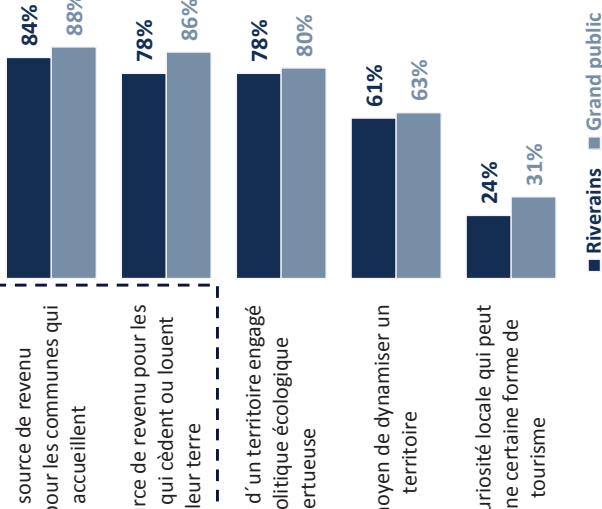
7e Colloque National Eolien Atelier n°4 : Une énergie de proximité : comprendre et activer les leviers de soutien populaire

## RIVERAINS ET GRAND PUBLIC S'ACCORDENT TOUT PARTICULIÈREMENT SUR L'IMPORTANCE DE L'IMPACT ÉCONOMIQUE POUR UN TERRITOIRE...



QUESTION : Pour vous, la présence d'éoliennes sur un territoire ... ?

Total OUI =  
« Oui, tout à fait » + « Oui, plutôt »



... mais dont les riverains peinent à percevoir les réalisations concrètes



QUESTION : Selon vous, l'installation de ce parc éolien près de chez vous a-t-elle permis de... ?

Total « OUI »

Faire contribuer votre commune à la PRÉSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT

Générer de NOUVEAUX REVENUS pour votre commune

Financer de NOUVEAUX SERVICES PUBLICS dans votre commune

ATTIRER DE NOUVELLES ENTREPRISES de toute taille près de votre commune

## LE VÉCU EN TANT QUE RIVERAIN : UN QUOTIDIEN À PROXIMITÉ DES ÉOLIENNES SANS DIFFICULTÉ PARTICULIÈRE



Dans leur très grande majorité, les riverains rencontrés constatent, au final, que l'impact des éoliennes sur leur quotidien est minime voire inexistant... même si l'impact visuel demeure souvent un point négatif. Pour autant, **trois profils de riverains se distinguent...**

### Les CONVAINCUS

- Les « convaincus » se montrent **extrêmement positifs** vis-à-vis de l'éolien en général, parce qu'ils sont persuadés de l'importance du développement des énergies renouvelables.
- Au quotidien, **ils ne sont aucunement dérangés**, que ce soit par le bruit, ou par l'incidence des éoliennes sur le paysage.
- Certains d'entre eux ont même fini par **s'attacher au parc, devenu un lieu de promenade ou de visite avec leurs petits-enfants.**
- La plupart sont **locataires, d'autres propriétaires mais sans aucune intention de quitter la commune où ils habitent.**

### Les INDIFFÉRENTS

- Il s'agit de personnes, initialement frileuses, qui redoutaient la pollution visuelle et sonore liée aux éoliennes.
- Pour autant, **la plupart de leurs craintes ont été levées dès l'installation des premières éoliennes.**
- Sans défendre « haut et fort » les éoliennes, **les « indifférents » se sont complètement habitués à la situation.**
- Vivre à proximité des éoliennes ne change rien à leur quotidien. **Les éoliennes ne sont pas un sujet.** Ils n'en parlent jamais.

### Les CONTRAIRES

- La contrariété naît souvent d'une mise en œuvre qui semble inadaptée : **parce que les travaux liés à l'implantation du parc ont engendré des dégradations**, ou par sentiment de saturation.
- Certains « contrariés » évoquent également **des nuisances liées à la proximité avec les éoliennes** : nuisances sonores, brouillage de la TV, etc. D'autres, parmi les propriétaires, redoutent **une dépréciation de l'immobilier.**
- S'exprime, par ailleurs, **un sentiment d'injustice, avec l'idée que certains en profitent largement**, quand d'autres n'en récoltent que les inconvénients.

## LES MESSAGES CLES A RETENIR



1 Une adhésion réelle des Français à l'égard de l'éolien

2 Une faible culture de l'énergie éolienne alimentée par un manque d'information ou d'intérêt

3 Des retombées socio-économiques réelles mais manquant de visibilité pour les riverains

7e Colloque National Eolien Atelier n°4 : Une énergie de proximité : comprendre et activer les leviers de soutien populaire

## LES PRINCIPAUX LEVIERS POUR AMÉLIORER L'ACCEPTATION DES PARCS ÉOLIENS



EN AMONT : une meilleure information

Sur le contenu

- Qui exploite ?
- Le fonctionnement ?
- Quels bénéfices ?

Dans la forme

- Qui doit communiquer ?
- A qui ? Quid du périmètre ?
- Sur quels supports ?

Avec comme objectif

Impliquer au maximum les citoyens, qui lorsqu'ils se sentent informés adhèrent davantage au projet

Une démarche de VALORISATION du site post-implantation

Sans que cela engendre des travaux supplémentaires ou contrevienne à la tranquillité des villages, l'intégration des parcs éoliens peut passer par une plus grande valorisation du parc :

- comme lieu de promenade,
- comme lieu d'apprentissage
- ... voire comme lieu d'animation locale

A condition

Travailler en amont sur une implantation concertée des projets avec les élus

Et surtout

Renforcer la **TRANSPARENCE** et la **PEDAGOGIE** dans l'utilisation des ressources générées par le parc

Enfin, le levier le plus déterminant repose sur une meilleure visibilité des retombées économiques pour la commune et ses habitants et une meilleure redistribution des ressources générées par le parc.

Au-delà des apports en matière de transition énergétique, tous souhaiteraient connaître l'impact financier du parc sur le budget de leur commune. La **COMMUNICATION** sur les bénéfices induits pour améliorer le quotidien des riverains doit selon tous gagner en **TRANSPARENCE**.

## **Annexe 5** : Réponse aux courriers de consultation du bureau d'Etudes et du Maître d'Ouvrage

**Boralex S.A.S.**  
8 Rue Anatole France  
59000 Lille  
France

T. +33 3 28 36 54 95  
F. +33 3 28 36 54 96  
boralex.com

**BORALEX**



**GRTgaz**  
**Service Urbanisme**  
Zone industrielle B  
Boulevard de la République - BP 34  
62232 ANNEZIN

Lille, le 21 juin 2018

**Objet : Demande de renseignements – Projets éoliens sur la commune de Hestrus (62)**

Madame, Monsieur,

Je me permets de vous solliciter dans le cadre d'un projet éolien que la société Boralex porte sur les communes de **Fortel-en-Artois** et **Villers-l'Hôpital** dans le Pas-de-Calais.

Pourriez-vous me préciser, en vous basant sur la carte jointe à ce courrier, si des ouvrages de GRTgaz se situent sur ou à proximité de la zone de projet ? Dans l'affirmative, je vous remercie de bien vouloir me transmettre les tracés ainsi que les préconisations éventuelles associées à ces ouvrages (zones de protections, distances d'éloignements etc.).

En vous remerciant pour votre collaboration, je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.

**Arthur BUIRETTE**  
Ingénieur Projets  
Fixe : 03 62 26 01 74  
Portable : 06 78 33 28 44  
arthur.buirette@boralex.com





Direction des Opérations  
Pôle Exploitation Nord Est  
Département Maintenance, Données et Travaux Tiers  
Boulevard de la République  
BP 34  
62232 Annezin

**BORALEX S.A.S.**  
8 rue Anatole France  
5900 LILLE

Affaire suivie par : Monsieur BUIRETTE Arthur

VOS RÉF.            Courrier du 21 juin 2018  
NOS RÉF.            P2018-005133  
INTERLOCUTEUR    Centre Travaux Tiers et Urbanisme (03.21.64.79.29)  
OBJET                Projet éolien sur les communes de BONNIERES, FORTEL EN ARTOIS, NOEUX LES AUXI  
                              et VILLERS L'HOPITAL - 62

Annezin, le 19 Juillet 2018

Monsieur,

Nous avons bien pris note du projet de création de Parc Éolien sur le territoire des communes citées en référence.

Nous confirmons la proximité de notre ouvrage de transport de gaz naturel haute pression :

Canalisation	DN	PMS (bar)	Largeur des effets dominos (1) - 8 kW/m <sup>2</sup> (m)
DN100-1983-FREVENT-AUXI-LE-CHATEAU(CI)	100	67,7	35

(1) Bande des effets dominos, située de part et d'autre des ouvrages, associée au phénomène dangereux de référence majorant.

Le Maître d'ouvrage du projet doit tenir compte, dans l'Etude De Dangers de son installation, de l'existence de nos ouvrages de transport de gaz et prévoir toutes dispositions afin qu'un incident ou un accident de son Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) n'ait pas d'impact sur nos ouvrages.

Les projets éoliens sont classés ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement), et doivent être conformes à la norme IEC 61400-1 qui fixe les prescriptions relatives à la sécurité de la structure de l'éolienne, de ses parties mécaniques et électriques et de son système de commande.

*Pour information afin d'élaborer ses études de dangers, comme mentionnée à l'article R. 555-39 du code de l'environnement, GRTgaz s'appuie entre autres sur le Guide professionnel du GESIP intitulé « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers » qui traite notamment le sujet suivant en son article 10 :*

*– la distance minimale et les mesures de sécurité vis-à-vis des installations classées pour la protection de l'environnement, notamment celles susceptibles de produire des interactions en fonctionnement normal ou en cas d'accident (par exemple d'autres canalisations parallèles ou en croisement, ou des lignes électriques, ou des éoliennes).*

De ce fait, en ce qui concerne l'implantation de parc éolien au regard des ouvrages de transport de gaz naturel existants, la distance minimale à respecter entre nos ouvrages et une éolienne doit être supérieure ou égale à 2 fois la hauteur totale de l'aérogénérateur (longueur d'une pale ajoutée à la hauteur de la tour).

*Cette distance minimale d'éloignement préconisée, permet de garantir que les vibrations générées par l'impact sur le sol en cas de chute de l'éolienne ou du rotor ne remettent pas en cause l'intégrité de la canalisation et éviter ainsi son éclatement.*

*Les conséquences d'un tel incident généreraient une zone à risques d'effets DOMINO de part et d'autre de l'ouvrage et impliqueraient l'arrêt du transit de gaz, par conséquence l'arrêt de la livraison de gaz sur les postes de distribution publics et industriels.*

Nous attirons votre attention sur le fait que notre réponse concerne uniquement l'implantation des éoliennes par rapport à nos ouvrages. Cette réponse ne prend pas en compte le raccordement du projet éolien au réseau de distribution publique d'électricité le plus proche.

Ainsi, d'une manière générale, le porteur du projet devra veiller au respect de la norme européenne NF EN 50443 concernant les effets des perturbations électromagnétiques causées par les systèmes de traction électrique et/ou les réseaux électriques H.T. en courant alternatif.

Il conviendra que les aménagements et constructions connexes (voiries incluses) respectent les recommandations techniques jointes en annexe au courrier et fassent l'objet d'une concertation avec nos services afin d'éviter toute atteinte à nos ouvrages.

Vous trouverez également en pièce-jointe un plan approximatif de nos ouvrages. En cas de nécessité, notre interlocuteur technique du secteur de BETHUNE, (03 21 64 79 46), peut effectuer à titre gracieux, à la demande du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre, le repérage de notre canalisation sur le terrain et la matérialisation de la bande de servitude.

Enfin, d'une manière générale pour tous les projets et travaux, le Code de l'Environnement – Livre V – Titre V – Chapitre IV impose à tout responsable d'un projet de travaux, sur le domaine public comme dans les propriétés privées, de consulter le Guichet Unique des réseaux (téléservice [www.reseaux-et-canalizations.gouv.fr](http://www.reseaux-et-canalizations.gouv.fr)) afin de prendre connaissance des nom et adresse des exploitants de réseaux présents à proximité de son projet, puis de leur adresser une Déclaration de projet de Travaux (DT).

Les exécutants de travaux doivent également consulter le Guichet Unique des réseaux et adresser aux exploitants s'étant déclarés concernés par le projet une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT).

Cette obligation concerne également les accès au chantier, notamment le passage des convois au-dessus de nos ouvrages qui sont susceptibles de créer des contraintes nécessitant la pose de protections mécaniques.

Conformément à l'article R.554-26 du Code de l'Environnement, lorsque le nom de GRTgaz est indiqué en réponse à la consultation du Guichet Unique des réseaux, **les travaux ne peuvent être entrepris tant que GRTgaz n'a pas répondu à la DICT.**

De plus, tout travail de terrassement au droit de notre canalisation ne pourra être réalisé qu'en présence d'un représentant de GRTgaz.

Nous restons à votre disposition pour tout renseignement complémentaire et vous prions d'agréer, Monsieur, l'expression de notre considération distinguée.

Patrice DUBOURG

Responsable du Département Maintenance, Données et  
Travaux Tiers

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'PD' followed by a long horizontal stroke.

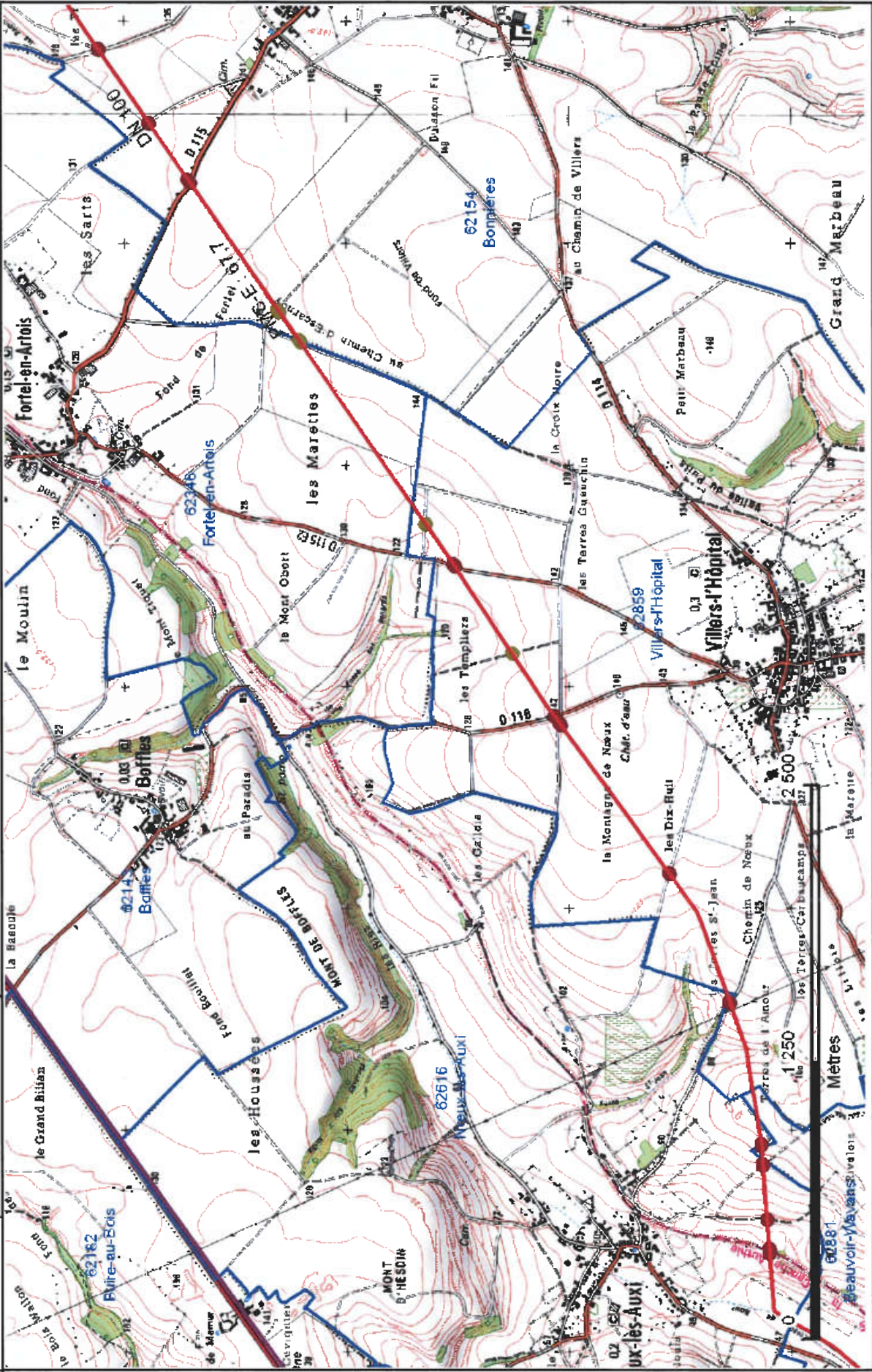
- P.J. : - Recommandations techniques applicables pour les projets d'aménagements ou de travaux à proximité de nos ouvrages de transport de gaz naturel  
- Plan de situation approximative de nos ouvrages



Date d'édition  
18/07/2018

Référence  
1807182613

P2018 005133 - FORTEL EN ARTOIS/VILLERS L'HOPITAL



- Réseau par état
- En projet
- En construction
- En service en gaz
- Prestation de maintenance GrDF
- En service hors gaz
- Hors service hors gaz
- Renonciation à l'exploitation non défini
- Tronçons PMS-E
- DN
- Equipements
- Réseaux
- Emprise

Scan©IGN

Cette édition et les informations qu'elle contient sont indicatives et ne sauraient permettre la réalisation de travaux à proximité du réseau de canalisations de GRTgaz ni de s'affranchir des dispositions prévues au code de l'environnement articles L.554-1 à L.554-5 et R.554-1 à R.554-38. Pour en savoir plus sur les nouvelles dispositions anti-endormagement : [www.reseaux-et-canalizations.gouv.fr](http://www.reseaux-et-canalizations.gouv.fr)

## Récépissé de DT Récépissé de DICT

Au titre du chapitre IV du titre V du livre V (partie réglementaire) du Code de l'environnement  
et de la section 12 du chapitre IV du titre III du livre V de la 4<sup>ème</sup> partie (partie réglementaire) du Code du travail

(Annexe 2 de l'arrêté du 15 février 2012 modifié - NOR : DEVP1116359A)

### Destinataire

- Récépissé de DT  
 Récépissé de DICT  
 Récépissé de DT/DICT  
conjointe

Dénomination : TOUZET Émeric  
Complément / Service :  
Numéro / Voie : 7 RUE DE LA VILAINE  
Lieu-dit / BP :  
Code Postal / Commune : 49 250 SAINT-MATHURIN-SUR-LOIRE  
Pays : France

N° consultation du téléservice : 2 0 1 9 1 0 2 9 0 0 2 9 2 T Q L  
Référence de l'exploitant :  
N° d'affaire du déclarant :  
Personne à contacter (déclarant) : TOUZET Émeric  
Date de réception de la déclaration : 29 / 11 / 2019  
Commune principale des travaux : Villers-l'Hôpital  
Adresse des travaux prévus : NR

### Coordonnées de l'exploitant :

Raison sociale : SYNDICAT EAU REGION FORTEL - SOGELINK  
Personne à contacter : LEGRAND MICHEL  
Numéro / Voie : TSA 70011  
Lieu-dit / BP :  
Code Postal / Commune : 69 134 DARDILLY CEDEX  
Tél. : 0 3 2 1 0 3 4 4 2 7 Fax : 0 3 1 0 0 2 0 5 9

### Éléments généraux de réponse

- Les renseignements que vous avez fournis ne nous permettent pas de vous répondre. La déclaration est à renouveler. Précisez notamment :  
 Les réseaux/ouvrages que nous exploitons ne sont pas concernés au regard des informations fournies. Distance > à : \_\_\_\_\_ m  
 Il y a au moins un réseau/ouvrage concerné (voir liste jointe) de catégorie : EA \_\_\_\_\_ (voir liste des catégories au verso)

### Modification ou extension de nos réseaux / ouvrages

Modification ou extension de réseau/ouvrage envisagée dans un délai inférieur à 3 mois : \_\_\_\_\_

- Réalisation de modifications en cours sur notre réseau/ouvrage.

Veuillez contacter notre représentant : LEGRAND MICHEL

Tél. : 0 3 2 1 4 1 2 5 8 5

NB : Si nous avons connaissance d'une modification du réseau/ouvrage dans le délai maximal de 3 mois à compter de la consultation du téléservice, nous vous en informons.

### Emplacement de nos réseaux / ouvrages

- Plans joints : Références : Echelle<sup>(1)</sup> : Date d'édition<sup>(1)</sup> : Sensible : Prof. règl. mini<sup>(1)</sup> : Matériau réseau<sup>(1)</sup> :  
NB : La classe de précision A, B ou C figure dans les plans. \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ 100 cm  
0 cm  
 Réunion sur chantier pour localisation du réseau/ouvrage :  Date retenue d'un commun accord : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ à \_\_\_\_ h  
ou  Prise de RDV à l'initiative du déclarant (date du dernier contact non conclusif : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_)  
 Votre projet doit tenir compte de la servitude protégeant notre ouvrage.  
 (cas d'un récépissé de DT) Tous les tronçons dans l'emprise ne sont pas en totalité de classe A : investigations complémentaires ou clauses particulières au marché à prévoir.  
 Les branchements situés dans l'emprise du projet et pourvus d'affleurant sont tous rattachés à un réseau principal souterrain identifié dans les plans joints.  
(1) : facultatif si l'information est fournie sur le plan joint

### Recommandations de sécurité

Les recommandations techniques générales en fonction des réseaux et des techniques de travaux prévues sont consultables sur [www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr](http://www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr)

Les recommandations techniques spécifiques suivantes sont à appliquer, en fonction des risques liés à l'utilisation des techniques de travaux employées :

Rubriques du guide technique relatives à des ouvrages ou travaux spécifiques : \_\_\_\_\_

Pour les exploitants de lignes électriques : si la distance d'approche a été précisée, la mise hors tension est :  possible  impossible

Mesures de sécurité à mettre en œuvre : \_\_\_\_\_

### Dispositifs importants pour la sécurité :

### Cas de dégradation d'un de nos ouvrages

En cas de dégradation d'un de nos ouvrages, contactez nos services au numéro de téléphone suivant : 0 6 7 3 3 9 3 6 6 8

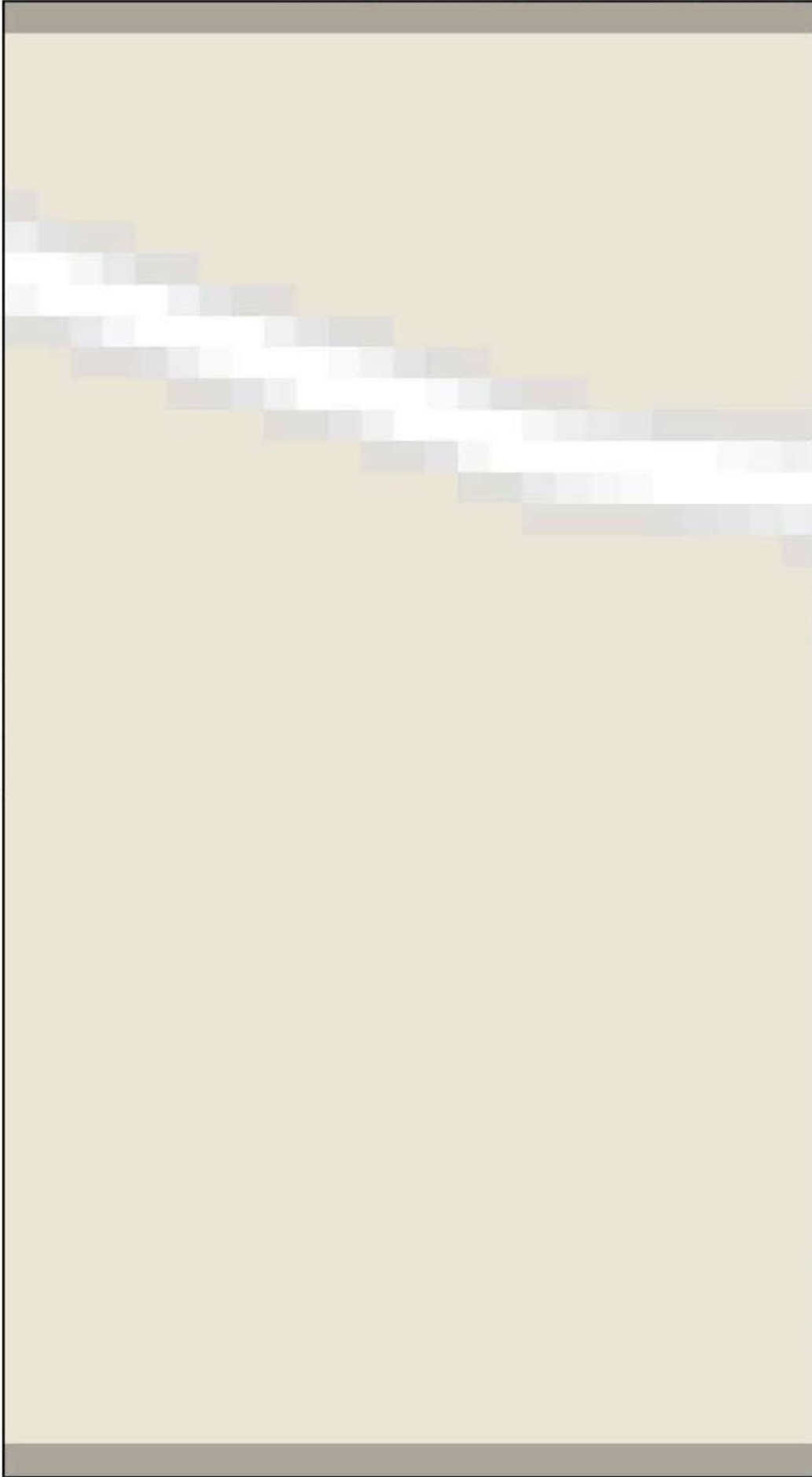
Pour toute anomalie susceptible de mettre en cause la sécurité au cours du déroulement du chantier, prévenir le service départemental d'incendie et de secours (par défaut le 18 ou le 112) : LAINE 0673393668

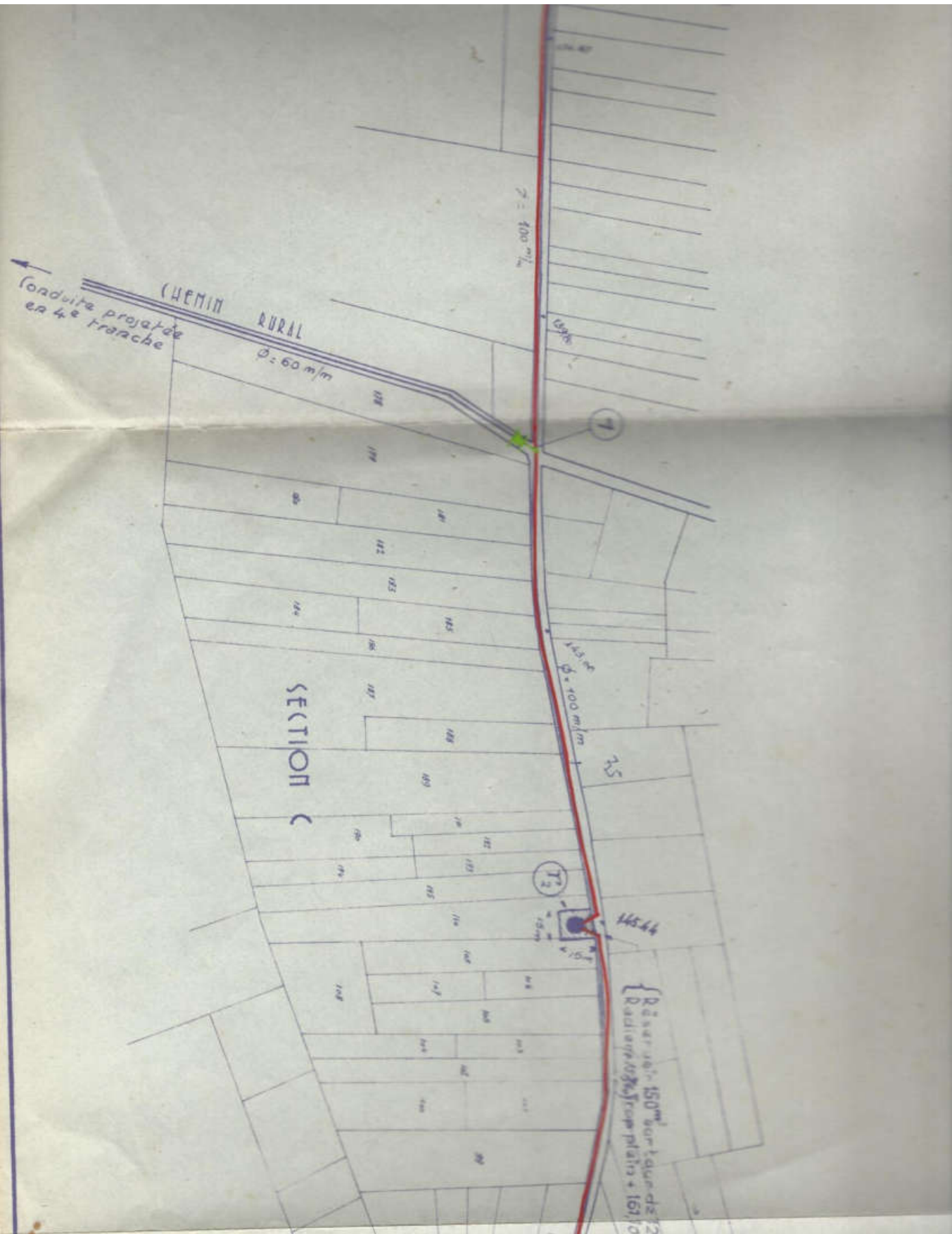
### Responsable du dossier

Nom : LEGRAND MICHEL  
Désignation du service : \_\_\_\_\_  
Tél. : 3 2 1 4 1 2 5 8 5

### Signature de l'exploitant ou de son représentant

Nom du signataire : HINAUT MARTINE  
Signature : \_\_\_\_\_  
Date : 03 / 12 / 2019 Nombre de pièces jointes, y compris les plans : 3





SECTION C

Réservoir 150 m<sup>3</sup> sur l'axe de la route  
 Radiers 0/0,50 m de plat + 16,10

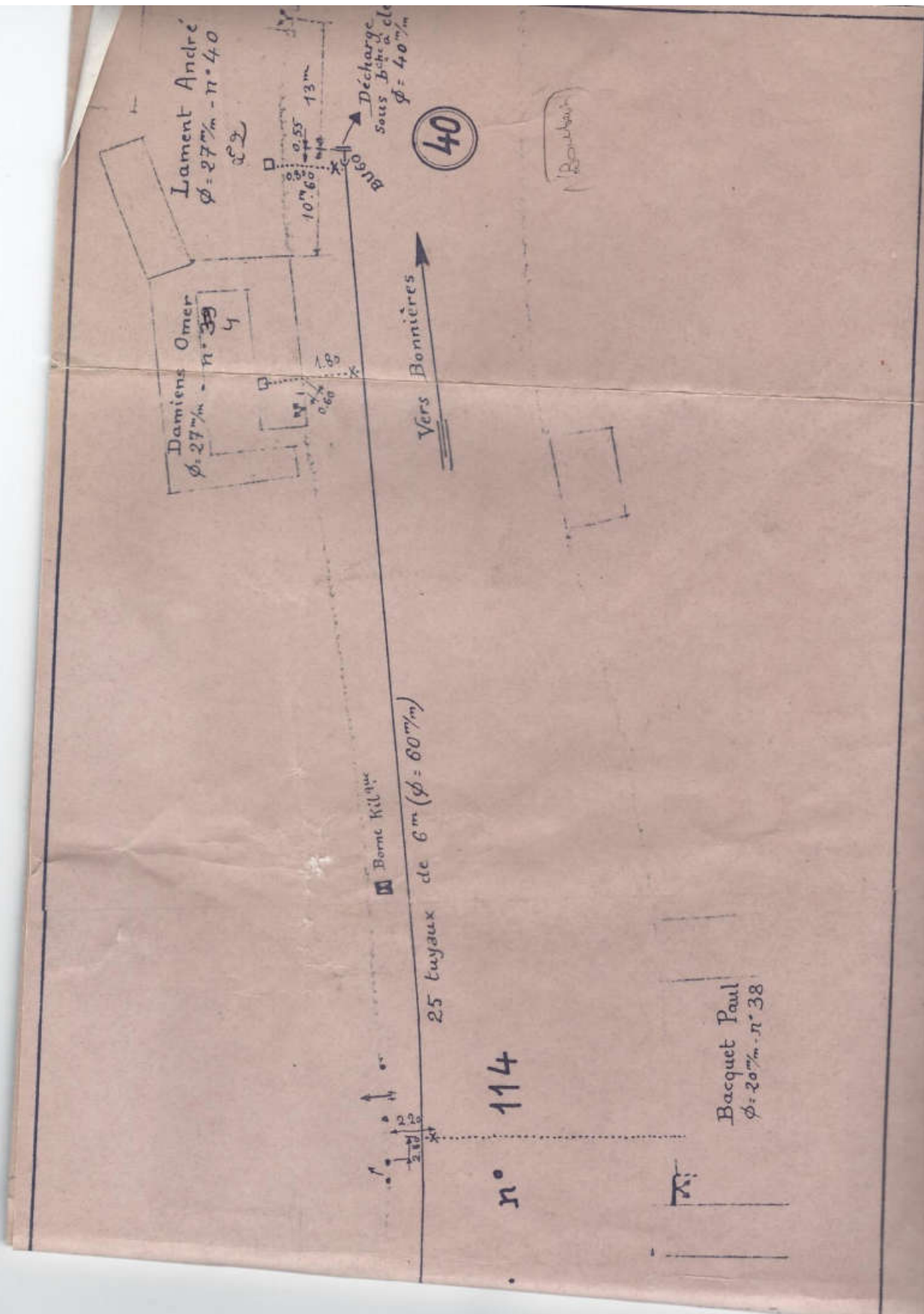
$r = 100 \text{ m}$

$\varnothing = 100 \text{ m/m}$

CHEMIN RURAL  
 Conduite projetée en 4<sup>e</sup> tranche

T2

14544



Lament André  
 $\phi = 27\text{mm} - n^{\circ} 40$

Damiens Omer  
 $\phi = 27\text{mm} - n^{\circ} 39$

Décharge  
 sous bête à clo  
 $\phi = 40\text{mm}$

40

Vers Bonnières

25 tuyaux de 6m ( $\phi = 60\text{mm}$ )

Borne Kilom

Bacquet Paul  
 $\phi = 26\text{mm} - n^{\circ} 38$

n° 114



## **Annexe 6 : Documentation Constructeurs**

**Vestas**<sup>®</sup>

# 2 MW Platform

**Wind.** It means the world to us.<sup>™</sup>

# Are you looking for the maximum return on **your investment** in wind energy?

Wind energy means the world to us. And we want it to mean the world to our customers, too, by maximising your profits and strengthening the certainty of your investment in wind power.

That's why, together with our partners, we always strive to deliver cost-effective wind technologies, high quality products and first class services throughout the entire value chain. And it's why we put so much emphasis on the reliability, consistency and predictability of our technology.

These aren't idle words. We have over 40 years' experience in wind energy. During that time, we've delivered more than 145 GW of installed capacity and we currently monitor over 45,000 wind turbines across the globe. Tangible proof that Vestas is the right partner to help you realise the full potential of your wind site.

## **What is the 2 MW platform?**

Our 2 MW platform provides industry-leading reliability, serviceability and availability. Durable and dependable, the platform is built on technology that has been proven in the field over more than a decade. The 2 MW platform reduces your costs, minimises the risk of turbine downtime and helps to safeguard your investment.

You can choose from four turbines on the 2 MW platform:

- V90-2.0 MW™ IEC IIA/IEC S
- V100-2.0 MW® IEC IIB
- V110-2.0 MW® IEC IIIA
- V120-2.2 MW™ IEC IIB/IEC S

Each 2 MW turbine incorporates enhancements that improve performance and reliability, reducing your cost of energy. The platform's predictability allows you to forecast confidently, strengthening the business case for investment, while the tried-and-tested design ensures you can produce energy on ultra-low, low, medium and high-wind onshore sites at the lowest possible cost, even in extreme weather conditions. In addition, remote monitoring and easy servicing keep operational costs at a minimum, while its highly-tested components and power and control systems enhance reliability.



# +27,000

Due to the strong performance and reliability of the 2 MW platform, over 27,000 turbines have been installed since 2000 across 46 countries with a capacity of more than 54 GW.

# How does the 2MW platform increase **reliability** and **performance**?

Created with future generations of turbines in mind, the 2 MW platform's single-piece bed frame and strong main bearing housing provide a better foundation for loads. The frame and housing – each made from single-piece castings – work in conjunction to absorb higher loads from the rotor.

Additionally, the housing ensures correct alignment during bearing assembly, making the process accurate and efficient and distributing loads evenly.

## **A reliable performer**

The 2 MW platform is an extremely reliable turbine, which is documented through its strong availability performance. With the newest addition of rotor sizes, the 2 MW platform offers a competitive selection of turbines for all wind segments.

## **Thoroughly tested**

The current 2 MW platform is built on unique knowledge from more than a decade of operational experience. We constantly monitor the majority of the installed 2 MW turbines, providing us with very detailed and invaluable information about how the turbine operates under all kinds of site conditions.

Our quality-control system ensures that each component is produced to design specifications and performs to peak potential at site. We also employ a Six Sigma philosophy and have identified critical manufacturing processes (both in-house and for suppliers). We systematically monitor measurement trends that are critical to quality, locating defects before they occur.

## **Innovative CoolerTop®**

Our exclusive CoolerTop® technology uses the wind's own energy to generate the cooling required, rather than consuming energy from the wind turbine generator. CoolerTop® has no moving parts and requires little maintenance. Furthermore, the absence of cooling fans contributes to turbine efficiency and makes no noise.

## **Power Optimised Modes increase energy output**

The 2 MW platform supports Power Optimised Modes, used to maximise energy production under specific wind and site conditions. Based on a site analysis and under mild wind conditions, V90-2.0 MW™, V100-2.0 MW™, V110-2.0 MW™, can be upgraded up to 2.2 MW - maximising annual energy production.

The 2 MW platform covers a wide range of wind segments enabling you to find the best turbine for your specific site.

## WINDCLASSES - IEC

TURBINE TYPE	IEC III (6.0 – 7.5 m/s)	IEC II (7.5 – 8.5 m/s)	IEC I (8.5 – 10.0 m/s)
<b>2 MW TURBINES</b>			
V90-2.0 MW™ IEC IIA/IEC S		■ Standard IEC conditions	■ Site dependent
V100-2.0 MW® IEC IIB		■ Standard IEC conditions	■ Site dependent
V110-2.0 MW® IEC IIIA	■ Standard IEC conditions	■ Site dependent	■ Site dependent
V120-2.2 MW™ IEC IIB/IEC S	■ Standard IEC conditions	■ Standard IEC conditions	■ Site dependent

■ Standard IEC conditions   
 ■ Site dependent

### Low Balance of Plant, installation and transportation costs

At Vestas, we use technology tailored to control loads on specific tower heights. We have applied this principle to the 2 MW platform by reducing both the weight of the turbine and the loads on the tower and foundation. This reduces foundation costs, saving you unnecessary expense.

All 2 MW turbines are easy to transport (by rail, truck or ship) to virtually any site around the world. In terms of weight, height and width, all components comply with local and international standard transportation limits, ensuring you incur no unforeseen costs. In addition, 2 MW turbines are built and maintained using tools and equipment that are standard in the installation and servicing industries – minimising maintenance costs.

### Vestas Online® Business

All Vestas wind turbines benefit from Vestas Online® Business, the latest Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system for modern wind power plants. This flexible system includes an extensive range of monitoring and management functions to control your wind power plant in the same way as a conventional power plant. Vestas Online® Business enables you to optimise production levels, monitor performance, and produce detailed, tailored reports from anywhere in the world. The system's power plant controller provides active and reactive power regulation, power ramping and voltage control.

### 24/7 remote surveillance with VMP Global® and Vestas Online® Business

To reduce the cost of energy, the 2 MW platform is equipped with VMP Global®, our latest turbine control and operation software. Developed to run this latest generation of turbines, VMP Global®, combined with Vestas Online® Business, automatically manages the turbine 24/7 and ensures maximum power generation. The application also monitors and troubleshoots the turbines – both onsite and remotely – saving further expense on servicing.

### Designed for serviceability

Service is facilitated by the overall design of the 2 MW platform and components are specifically positioned for easy access.

### Options available for the 2 MW platform

- Power Optimised Modes up to 2.2 MW (site specific)
- Condition Monitoring System
- Vestas Ice Detection
- Smoke Detection
- Shadow Detection
- Low Temperature Operation to -30°C
- Aviation Lights
- Aviation Markings on the Blades
- Vestas IntelliLight™
- Vestas Bat Protection System

# The knowledge to control

## **The wind project planning is key**

When planning a wind power plant, there are a broad range of factors over its entire lifecycle that will impact its success in the long-term. These range from financing and siting, to grid requirements and the regulatory framework. One of the first and most important steps is to identify the most suitable location for your wind power plant. Vestas' siting capabilities cover all the steps from finding a site, until delivering a fully optimised power plant set up.

Using the largest weather library in the industry, site-specific met mast campaigns and advanced analytical tools, Vestas examines a broad spectrum of wind and weather data to evaluate potential sites and establish which of them can provide optimum conditions for your project. In addition, Vestas can optimise the layout of your wind power plant and the technology selection with high accuracy by implementing detailed simulations of the conditions on site and analyse their effects over the whole operating life of the plant. Put simply, it finds the optimal balance be-

tween the estimated ratio of annual revenue to operating costs over the lifetime of your plant, to determine your project's true potential and provide a firm basis for your investment decision.

The complexity and specific requirements of grid connections vary considerably across the globe, making the optimal design of electrical components for your wind power plant essential. By identifying grid codes early in the project phase and simulating extreme operating conditions, Vestas' Electrical PreDesign provides you with an ideal way to build a grid compliant, productive and highly profitable wind power plant. It allows customised collector network cabling, substation protection and reactive power compensation, which boost the cost efficiency of your business.

## **Designed for high park performance**

Supported by Vestas' vast operational experience, site specific design capabilities and sophisticated load models, the 2 MW platform technology allows customers to choose the optimal turbine configuration for each unique site.



# +45,000

The Vestas Performance and Diagnostics Centre monitors more than 45,000 turbines worldwide. We use this information to continually develop and improve our products and services.

The 2 MW platform has been strengthened through selected component upgrades. The control system of the 2 MW platform turbines has been proven since 2,000 and optimised for a range of rotor diameters from 80m to 120m. The result is a confident control and a robust aerodynamic performance.

All wind turbines of the Vestas 2 MW platform can benefit from Vestas SCADA system, which includes an extensive range of monitoring and management functions to control your wind power plant, optimise production levels, monitor performance and obtain reports from anywhere in the world. The Vestas SCADA system ensures efficient operation of the power plant, including integration of balance of plant and additional equipment needed to meet specific grid requirements.

### **Condition monitoring and maintenance**

Operating a large wind power plant calls for efficient management strategies to minimise downtime and operational expenses. Vestas offers 24/7 monitoring, performance reporting and

predictive maintenance solutions to improve turbine performance and availability.

Vestas Condition Monitoring Solution (CMS) enables to predict the failure of components by analysing vibration signals, preventing major equipment damages and enabling to optimise the service planning according to the energy production and weather conditions.

Additionally, Vestas' Active Output Management® (AOM) provides detailed plans and long-term agreements for maintenance, online monitoring, optimisation and troubleshooting. It is possible to get a full scope contract, combining turbine technology with guaranteed time or energy-based availability performance targets, thereby creating a solid base for your power plant investment.





# V100-2.0 MW<sup>®</sup>

## IEC IIB

### Facts & figures

#### POWER REGULATION

Pitch regulated with variable speed

#### OPERATING DATA

Rated power	2,000 kW
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	22 m/s
Re cut-in wind speed	20 m/s
Wind class	IEC IIB
Standard operating temperature range from	-20°C* to 45°C

#### SOUND POWER

Maximum 105 dB\*

\* Sound Power Modes available

#### ROTOR

Rotor diameter	100 m
Swept area	7,854 m <sup>2</sup>
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders

#### ELECTRICAL

Frequency	50/60 Hz
Generator type	4-pole (50 Hz)/6-pole (60 Hz) doubly fed generator, slip rings

#### GEARBOX

Type	one planetary stage and two helical stages
------	--------------------------------------------

#### TOWER

Hub heights	80 m (IEC IIB) and 95 m (IEC IIB)
-------------	-----------------------------------

#### NACELLE DIMENSIONS

Height for transport	4 m
Height installed (incl. CoolerTop <sup>®</sup> )	5.4 m
Length	10.4 m
Width	3.5 m

#### HUB DIMENSIONS

Max. transport height	3.4 m
Max. transport width	4 m
Max. transport length	4.2 m

#### BLADE DIMENSIONS

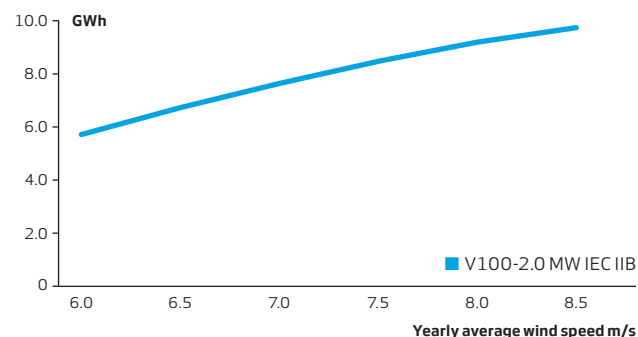
Length	49 m
Max. chord	3.9 m

Max. weight per unit for transportation 70 metric tonnes

#### TURBINE OPTIONS

- Power Optimised Modes up to 2.2 MW (site specific)
- Condition Monitoring System
- Vestas Ice Detection
- Smoke Detection
- Shadow Detection
- Low Temperature Operation to -30°C
- Aviation Lights
- Aviation Markings on the Blades
- Vestas IntelliLight™
- Vestas Bat Protection System

#### ANNUAL ENERGY PRODUCTION



**Assumptions**  
 One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor =2,  
 Standard air density = 1.225, wind speed at hub height



# Ensuring Business Case Certainty.

---

Our business depends on your success. We are committed to delivering maximum certainty on the revenue and costs of your wind farm.

---





Vestas Wind Systems A/S  
Hedeager 42 . 8200 Aarhus N . Denmark  
Tel: +45 9730 0000 . Fax: +45 9730 0001  
vestas@vestas.com . [vestas.com](https://www.vestas.com)

**© 2021 Vestas Wind Systems A/S. All rights reserved.**

This document was created by Vestas Wind Systems A/S on behalf of the Vestas Group and contains copyrighted material, trademarks and other proprietary information. This document or parts thereof may not be reproduced, altered or copied in any form or by any means without the prior written permission of Vestas Wind Systems A/S. All specifications are for information only and are subject to change without notice. Vestas Wind Systems A/S does not make any representations or extend any warranties, expressed or implied, as to the adequacy or accuracy of this information. This document may exist in multiple language versions. In case of inconsistencies between language versions the English version shall prevail. Certain technical options, services and wind turbine models may not be available in all locations/countries.

THE ENERCON 2 MW PLATFORM

# E-103 EP2 \_ 2.35 MW

Smart. Efficient. Versatile.



[enercon.de/e103-ep2](http://enercon.de/e103-ep2)



 **ENERCON**  
ENERGY FOR THE WORLD

# E-103 EP2\_ 2.35 MW

## The ENERCON expert for low wind sites in the 2 MW platform

In terms of efficiency and performance, ENERCON is now providing the ideal turbine in the 2 MW segment for low wind inland sites with the new E-103 EP2 / 2 350 kW turbine. Thanks to its larger rotor diameter and higher hub height, wind resources at low wind sites are utilized to the fullest generating an additional annual yield gain of up to 10% in comparison with the E-92.

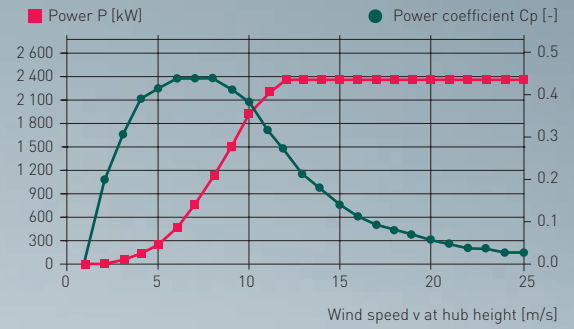
### Technical Details

- ~ Rated power: 2 350 kW
- ~ Rotor diameter: 103 m
- ~ Hub height: 85 / 98 / 108 / 125 / 138 m
- ~ Wind class (IEC): IEC/EN IIIA
- ~ Rotational speed: variable, 5 - 15 rpm
- ~ Cut-out wind speed: 28 - 34 m/s

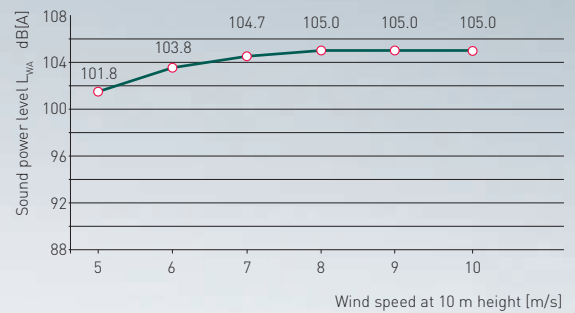
### Rotor blade

- ~ Innovative aerodynamic design for maximum yield in the low wind range
- ~ Significant reduction of sound emissions by using Trailing Edge Serrations (TES)
- ~ Yield optimized flat-back profile
- ~ Excellent lightning protection system
- ~ Minimal structural loads

Calculated power curve E-103 EP2 / 2.35 MW\*



Sound power level E-103 EP2 / 2.35 MW - 138 m hub height\*



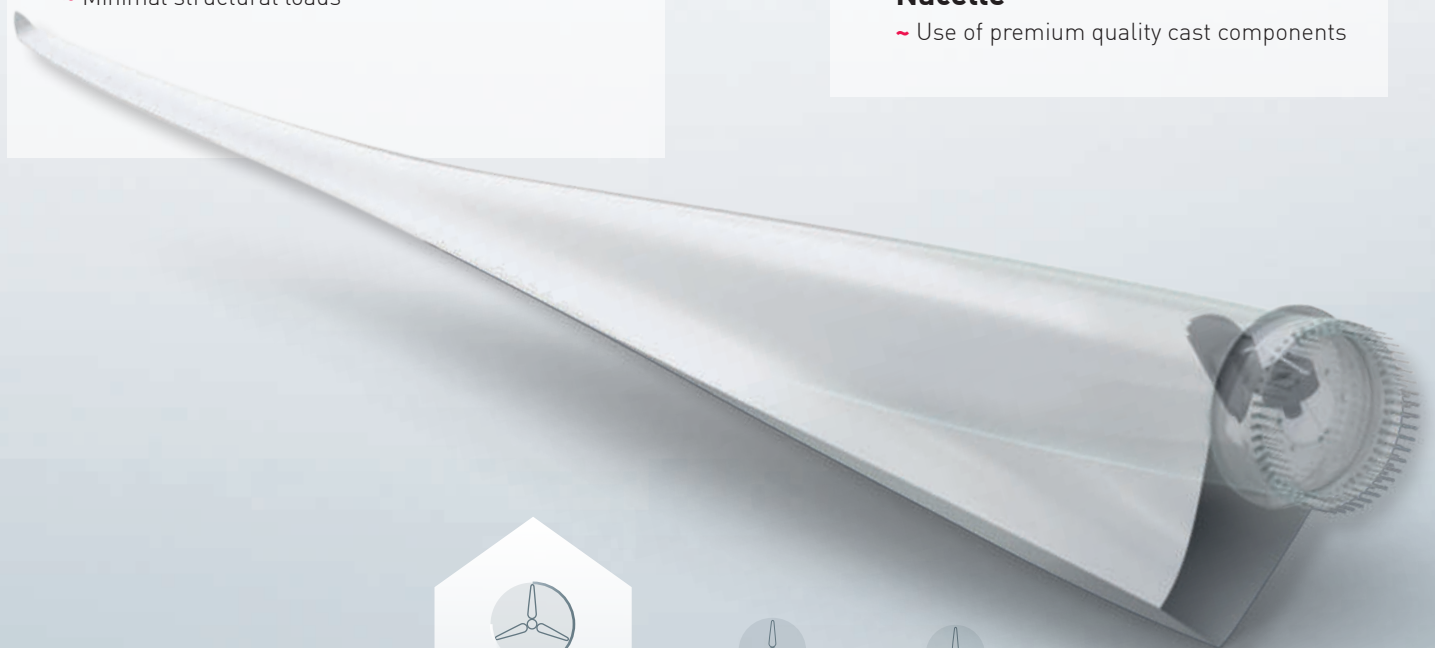
\* The above information is without obligation. The information on the official data sheets apply (available from ENERCON Sales).

### Generator

- ~ Advanced cooling concept
- ~ No use of rare earth elements
- ~ Time-tested drive technology

### Nacelle

- ~ Use of premium quality cast components



2 MW  
PLATFORM



**E-103 EP2**  
Ø 103 m  
IEC IIIa



**E-92**  
Ø 92 m  
IEC IIa



**E-82**  
Ø 82 m  
IEC Ia + IIa



GE Renewable Energy

A POWERFUL TURBINE

# GE's 3.2-103



[www.ge.com/wind](http://www.ge.com/wind)

Since entering the wind industry in 2002, GE Renewable Energy has invested more than \$2 billion in next-generation wind turbine technology to provide more value to customers—whether at the turbine, plant or grid level. Through the use of advanced analytics, GE Renewable Energy is redefining the future of wind power, delivering with proven performance, availability and reliability. With the integration of big data and the industrial internet, we can help customers manage the variability that comes with this resource for smooth, predictable power. Our onshore product portfolio includes wind turbines with rated capacities from 1.6-3.4 MW and flexible support services that range from basic operations and maintenance to farm- or fleet-level enhancements.

For more information visit our website:  
[www.ge.com/wind](http://www.ge.com/wind)

## GE's 3.2-103...A Powerful Turbine

GE's 3.2-103 brilliant wind turbine generates an impressive amount of energy for medium-to-high wind speed sites. Building on the exceptional performance of the 2.5 MW fleet, GE's 3.2-103 wind turbine provides a 5% increase in energy output, with the same reliable performance as the 2.85-103. With towers for hub heights ranging 70 to 98 meters, the 3.2-103 helps wind developers generate higher annual energy production, even in tip height constrained sites.

As a brilliant turbine, the 3.2-103 utilizes the power of the Industrial Internet to help manage the variability of wind, providing smooth, predictable power. By analyzing tens of thousands of data points every second, the 3.2-103 integrates energy storage and advanced forecasting algorithms while communicating seamlessly with neighboring turbines, service technicians and operators.

## Building Upon Proven Performance

With an installed global fleet of over 25,000 units, GE's technology runs at 98%+ availability. Together with GE's tailored customer service options, GE can enhance the value of the assets over their lifetime and reduce the cost of electricity for our customers.

As one of the world's leading wind turbine suppliers, GE provides an evolutionary wind turbine product portfolio and support services extending from development assistance to operation and maintenance for the successful implementation of projects. This creditable track record supports customers with the financeability of their wind projects.

## A Proven Track Record of Delivering Reliable Power Efficiently

Sharing the experience from over 1,200 operating 2.5 MW turbines, GE's 3.2-103 is based on this proven platform. The 3.2-103 wind turbine is engineered to meet certification requirements for IEC Wind Class II environments. GE's patented loads control system proactively measures stress during operation. The individually adjustable blade pitch system from GE is used to operate the unit for high-energy generation. The GE power converter system efficiently converts the produced energy into the grid, enhancing the annual energy production. With over 25,000 wind turbines in operation, GE has the worldwide reputation to meet the strictest grid requirements and deliver reliable energy into the grid.

Focusing on performance, reliability and efficiency, GE's 3.2-103 wind turbine will provide high customer value through evolutionary engineering.

## Product Features

GE's 3.2-103 offers the following technical features:

- 103-meter rotor diameter
- 50/60 Hz
- Towers supporting hub heights from 70- to 98-meters
- 105 dB(A) standard sound power level
- Optional integrated battery storage

## GE's 3.2-103...Integrated Energy Storage

GE is redefining the future of wind power by harnessing the power of the Industrial Internet with GE's advanced wind technology. By integrating a GE Energy Storage solution at the turbine level and pairing it with advanced forecasting algorithms, power producers are able to drive higher output and create new revenue streams for wind operators.

GE's engineers have created three battery-enabled software applications that integrate seamlessly with the wind turbine to provide enhanced wind power availability. Wind developers and operators can select the application or combination of applications that best suits individual site needs.

- **Ramp Control.** Today, when wind speed increases quickly, the grid cannot always absorb the extra wind power produced. GE's Ramp Control App allows the brilliant turbine to capture "wasted" wind power and store it in the battery, meaning operators can capture revenue previously left on the table.
- **Predictable Power.** Power producers must be able to provide consistent and predictable power to the grid, but the variability of wind can make smooth grid integration challenging. The Predictable Power App allows the brilliant turbine to smooth out the short-term peaks and valleys in wind power and make it predictable over periods of 15-60 minutes.
- **Frequency Regulation.** Power demand changes throughout the day, and grid operators must keep up with its constant fluctuation. Grid operators look to power producers to respond rapidly to keep the grid balanced. The Frequency Regulation App allows wind farms to store energy in the battery and respond immediately to load changes with precision.

## Tailor-Made Service Solutions

A flexible service agreement is offered on GE's 3.2-103. Enhance turbine operating performance and life by adding predictive condition monitoring services, unplanned maintenance with advanced services and up tower repairs, as well as options for turbine performance and life extension enhancement. Under this comprehensive package GE provides the customer with high-level performance. For customers that prefer to manage the O&M of their assets in another type of structure, flexible options to support our customers are available:

- Service support
- 24/7 Remote control
- Upgrades packages
- Performance improvements
- Spare part centres
- Lifetime extension

**We have 1,000+ service professionals—available to you 24/7.**

A POWERFUL TURBINE



TORQUE

# MAKING RENEWABLES THE ENERGY OF CHOICE FOR A CLEANER FUTURE

[www.ge.com/wind](http://www.ge.com/wind)

DIGITAL WIND FARM

WindSCADA™

CONNECTED MACHINES

YAW

INDUSTRIAL INTERNET

\*Trademark of General Electric Company

Copyright © 2015 General Electric Company. All rights reserved.

GEA30908D (11/2015)



## **Annexe 7 : Etudes d'expertises**

ETUDE D'IMPACT RADAR MILITAIRE

Décembre 2021

# PROJET EOLIEN DE FORTEL-VILLERS



# Radars Impact Assessment

BORALEX SAS

Fortel Bonnières Extension

August, 2018



## PLANNING SOLUTIONS FOR:

- Solar
- Defence
- Airports
- Telecoms
- Buildings
- Radar
- Railways
- Wind
- Mitigation

[www.pagerpower.com](http://www.pagerpower.com)

## ADMINISTRATION PAGE

Job Reference:	9249A
Date:	July, 2018
Prepared for:	BORALEX SAS
Author:	Danny Scrivener
Telephone:	+44 (0)1787 319001
Email:	danny@pagerpower.com

Reviewed By:	Kai Frolic
Second Reviewer	Mike Watson
Date:	July, 2018
Telephone:	+44 (0)1787 319001
Email:	kai@pagerpower.com

Issue	Date	Detail of Changes
1	July, 2018	Initial issue
2	August, 2018	Minor amendments

*Confidential: The contents of this document may not be disclosed to others without permission. Copyright ©  
Pager Power Limited 2018*

*Pager Power Limited, South Suffolk Business Centre, Alexandra Road, Sudbury CO10 2ZX*

*T: +44 (0)1787 319001 E: [info@pagerpower.com](mailto:info@pagerpower.com) W: [www.pagerpower.com](http://www.pagerpower.com)*

## EXECUTIVE SUMMARY

### Overview

BORALEX SAS is proposing an extension to an existing wind farm known as Fortel Bonnières. The existing wind farm in the area consists of a total of nine wind turbines and a further nine turbines are proposed as part of the extension. The development is located west of Bonnières in the Pas de Calais department in north eastern France and the wind turbines will have a maximum blade tip height of 135m above ground level (agl).

The Ministère de la Défense radar at Lucheux Air Base is located approximately 17.2km south east of the proposed wind farm extension. Pager Power has been appointed by the developer to undertake an impact assessment to determine whether a technical impact is expected, its significance and to provide recommendations for next steps.

### Analysis Results

All of the proposed extension wind turbines will be significantly visible and detectable to the radar at Lucheux Air Base. Technical impacts therefore include:

- Potential for radar clutter.
- Signal attenuation in the immediate shadow of the wind farm.

With reference to the military requirements for windfarms, it has been shown that:

- The proposed extension exceeds the angular width defined by the military; however
- Existing turbines within the area already exceed the angular width.
- The proposed extension wind turbines do not extend the angular width already affected by the existing wind turbines<sup>1</sup>.
- The 5-degree separation requested by the military between wind farms is not applicable because the proposed extensions turbines can be considered as part of the existing wind development.

The reasons that these effects could be tolerable include:

- A number of wind developments in the area are likely to already have a technical impact upon the Lucheux radar.
- Losses within the shadow zone will be approximately twice as high as they are now. However, the dimensions of the combined shadow zones associated with the proposed extension and existing wind developments will be similar to the existing shadow zone associated with the existing wind turbines.
- The distance of the proposed extension wind turbines from the radar – particularly relative to existing wind developments which are closer to the radar.

---

<sup>1</sup> Assuming turbine EO1 is moved westerly as suggested.

- The angular width of the proposed extension from the radar's perspective, which in isolation would exceed the limit of the zone specified by the French military. However, considering the existing wind developments in the area, the currently affected sectors remain unchanged.

### Overall Conclusions

Overall, the proposed Fortel Bonnières Extension is unlikely to have a significant additional technical impact upon the radar at Luceux Air Base. Therefore no operational impact is expected.

### Recommendations

Further engagement with the Ministère de la Défense is recommended to confirm their position.

## LIST OF CONTENTS

Administration Page .....	2
Executive Summary .....	3
Overview.....	3
Analysis Results .....	3
Overall Conclusions .....	4
Recommendations.....	4
List of Contents .....	5
List of Figures .....	7
List of Tables .....	7
About Pager Power .....	9
1    Introduction .....	10
1.1    Overview.....	10
1.2    Co-Ordinates.....	10
2    Wind Farm Details.....	11
2.1    Overview.....	11
2.2    Proposed Turbine Dimensions .....	11
2.3    Proposed Turbine Co-Ordinates .....	11
2.4    Existing Turbine Co-Ordinates .....	12
2.5    Wind Farm Locations.....	13
3    Radar Details .....	14
3.1    Radar Location .....	14
3.2    Lucheux Radar Details.....	15
3.3    Radar and Wind Farm Location .....	16
4    Radar Interference.....	17
4.1    Overview.....	17
4.2    Interference .....	17
5    Guidance.....	19

5.1	French Military.....	19
5.2	Eurocontrol.....	19
5.3	Industry Best Practice.....	20
6	Assessment.....	21
6.1	Methodology.....	21
6.2	Radar Line of Sight Analysis.....	21
6.3	Additional Screening.....	23
6.4	Radar Detectability Analysis.....	23
6.5	Shadow Zones.....	25
6.6	Attenuation Calculations.....	29
6.7	Affected Sector.....	32
6.8	Angular Separation.....	34
7	Cumulative Assessment.....	35
7.1	Importance.....	35
7.2	French Military Criteria - Cumulative.....	35
7.3	Existing Environment.....	35
8	Operational Impact Assessment.....	39
8.1	Overview.....	39
8.2	Operational Impact Assessment.....	39
8.3	Overall Radar Impact Assessment - Incremental.....	39
9	Overall Conclusions.....	40
9.1	Analysis Results.....	40
9.2	Overall Conclusions.....	40
9.3	Recommendations.....	40
	Appendix A – Terrain Based Analysis.....	42
	Terrain Based Analysis - Overview.....	42
	Appendix B – Radar Analysis – General Principles.....	44
	Overview.....	44
	Overall Radar Height.....	45
	Earth Curvature.....	45



Radar Signal Refraction.....	45
Appendix C – Earth Curvature / Refractive Constant.....	46
Appendix D – Attenuation Calculations.....	48

## LIST OF FIGURES

Figure 1 Wind farm location – proposed and existing .....	13
Figure 2 Radar location.....	14
Figure 3 Radar and wind farm location.....	16
Figure 4 PSR recommended ranges (Eurocontrol) .....	20
Figure 5 Radar line of sight chart – EO1.....	22
Figure 6 Radar detectability chart – EO1.....	24
Figure 7 Shadowing illustration.....	25
Figure 8 Indicative shadow zones.....	27
Figure 9 Indicative shadow zones – zoomed .....	28
Figure 10 Diffraction loss calculation sheet .....	30
Figure 11 Cumulative picture (aviation chart).....	36
Figure 12 Cumulative picture (aerial imagery) .....	37

## LIST OF TABLES

Table 1 Proposed development extension wind turbine details .....	11
Table 2 Existing wind turbine details .....	12
Table 3 Lucheux radar location details.....	14
Table 4 Lucheux radar details.....	15
Table 5 Radar detectability results (bare-earth) .....	23
Table 6 Diffraction losses per turbine .....	29
Table 7 Diffraction losses – average.....	29
Table 8 Diffraction losses per turbine – cumulative.....	31
Table 9 Affected sector – existing wind farm.....	32

Table 10 Affected sector – proposed wind farm..... 32  
Table 11 Affected sector – difference between proposed and existing wind farm..... 33  
Table 12 Recommended location for turbine EO1 ..... 34

## ABOUT PAGER POWER

Pager Power is a dedicated consultancy company based in Suffolk, UK. The company has undertaken projects in 44 countries within Europe, Africa, America, Asia and Australia.

The company comprises a team of experts to provide technical expertise and guidance on a range of planning issues for large and small developments.

Pager Power was established in 1997. Initially the company focus was on modelling the impact of wind turbines on radar systems. Over the years, the company has expanded into numerous fields including:

- Renewable energy projects.
- Building developments.
- Aviation and telecommunication systems.

Pager Power prides itself on providing comprehensive, understandable and accurate assessments of complex issues in line with national and international standards. This is underpinned by its custom software, longstanding relationships with stakeholders and active role in conferences and research efforts around the world.

Pager Power's assessments withstand legal scrutiny and the company can provide support for a project at any stage.

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Overview

BORALEX SAS is proposing an extension to an existing wind farm known as Fortel Bonnières. The existing wind farm in the area consists of a total of nine wind turbines and a further nine turbines are proposed as part of the extension. The development is located west of Bonnières in the Pas de Calais department in north eastern France.

The Ministère de la Défense radar at Lucheux Air Base is located approximately 17.2km south east of the proposed development extension. An impact assessment has therefore been completed to determine whether an impact is possible and its significance. The analysis in this report includes:

- Radar Line of Sight Calculations;
- Radar Detectability Calculations;
- Geometric calculations in accordance with French radar safeguarding rules;
- Technical Radar Impact Prediction;
- Operational Impact Assessment – Air Traffic Control;
- Operational Impact Assessment – Air Defence;
- Overall Radar Impact Assessment – Incremental.

Following the analysis, overall conclusions and recommendations are made.

### 1.2 Co-Ordinates

All co-ordinates used within this report are in French Lambert93-RGF93 or WGS84 format.

## 2 WIND FARM DETAILS

### 2.1 Overview

The following section presents the wind turbine assessment details for the proposed wind farm.

### 2.2 Proposed Turbine Dimensions

A wind turbine with a rotor diameter of 103m, a hub height of 83.5m and an overall tip height of 135m has been assessed.

### 2.3 Proposed Turbine Co-Ordinates

The nine possible additional wind turbine locations are presented in Table 1 below.

Turbine	Longitude	latitude	Hub Height agl	Rotor Diameter	Tip Height agl
E01	2.2445188	50.269537	83.5m	103m	135m
E02	2.2428078	50.266716			
E03	2.2420377	50.263900			
E04	2.2186900	50.248517			
E05	2.2237164	50.247386			
E06	2.2252237	50.242949			
E07	2.2205362	50.240135			
E08	2.2245436	50.239360			
E09	2.2212526	50.236594			

Table 1 Proposed development extension wind turbine details

## 2.4 Existing Turbine Co-Ordinates

The nine existing wind turbine locations are presented in Table 2 below.

Turbine	Longitude	latitude	Hub Height agl	Rotor Diameter	Tip Height agl
Fortel-en-Artois E4	2.24925	50.26783	83.5m	103m	135m
Fortel-en-Artois E3	2.248222	50.26486			
Fortel-en-Artois E2	2.248583	50.26175			
Fortel-en-Artois E1	2.249361	50.25867			
Bonnières E7	2.233611	50.25033			
Bonnières E6	2.231500	50.24558			
Bonnières E5	2.230083	50.24194			
Bonnières E4	2.230806	50.23814			
Villers-l'Hôpital E3	2.233094	50.23447			

Table 2 Existing wind turbine details

## 2.5 Wind Farm Locations

The location of the proposed development extension and existing wind turbines are shown in Figure 1<sup>2</sup> below. The white turbine icons show the proposed wind turbines and the blue icons show the existing wind turbines.



Figure 1 Wind farm location – proposed and existing

<sup>2</sup> Source: © 2018 Google. Image © 2018 DigitalGlobe.

### 3 RADAR DETAILS

#### 3.1 Radar Location

The co-ordinates of the radar location are presented in Table 3 below.

<b>Location</b>	E660696 N7010978 Long 2.4501874° Lat 50.1956602°
-----------------	-----------------------------------------------------

Table 3 Lucheux radar location details

The radar location is shown in Figure 2<sup>3</sup> below.



Figure 2 Radar location

<sup>3</sup> Source: © 2018 Google. Image © 2018 DigitalGlobe.



### 3.2 Lucheux Radar Details

Table 4 below provides the details for the assessed Lucheux<sup>4</sup> radar location. All ground elevation data has been taken from Pager Power's database.

Radar	Primary Surveillance Radar (PSR)
Height of ground at the radar above mean sea level (amsl)	170.9m
Height of radar agl <sup>5</sup>	20.0m
Overall radar height above mean sea level	190.9m
Average distance between the turbines and radar	17.0km
Average grid bearing from radar to turbines	291.4°

Table 4 Lucheux radar details

<sup>4</sup> Also referred to as the Doullens radar.

<sup>5</sup> Based on a review of available imagery, 20m agl appears to be a suitable estimate. This could be confirmed through consultation and updated if required.

### 3.3 Radar and Wind Farm Location

The location of radar relative to the proposed development extension and existing wind turbines is shown in Figure 3 below<sup>6</sup>.

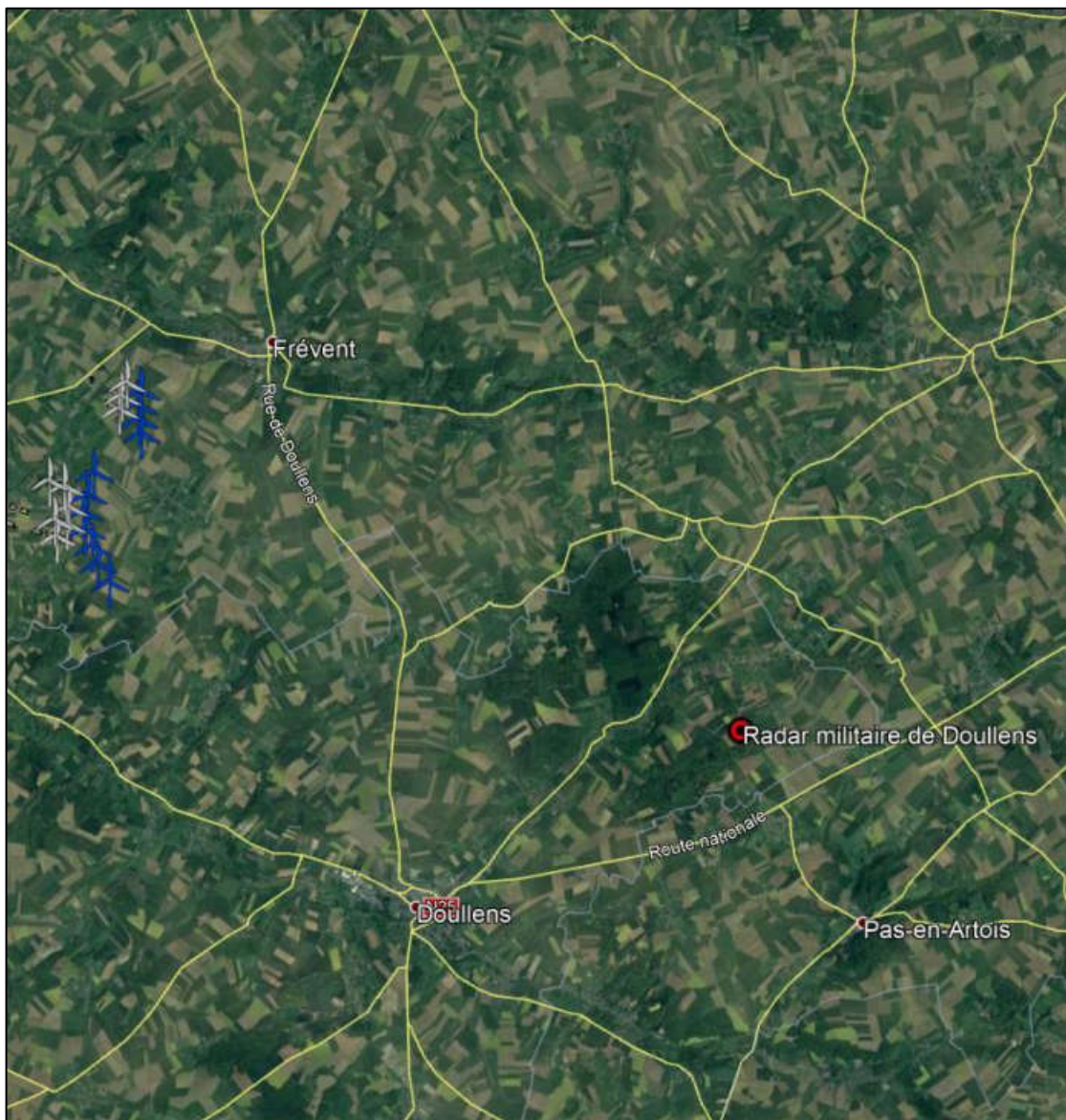


Figure 3 Radar and wind farm location

---

<sup>6</sup> Source: © 2018 Google. Image © 2018 DigitalGlobe.

## 4 RADAR INTERFERENCE

### 4.1 Overview

Primary Surveillance Radar works by emitting a powerful radio signal from a rotating antenna. These signals are reflected by aircraft, the reflected signal is detected by the radar antenna.

The bearing of the aircraft can be determined based on the direction the radar is facing when the signal is received. The distance of the aircraft can be determined based on the time taken for the reflected signal to reach the radar antenna.

In this way, aircraft can be detected at great distances, in poor weather conditions (such as fog) and in darkness.

### 4.2 Interference

An overview of the various possible interference mechanisms is presented in the following subsections.

#### 4.2.1 Clutter

Aircraft reflect radar signals because they are large structures with reasonably flat surfaces. However, other large structures can also reflect radar signals the same way. This includes buildings, road vehicles and wind turbines. Since PSR detects reflections of its own emitted signal, the reflection itself does not contain information about the target. This makes PSR a 'non-cooperative' system, because it can detect targets that are not fitted with a transponder.

The radar operator is typically only interested in aircraft. Reflections from other structures are unwanted because if they appear on the radar display, they could be mistaken for an aircraft. The appearance of unwanted targets on a radar display is known as 'radar clutter' or simply 'clutter'<sup>7</sup>.

Reflected signals from a moving target undergo a frequency shift, caused by Doppler effects. Most PSR systems have a filter that ensures static targets are not displayed on the radar screen as clutter. Wind turbines have large moving rotors, which can 'defeat' these filters and result in wind turbines appearing on a radar screen when a static structure in the same place would not.

#### 4.2.2 Shadowing

Radar signals are weakened by physical obstacles. The most significant signal blocking is often caused by terrain. Large obstructions within a radar's area of coverage can have a 'shadowing' effect, reducing the signal strength immediately behind them.

This effect is most pronounced immediately behind the structure and becomes less pronounced with distance. This is important because it means a structure's 'shadow' does not block radar

---

<sup>7</sup> Also known as 'false returns'.

coverage indefinitely, and the areas with the highest losses should be considered in an operational context.

This also means however that additional wind turbines could be placed in the shadow of an existing turbine, thus reducing its overall impact upon the radar.

#### **4.2.3 Other Interference Mechanisms**

There are other factors that can require consideration under certain conditions<sup>8</sup>. The two mechanisms described above are applicable in this case and have been assessed within this report.

---

<sup>8</sup> For example desensitisation or electrical emissions.

## 5 GUIDANCE

### 5.1 French Military

The French military has parameters for assessing wind farm development, which specify the following is preferable:

- Wind turbines to be contained within a 1.5 degree sector horizontally, from the radar's perspective. It is understood that this criterion includes the turbine blade length.
- Adjacent wind farms to be separated by 5 degrees horizontally. It is understood that, in this case, the existing wind farms are likely considered as one wind development relative to the radar.

### 5.2 Eurocontrol

Eurocontrol is an international organisation composed of Member States from the European Region. Eurocontrol has produced a document titled *Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors* (Latest edition at the time of writing this report is Edition 1.2 dated 2014). Eurocontrol states that:

*'This document provides an approach based on an early and constructive dialogue promoting reciprocal transparency between Air Navigation Service Providers (ANSP) and wind energy developers to maintain the necessary levels of safety and efficiency of surveillance Air Traffic Services whilst supporting the development of wind energy.'*

Within the guidelines it is stated that:

*'The objective of this document is to provide a concise and transparent reference guide for both ANSPs and Wind Energy developers when assessing the impact of wind turbines on ATC surveillance systems.'*

### 5.2.1 Relevant Sections

A full review of the guidance is not presented within this report. Figure 4 below shows the assessment criteria within the Eurocontrol guidelines.

Zone	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Description	0 - 500 m	500 m - 15 km and in radar line of sight	Further than 15 km but within maximum instrumented range <b>and in radar line of sight</b>	Anywhere within maximum instrumented range but <b>not in radar line of sight</b> or outside the maximum instrumented range.
Assessment Requirements	Safeguarding	Detailed assessment	Simple assessment	No assessment

Figure 4 PSR recommended ranges (Eurocontrol)

The maximum instrumented range for the Lucheux radar is not known, however a typical value would be 60 nautical miles (>110 km). The proposed wind farm will be within the radar's instrumented range.

Based on the Eurocontrol guidelines, the proposed Fortel Bonnières Extension would require a 'Simple Assessment' because it is within the radar's instrumented range, within radar line of sight but beyond 15 kilometres from the radar. This report presents a detailed assessment in order to be comprehensive.

### 5.3 Industry Best Practice

In cases where radar concerns are raised for a wind farm, it is advisable to take the following approach:

- Determine whether the wind turbines will have a technical impact on the radar. If there is no technical impact, there can be no adverse consequences for the radar performance.
- If there is a technical impact, this must be evaluated operationally. For example, understanding whether a reduced probability of detection would occur in a critical area or not. In some cases, a technical impact can be tolerated because it does not affect operations in practice.

If there is a technical impact that is operationally significant, mitigation options must be explored.

## 6 ASSESSMENT

### 6.1 Methodology

The approach taken within this report is presented in the following section.

#### 6.1.1 Technical Assessment

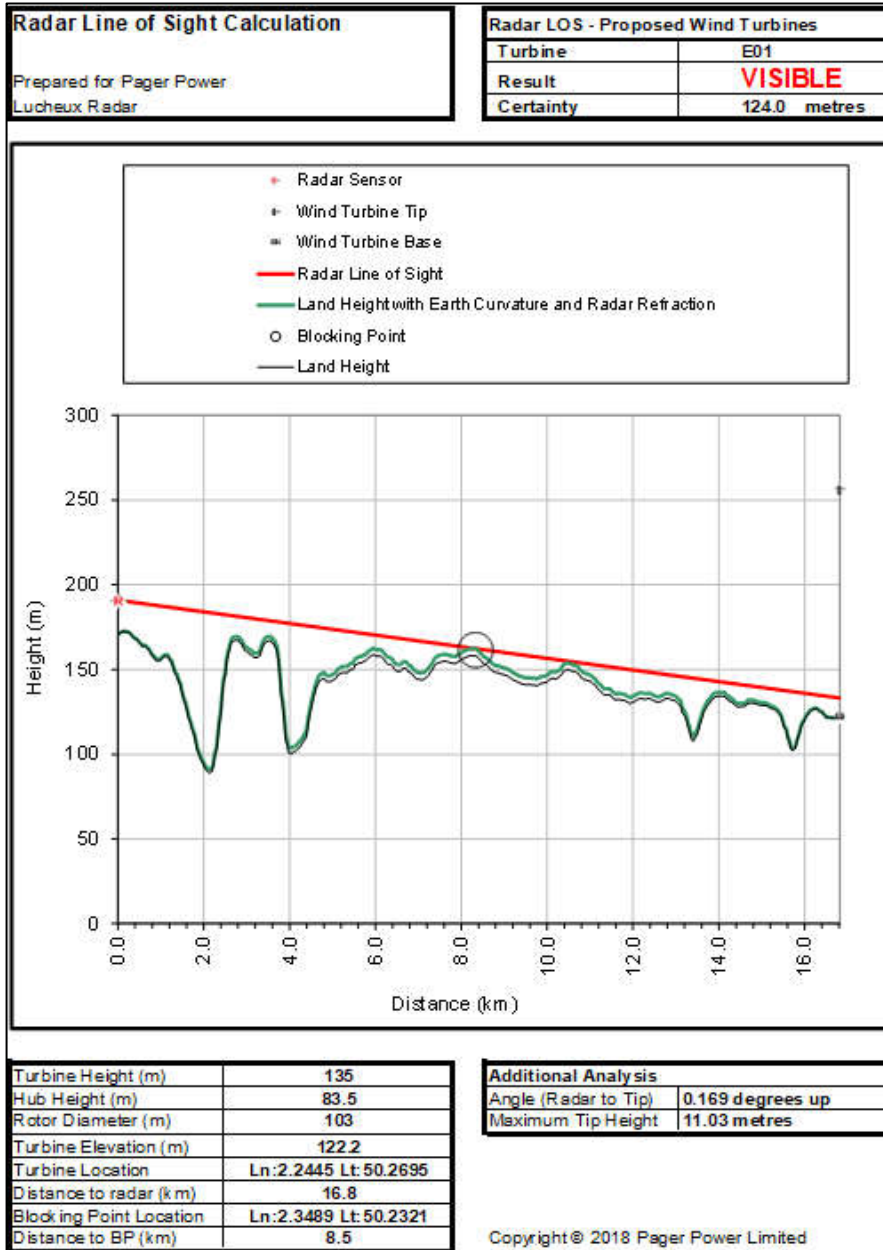
- Radar line of sight assessment for the proposed wind turbines.
- Radar detectability analysis for the proposed wind turbines.
- Shielding assessment – to determine whether existing buildings and/or landscape features would hide the turbines from the radar.
- Shadow zones for the proposed wind turbines.
- Attenuation calculation 1 km beyond the proposed wind turbines.

#### 6.1.2 Cumulative Assessment

- Assessment of the predicted impact in the context of the existing environment has been undertaken.

### 6.2 Radar Line of Sight Analysis

A radar line of sight assessment was completed for both the existing and proposed development extension turbine locations. The analysis results showed that all proposed and existing wind turbines would be or already are significantly visible to the Lucheux radar. Figure 5 on the following page shows the line of sight chart for EO1 of the proposed development extension. All charts can be provided upon request. Information regarding the methodology can be found in Appendices A-C.



The figure shown in the box labelled 'certainty' provides the distance (in metres) by which the turbine is or is not within line of sight to the assessed radar.

If the figure is negative, then turbine is hidden from the radar by the number of corresponding metres.

If the figure is positive, then the turbine is visible to the radar by the number of corresponding metres.

Figure 5 Radar line of sight chart - E01



### 6.3 Additional Screening

The modelling described in the sections above accounts for the intervening terrain. It does not account fully for additional obstructions on the ground along the radar line of sight e.g. buildings.

A review of the line of sight profile for each existing and proposed wind turbine was completed to determine whether existing additional screening was available which would significantly reduce the visibility of the wind turbine to the Lucheux radar.

The results showed that there is no additional screening which would make a significant difference to the overall visibility for the existing or proposed development extension wind turbines.

### 6.4 Radar Detectability Analysis

Radar detectability analysis determines the likelihood of detection for a turbine based on:

- The radar type and technical parameters<sup>9</sup>.
- Diffraction losses<sup>10</sup> from terrain.
- Free space path losses.
- Turbine dimensions.

Table 5 below shows the results of the detectability analysis (bare-earth case<sup>11</sup>) for the proposed development extension wind turbines.

Turbine	Result
EO1- EO9	Highly likely to be detected.

Table 5 Radar detectability results (bare-earth)

All of the proposed wind turbines are highly likely to be detectable to the radar. This means that the proposed development extension is highly likely to introduce sources of clutter to the radar operator's screen.

Figure 6 on the following page shows the radar detectability result for EO1 of the proposed development extension. The remaining charts can be provided on request, they are similar in each case.

<sup>9</sup> Where necessary, typical values have been selected. The analysis has assumed an S-band PSR with zero tilt.

<sup>10</sup> Based on a modified Bullington model as recommended within ITU R 526-13.

<sup>11</sup> Terrain data is sourced from SRTM, which is not a true DTM but does not fully incorporate man-made obstructions.

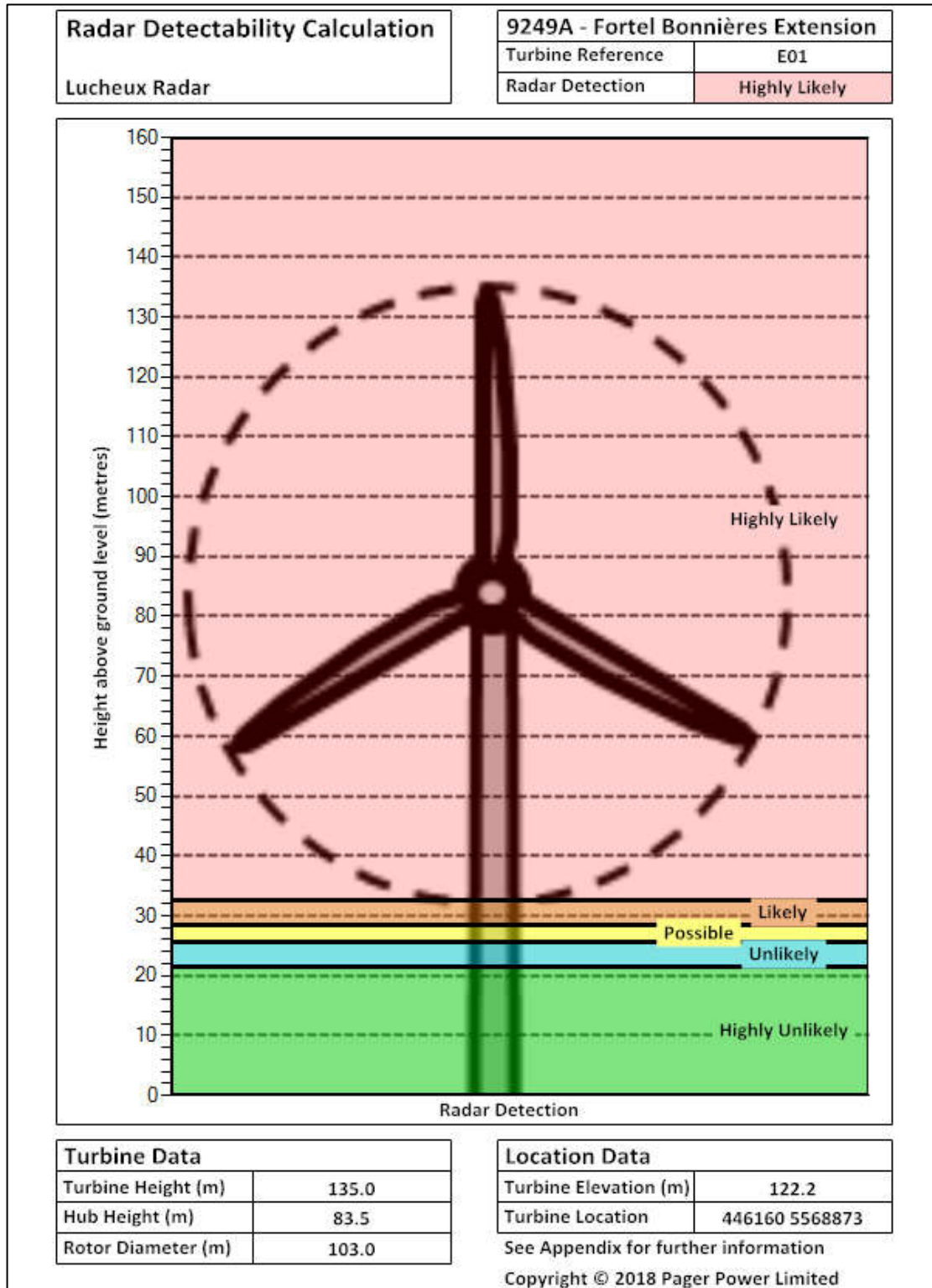


Figure 6 Radar detectability chart - E01

## 6.5 Shadow Zones

The probability of detection for a target (such as a small aeroplane) is decreased in the immediate shadow of an obstruction.

It is important to consider predicted level of attenuation in the shadow zone.

The shadow can be projected out to any distance. In practice, due to diffraction effects, the level of attenuation diminishes with distance beyond the obstruction. This is shown in Figure 7 below, which is now drawn to scale but illustrates the concept.

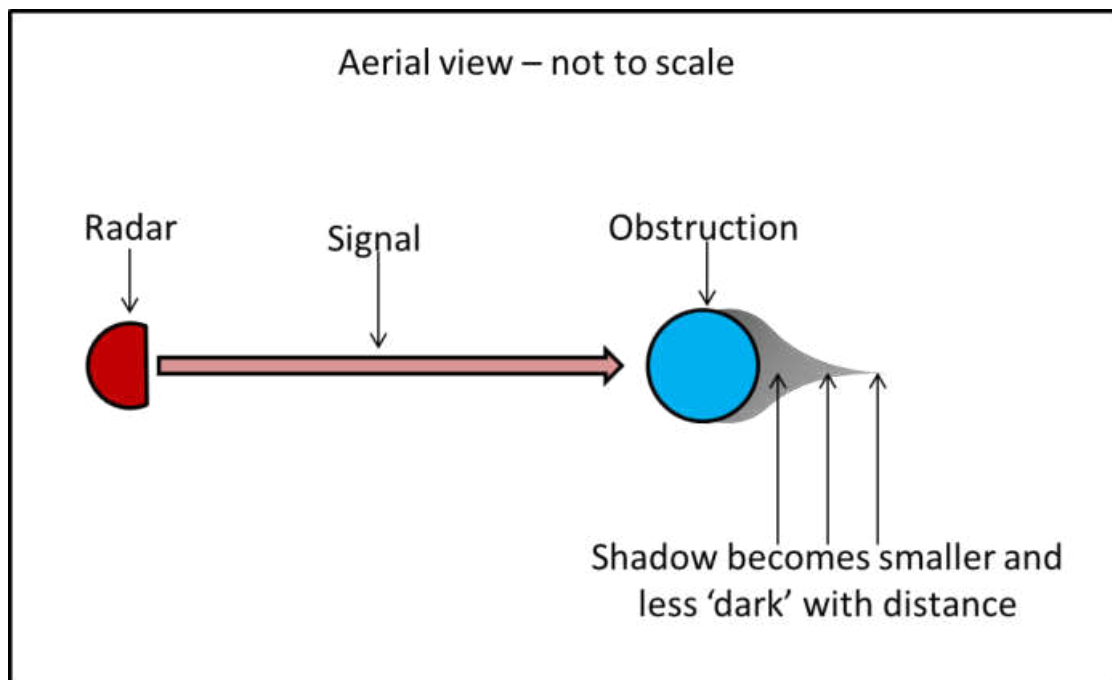


Figure 7 Shadowing illustration

Shadowing will be most significant in line with the obstruction centre and at close range. The most significant portion of the turbine with regard to shadowing is the tower. This is because the tower is the densest part of the turbine structure, it is also static meaning the shadow is constantly in place.

The shadow zones associated with the turbines have been modelled based on rectangular sides (as opposed to tapered ones), with a width defined by the turbine tower<sup>12</sup>.

The shadow altitude is calculated based on a projection from the top of the turbine tower, accounting for earth curvature and radar refraction.

<sup>12</sup> This is the width of each individual shadow zone.

The maximum shadow altitude for any of the proposed turbines would be approximately 300 metres above mean sea level. The value depends on the distance to the turbine and its elevation above mean sea level. Figure 8 on the following page shows indicative shadow zones to a distance of approximately 4.8-5km<sup>13</sup>. The shadows of the existing turbines are shown as blue. The additional shadow caused by the proposed wind farm is shown as a green dashed line.

---

<sup>13</sup> Depending on the turbine.

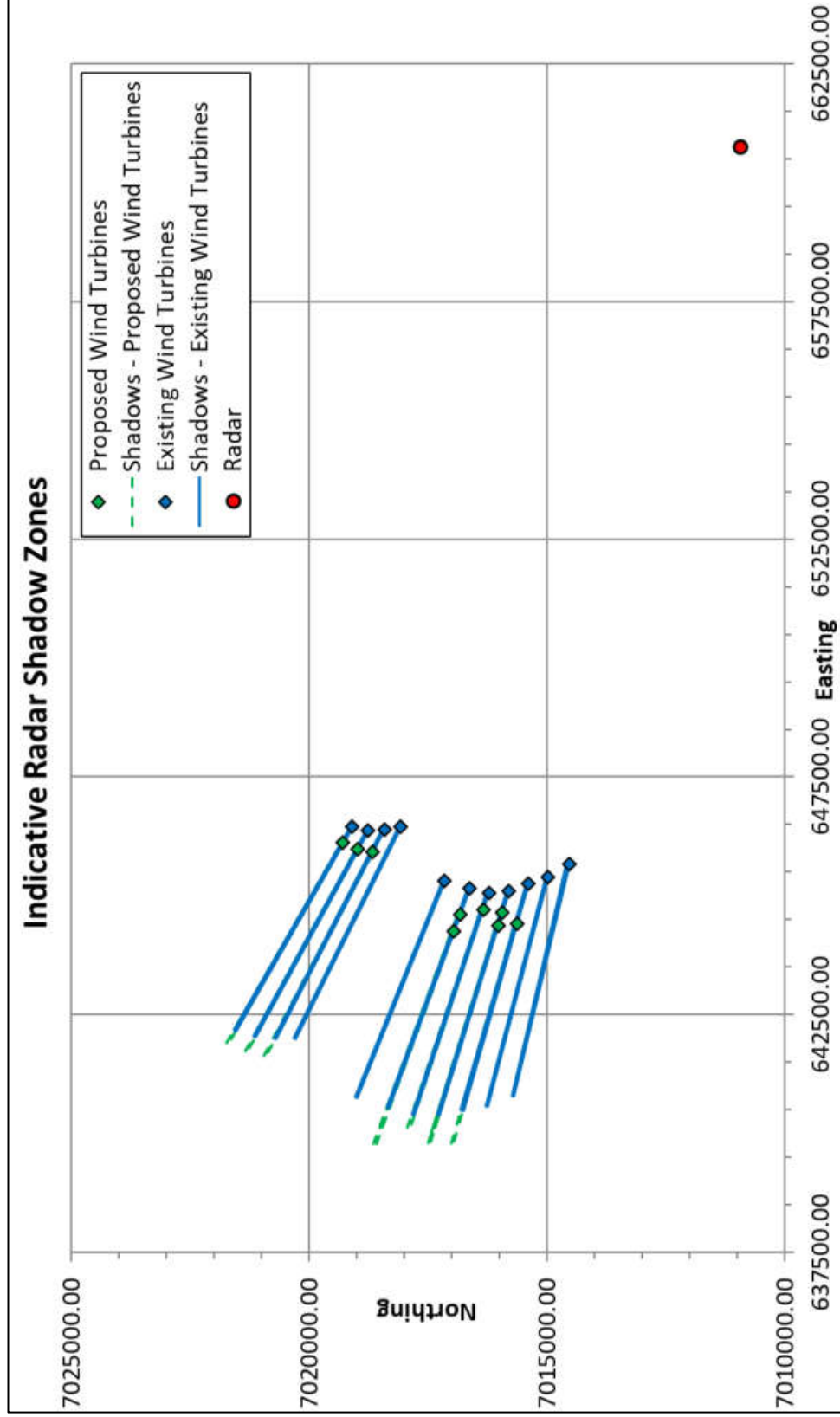


Figure 8 Indicative shadow zones

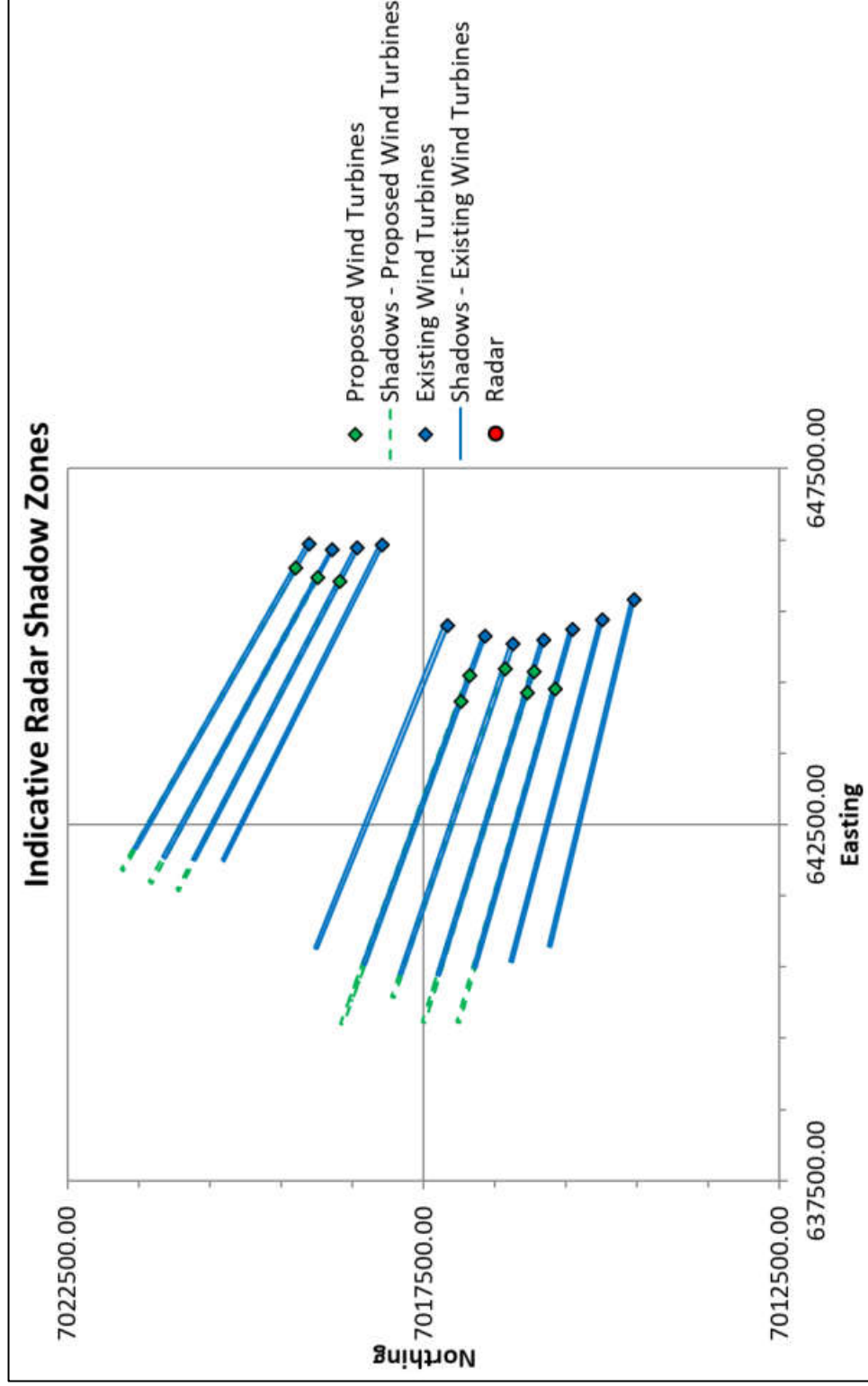


Figure 9 Indicative shadow zones - zoomed

## 6.6 Attenuation Calculations

The diffraction losses have been calculated in the turbine shadow at 1 km beyond the turbines at an altitude of 250 metres above mean sea level.

These calculations have been carried out in accordance with the International Telecommunications Union document ITU-R P526-13 - specifically the methodology for a finite width screen. Of the methods set out within this ITU document, this is the most appropriate approximation.

This model assumes a flat earth. This is appropriate as this calculation relates to a scenario where the wind turbine is the only obstruction of the signal. The calculation returns two decibel loss values, these are a minimum and an average loss. A maximum value is not returned. This analysis has considered the average loss value.

Table 6 below shows the results of the diffraction loss calculations for each turbine.

Turbines	Average loss (dB)
E01	6.36
E02	6.57
E03	6.63
E04	6.55
E05	6.62
E06	6.69
E07	6.69
E08	6.70
E09	6.68

Table 6 Diffraction losses per turbine

Table 7 below shows the average loss considering all turbines.

Turbines	Average loss (dB)
E01 - E09	6.61

Table 7 Diffraction losses - average

Figure 10 on the following page shows the calculation sheet for E01. All calculation sheets are provided in Appendix E.

Diffraction Loss Calculation			
Turbine	E01		
Frequency (GHz)	3		
Wavelength (m)	0.099931		
		1	2
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	16818.53	16818.53	16818.53
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000
Height of blocking point (m)	10.5	3	3
	v	1.525836	0.436846
	J dB	16.91403	9.773126
	jv (Loss Factor)	7.009733	3.080749
Shielding Loss	Jmin(v)	2.027124	
	Jav(v)	6.36243	

Figure 10 Diffraction loss calculation sheet

The modelled scenario considers an aircraft at 250 metres above mean sea level – which is approximately 100 – 150 metres above ground level at 1 km beyond the proposed wind turbines. The airspace at the windfarm location is uncontrolled, however it is likely that there will be a greater horizontal and/or vertical clearance than this in practice. The assessment is considered conservative.

#### 6.6.1 Cumulative Attenuation Calculations

Where shadow zones of the proposed extension and existing wind turbines overlap, the potential losses will be increased. Cumulative attenuation calculations have been completed considering a tower<sup>14</sup> of exactly the same dimensions on exactly the same bearing to the radar. The results are presented in Table 8 below.

Turbines	Turbine in shadow of:	Average loss (dB)		
		Method 1	Method 2	Method 3
E01	FeA E4	11.05	15.76	15.76
E02	FeA E3	11.14	15.76	15.76
E03	FeA E2	10.99	15.53	15.53

<sup>14</sup> The loss calculation considers the tower only.



Turbines	Turbine in shadow of:	Average loss (dB)		
		Method 1	Method 2	Method 3
E04 <sup>15</sup>	B E6	9.85	14.41	14.41
E05	B E6	10.74	15.29	15.29
E06	B E5	11.87	16.36	16.36
E07 <sup>16</sup>	B E4	10.57	14.94	14.94
E08	B E4	11.46	15.88	15.88
E09	B E3	10.38	14.73	14.73

Table 8 Diffraction losses per turbine – cumulative

Considering the three methodologies for determining cumulative signal attenuation, the results show that the average losses would be doubled (approximately) due to presence of the proposed extension. However, the area where the losses would occur would not increase significantly over the existing baseline. Note that signal losses would only ever be significant if an aircraft were to fly directly within the shadow.

<sup>15</sup> Note that E04 is also in line with E05. Only losses caused by the existing turbines has been modelled.

<sup>16</sup> Note that E07 is also in line with E08. As above.

## 6.7 Affected Sector

The position of the turbines relative to the radar will determine the potentially affected sectors. It has been established that all turbines have the potential to cause radar clutter, and all proposed turbines are located within the shadow of existing wind turbines.

The affected sectors are defined by the minimum and maximum bearing between the radar and the turbines however the existing wind turbines should be considered in conjunction with the proposed wind turbines.

Table 9 below summarises the affected sectors for the existing wind farm. Grid bearings are shown from the radar position.

Min. Grid Bearing (°)	Max. Grid Bearing (°)	Width of Sector – including blade length (°)	Min. turbine range (km)	Max. turbine range (km)
283.059 (Turbine B E1 including blades)	299.391 (Turbine FeA E4 including blades)	16.703	15.47 (Turbine B E1)	16.61 (Turbine B E7)

Table 9 Affected sector – existing wind farm

Table 10 below summarises the affected sectors for the proposed wind farm. Grid bearings are shown from the radar position.

Min. Grid Bearing (°)	Max. Grid Bearing (°)	Width of Sector – including blade length (°)	Min. turbine range (km)	Max. turbine range (km)
285.524 (Turbine EO9 including blades)	299.569 (Turbine EO1 including blades)	14.045	16.68 (Turbine EO3)	17.54 (Turbine EO4)

Table 10 Affected sector – proposed wind farm

Table 11 below summarises the difference between the existing and proposed wind developments.

Sector width difference between existing and proposed wind farms (°)	Min. grid bearing difference (°)	Max grid bearing difference (°)	Comment
+2.658	-2.465	+0.178	The existing wind farms cover a greater azimuth range compared to the proposed wind turbines. Turbine EO9 lies within the envelope of the existing turbines. Turbine EO1 lies just outside the envelope of the existing turbine by 0.178°

Table 11 *Affected sector - difference between proposed and existing wind farm*

The proposed turbines are located within an area that exceeds the French military requirement, which is understood to be up to 1.5 degrees however the existing turbines are also located within an area which exceeds this limit. The proposed wind farm is designed to minimise its impact by considering the location of the existing wind farm.

### 6.7.1 Recommendation

It is recommended that turbine EO1 is moved marginally westerly so that the turbine is within the bearing envelope created by the existing wind turbines. Recommended co-ordinates are presented in table 12 below.

Recommended location for turbine EO1	
Latitude	Longitude
50.269525	2.244509°

Table 12 Recommended location for turbine EO1

### 6.8 Angular Separation

The French military requirement for adjacent wind farms is that an angular separation of 5 degrees should be maintained. In the case of the Fortel Bonnières Extension, this criterion is not met however, the wind turbines have been designed to be located within the shadow of an existing wind farm. Therefore in this instance, whilst the proposed development extension would be considered a new source of clutter with respect to the French military safeguarding, it does not introduce a 'new' affected sector because of the existing turbines.

## 7 CUMULATIVE ASSESSMENT

### 7.1 Importance

It is common for safeguarding criteria to be constructed for individual developments. This simplifies the assessment process and can add clarity when determining acceptability. However, it is not always realistic to consider impacts of a development in isolation.

In the case of the Fortel Bonnières Extension and the Lucheux radar, the number of wind developments in the existing environment must be considered when evaluating the technical and operational significance of any predicted impact.

### 7.2 French Military Criteria – Cumulative

As noted in Section 6.8 of this report, the French military is understood to request a separation of 5 degrees horizontally between adjacent wind developments, which is a cumulative criterion.

The author of this report is not aware of specific guidance for the following cases:

1. Wind turbines that are constructed within the immediate shadow of an existing development.
2. Wind turbines proposed in areas where the 1.5 degree sector criteria have not been maintained.

Both of these scenarios apply to the Fortel Bonnières Extension.

### 7.3 Existing Environment

The area surrounding the proposed wind turbines contains multiple existing wind farms. Figure 11<sup>17</sup> on the following page illustrates this on an aviation chart for the area.

The x and y axes denote longitude and latitude respectively (in decimal degrees).

---

<sup>17</sup> Background image sourced from Geoportail, ©IGN, SIA

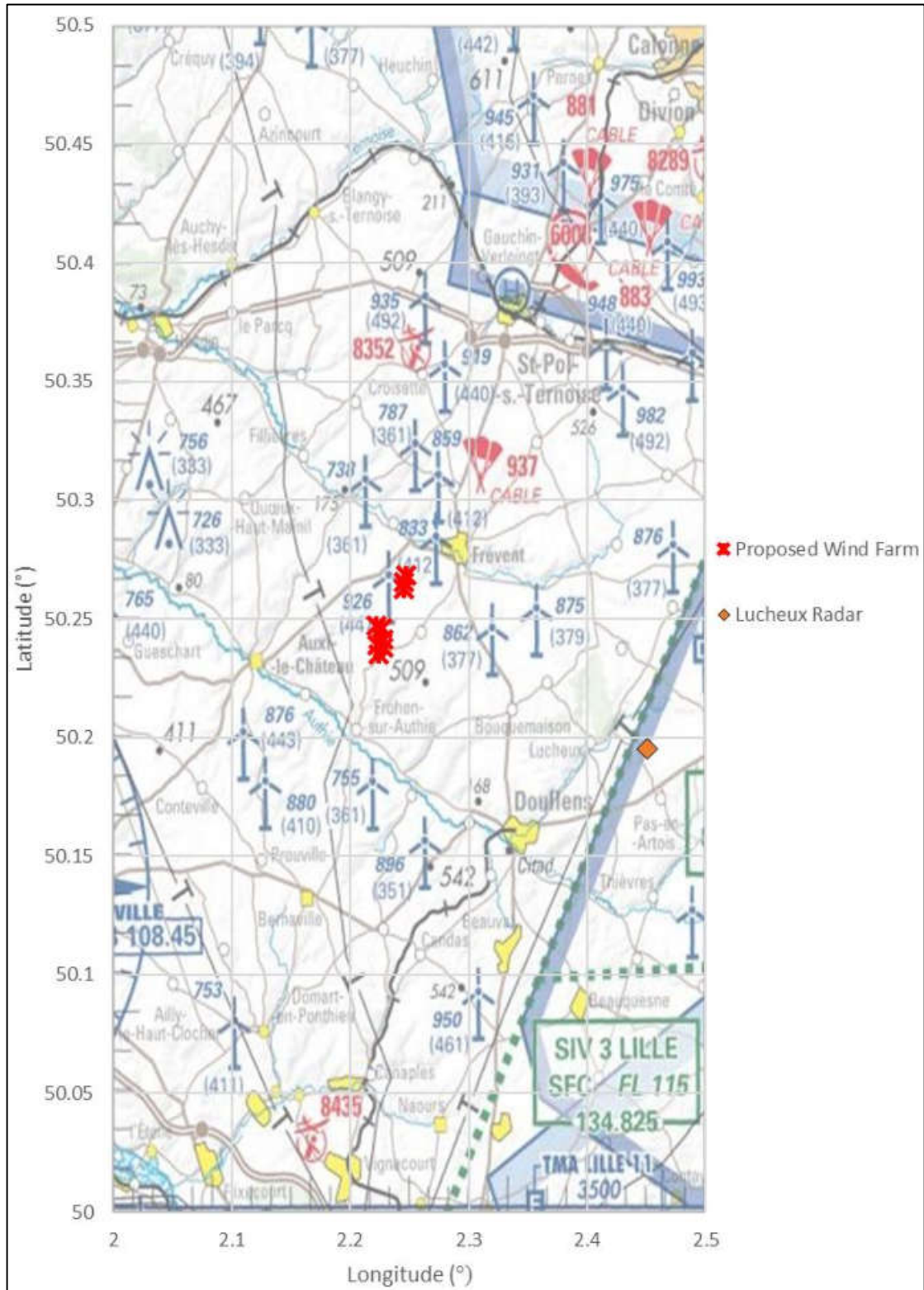


Figure 11 Cumulative picture (aviation chart)

Figure 12<sup>18</sup> below illustrates the cumulative environment overlaid onto aerial imagery. The figure shows:

- The proposed development extension (grey turbine icons on the left);
- The existing development (blue turbine icons on the left);
- Other existing wind turbines (visible in aerial imagery) are significant in the context of this assessment (white icons). The identified existing turbines do not necessarily include all wind turbines in the area – there are likely to be more.
- The radar location (radar icon on the right).

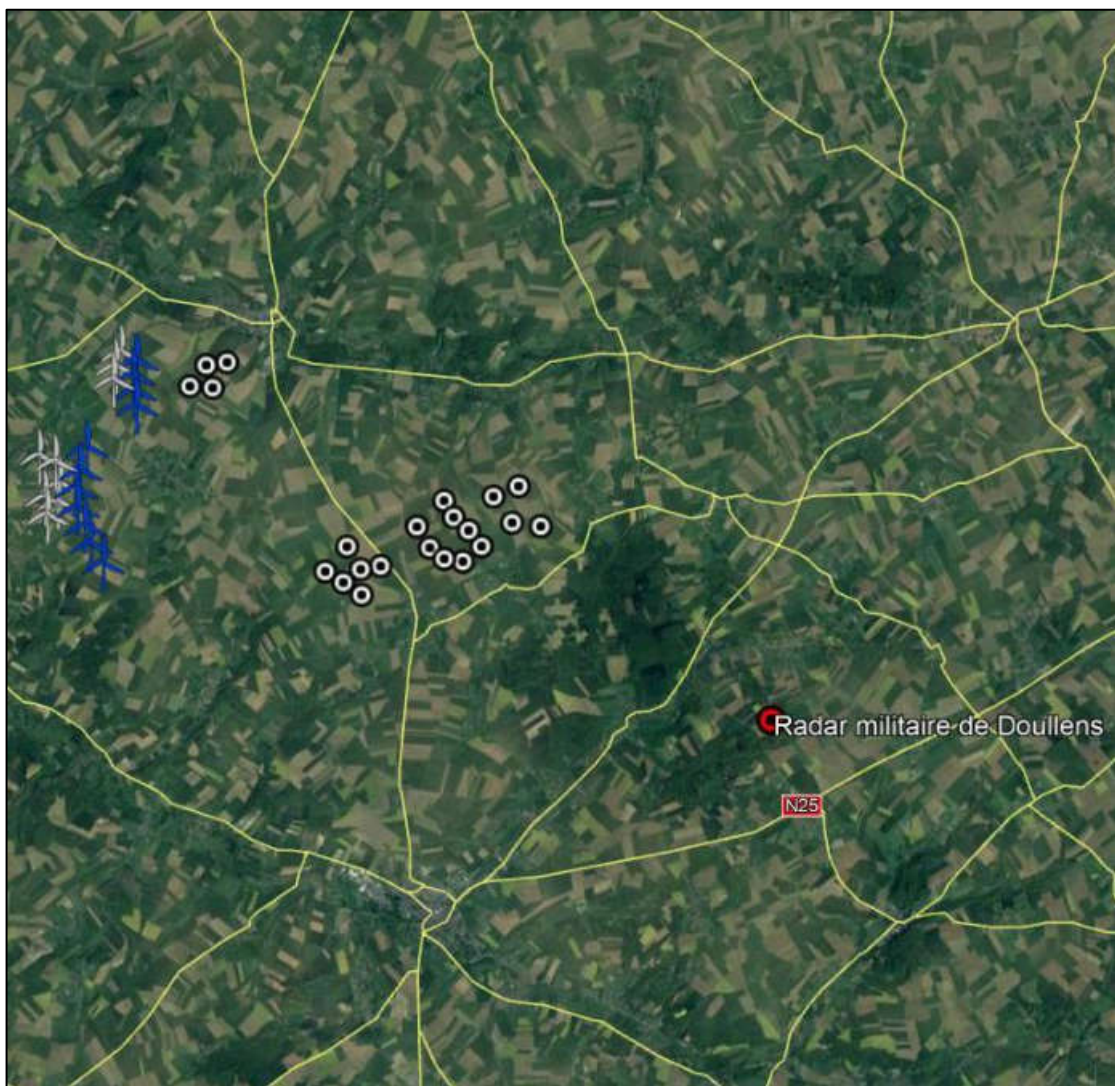


Figure 12 Cumulative picture (aerial imagery)

<sup>18</sup> ©2018 Google.

It can be seen that:

- Multiple turbines are located between the proposed extension and the radar.
- The existing developments already occupy a larger spread of angles from the radar's perspective – i.e. they would fail the 1.5 degree criteria that is currently applied.
- The 5 degree separation criterion appears not to have been maintained for the existing developments.
- The proposed development does not introduce a 'new' affected sector, due to the effects of the existing turbines.

The proposed development extension is in clear radar line of sight to the Lucheux radar. It is clear based on examination of the terrain profile that turbines located between the radar and the proposed development would also be in radar line of sight.



## 8 OPERATIONAL IMPACT ASSESSMENT

### 8.1 Overview

A technical impact has been deemed possible by the proposed development extension however its predicted impact is lessened because of its location within the shadow of the existing wind turbines. An operational impact assessment has therefore been undertaken considering the potential technical impact of the proposed development extension in conjunction with the existing turbines.

### 8.2 Operational Impact Assessment

The wind farm lies within uncontrolled airspace where aircraft are permitted to fly freely without communication with an air traffic controller. This means that there is no control over where an aircraft may be nor is it a particularly sensitive section of airspace where detailed surveillance by an air traffic controller would be required.

Detectability of an aircraft within the shadow of the proposed development extension turbines would be lessened due to their presence however the radar display is already affected by the existing wind turbines.

The airspace in which detectability would be lessened is restricted to the shadow behind the turbines. Therefore the scenario where an aircraft would be least detectable is if it were to travel on the bearing of and behind a turbine with respect to the radar at a low altitude. This is unlikely to occur regularly in practice.

The shadow zones are already present and would be extended by a small amount (up to 1km) due to the extension turbines. Considering the baseline condition, the additional turbines would not be expected to have a significant operational impact.

### 8.3 Overall Radar Impact Assessment – Incremental

The technical impact upon the Lucheux radar would increase due to the presence of the proposed development extension by producing a new area of clutter and creating a small additional shadow area where detectability of an aircraft may be lessened. A new sector of wind turbine interference however would not be created considering the 1.5 degrees and 5 degree separation criteria. Overall the incremental impact of the proposed extension development in the context of the existing turbines is unlikely to be significant in practice considering baseline conditions.

## 9 OVERALL CONCLUSIONS

### 9.1 Analysis Results

All of the proposed extension wind turbines will be significantly visible and detectable to the radar at Lucheux Air Base. Technical impacts therefore include:

- Potential for radar clutter.
- Signal attenuation in the immediate shadow of the wind farm.

With reference to the military requirements for windfarms, it has been shown that:

- The proposed extension exceeds the angular width defined by the military; however
- Existing turbines within the area already exceed the angular width.
- The proposed extension wind turbines do not extend the angular width already affected by the existing wind turbines<sup>19</sup>.
- The 5-degree separation requested by the military between wind farms is not applicable because the proposed extensions turbines can be considered as part of the existing wind development.

The reasons that these effects could be tolerable include:

- A number of wind developments in the area are likely to already have a technical impact upon the Lucheux radar.
- Losses within the shadow zone will be approximately twice as high as they are now. However, the dimensions of the combined shadow zones associated with the proposed extension and existing wind developments will be similar to the existing shadow zone associated with the existing wind turbines.
- The distance of the proposed extension wind turbines from the radar – particularly relative to existing wind developments which are closer to the radar.
- The angular width of the proposed extension from the radar's perspective, which in isolation would exceed the limit of the zone specified by the French military. However considering the existing wind developments in the area, the currently affected sectors remain unchanged.

### 9.2 Overall Conclusions

Overall, the proposed Fortel Bonnières Extension is unlikely to have a significant additional technical impact upon the radar at Lucheux Air Base. Therefore no operational impact is expected.

### 9.3 Recommendations

Engagement with the Ministère de la Défense to better understand their position is recommended.

---

<sup>19</sup> Assuming turbine EO1 is moved westerly as suggested.



## APPENDIX A – TERRAIN BASED ANALYSIS

### Terrain Based Analysis - Overview

There are many approaches that may be used to undertake terrain based assessments such as radar line of sight profile charts. The overall accuracy of any terrain based assessment is dependent on the following factors:

- Accuracy of co-ordinates and height data for the infrastructure being assessed;
- Resolution and quality of digital terrain or surface data;
- Choice of algorithm for determining land height from terrain data.

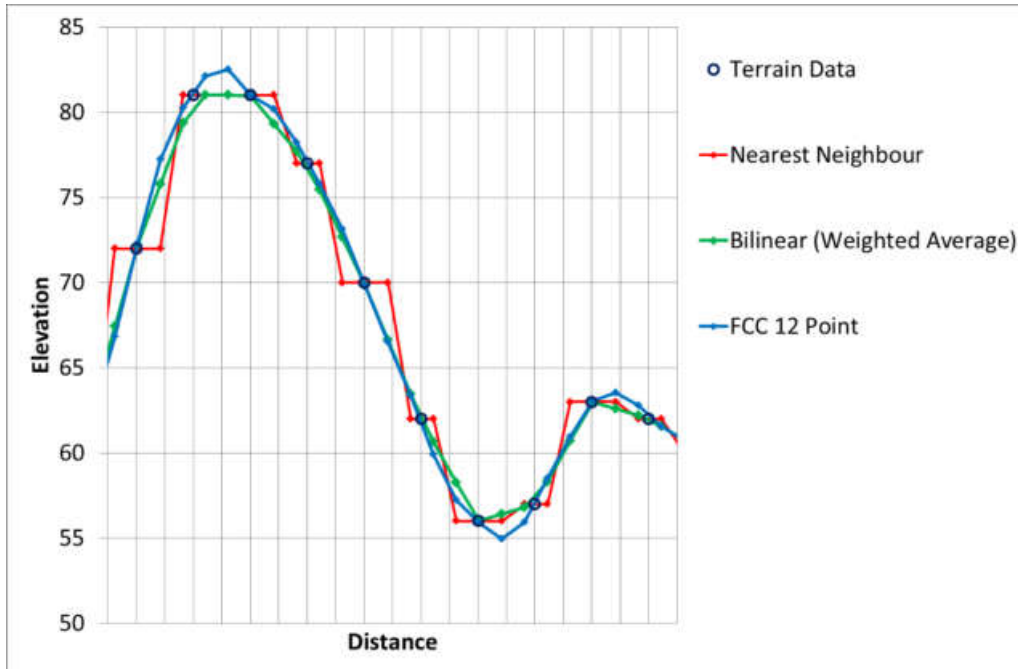
Co-ordinates and height of existing infrastructure may be obtained from the infrastructure owner, custom databases, various forms of mapping or via a site survey. Sometimes the coordinate and height data used may be inaccurate because of coordinate rounding or confusion between height and altitude. Verification of infrastructure position data makes the results of terrain based assessments more reliable.

The resolution of digital data is described by its post. Digital terrain and surface data has a vertical accuracy described by a statistical relationship between database and actual vertical values.

Digital terrain data is used to calculate the terrain or surface height at specific locations. There are many processing algorithms for achieving this. These algorithms vary in accuracy and some are more appropriate for certain types of calculations than others. The nearest neighbour algorithm runs quickly and is effective for some applications. A weighted average algorithm is more accurate and generally gives conservative results for wind development radar calculations. A more advanced algorithm using twelve data points is more accurate yet less conservative when determining the likelihood of a radar detecting a wind turbine.

The figure on the following page shows an example of how terrain data will be interpreted for an algorithm using the nearest neighbour approach, the weighted average approach and the 12 point approach. The circles represent the DTM/DSM points, which are effectively the raw data and can be considered accurate. The coloured lines show the apparent height that will be calculated by the three algorithms. It can be seen that whilst the 12 point method is in most cases more accurate, it is less conservative than the bilinear weighted average method for line of sight analysis and radar detectability analysis. This is because the weighted average method is more likely to reduce the apparent height of the blocking point, thereby increasing the visibility of the turbine.

Pager Power employs the bilinear weighted average method for its analysis.



Example of Terrain Data Algorithms

## APPENDIX B – RADAR ANALYSIS – GENERAL PRINCIPLES

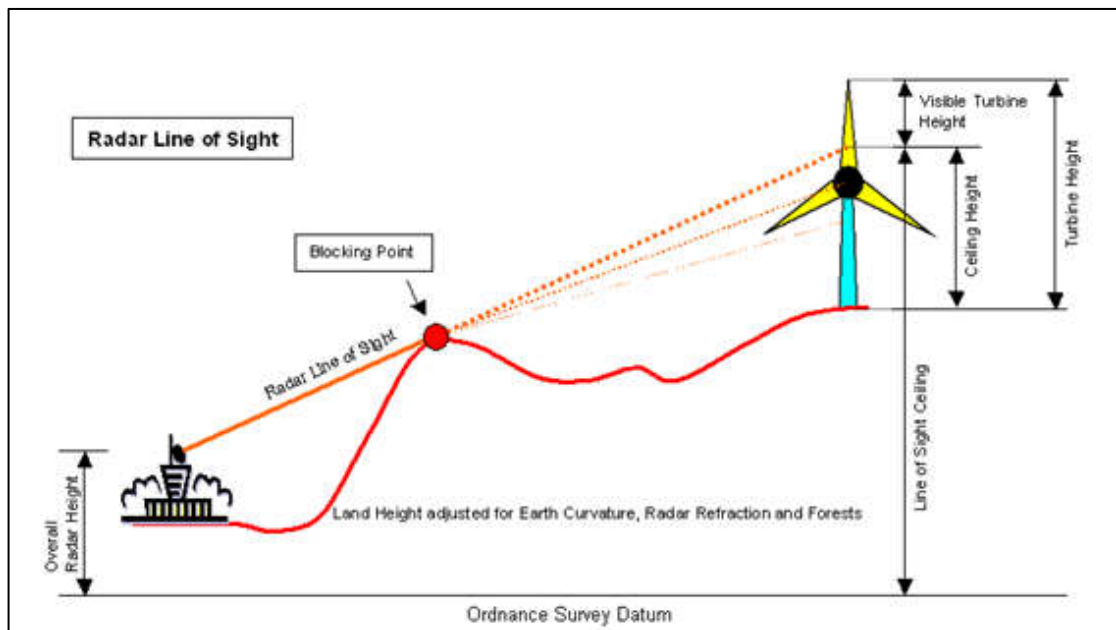
### Overview

Line of sight Analysis is used to determine the extent to which a planned wind development could be detected by a specific radar installation.

This analysis takes into account:

- The curvature of the Earth;
- Refraction of the radar signal by the atmosphere;
- The Effective Radar Height;
- The Effective Turbine Height;
- The height profile of the terrain between the radar and turbine.

The figure below shows how Radar Line of sight is determined, together with the various terms used in the analysis.



*Radar line of sight*

Land height may be adjusted for Forests, Buildings or other obstructions however further shielding analysis will be required for this to be incorporated.

## Overall Radar Height

The radar height determines the Line of sight angle. This in turn determines the Ceiling Height. The higher the radar, the lower the Line of sight Ceiling will be.

The Overall Radar Height is the height of the radar radiation centre above datum.

## Earth Curvature

Curvature of the Earth limits the distance at which objects can be detected, using visual and radar techniques.

The effect of Earth Curvature increases as the separation between radar and wind turbine increases.

The effect of Earth Curvature is calculated by determining the vertical separation of two lines running between the radar and wind turbine.

The first is the arc of the great circle that passes through the radar and wind turbine. This is the shortest arc between the two points.

The second is the chord between the radar and wind turbine. This line cuts through the Earth's surface.

## Radar Signal Refraction

Radar Signals travel in straight lines in free space. Variations in the atmosphere cause bending of radar signals. This bending is caused by lower denser air having a higher refractive index than higher less dense air.

The result of this bending is that effective radar range is extended beyond the visible horizon. Radar system designers compensate for this effect by using a larger effective Earth Radius in their calculations. This compensation allows radar signals to be treated as straight lines, even though they are actually being refracted.

The Earth Radius is multiplied by a refraction constant  $k$  to give an increased effective Earth Radius. The standard figure used for  $k$  is  $4/3$ . This value is known as Standard Refraction. Measured values of  $k$  in the USA range from 1.25 to 1.90<sup>20</sup>.

The Earth Curvature curve is redrawn, by recalculating each point using the adjusted Earth radius. This is shown on the Land Profile charts denoted as 'Earth Curvature with compensation for Radar Refraction'.

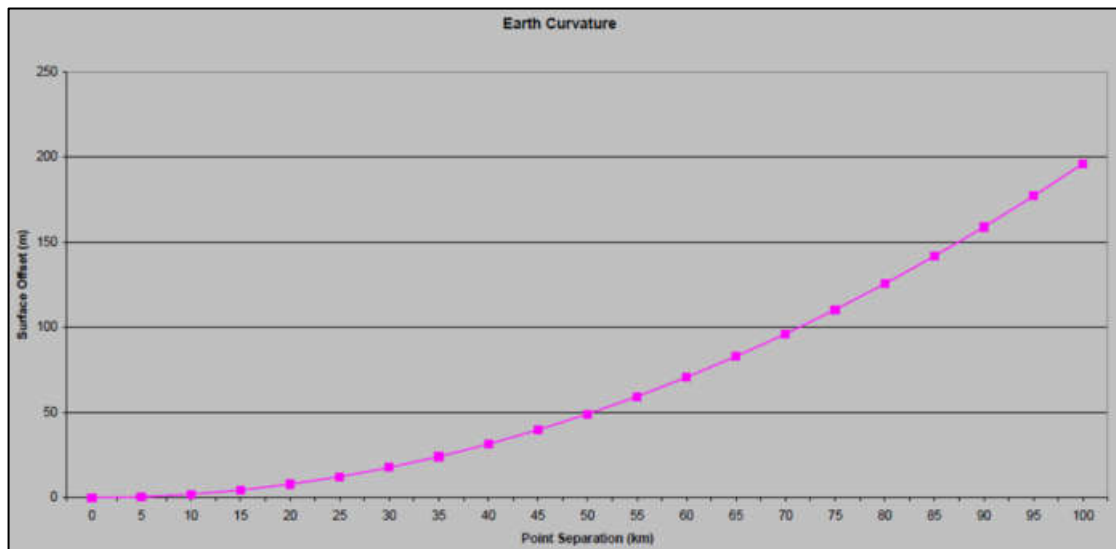
---

<sup>20</sup> Bean, B. R. et al. "A World Atlas of Atmospheric Radio Refractivity," U.S. Dept. of Commerce, ESSA Monograph 1, 1966. Further information for the UK and Europe is also available from Recommendation ITU-R P.453-8 "The radio refractive index: its formula and refractivity data"

## APPENDIX C – EARTH CURVATURE / REFRACTIVE CONSTANT

### Earth Curvature

The distance between the Earth's surface and the associated chord passing through the Earth's crust increases with point separation. This is shown in the chart below.



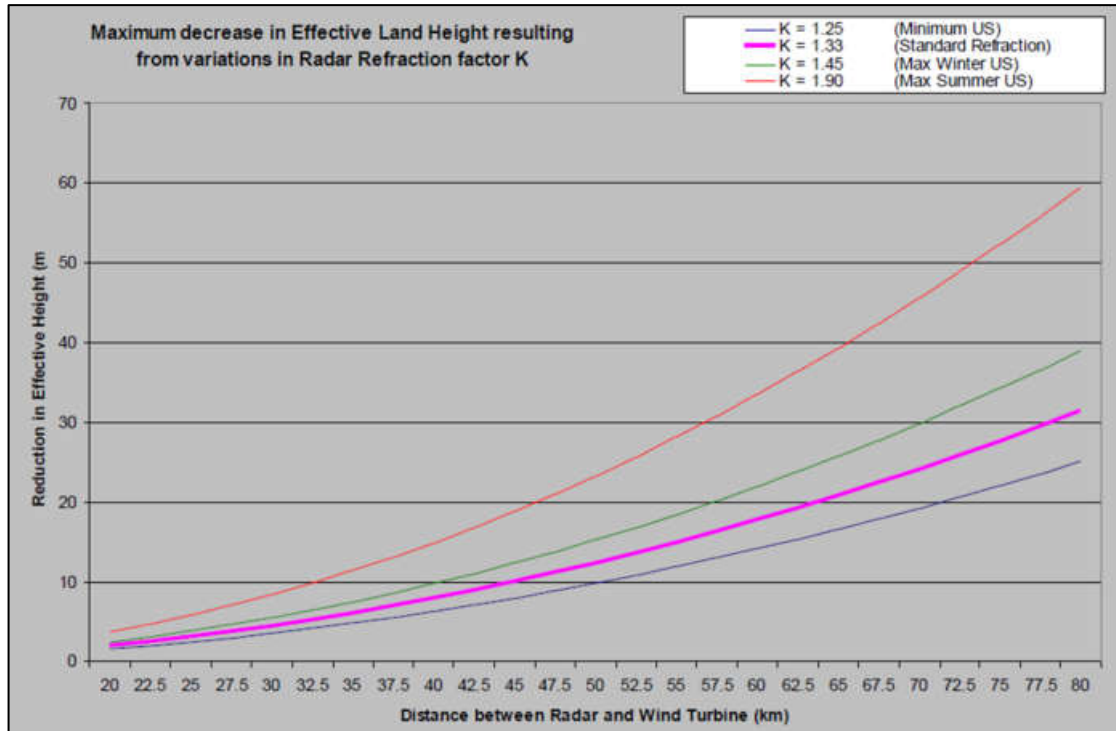
Earth curvature with distance



### Standard Refraction

The Standard Refraction constant  $k$  is  $4/3$ . This constant was used in the line of sight analysis.

The chart below shows the effects of variations in  $k$  over a range of distances (data from the USA).



Standard refraction

## APPENDIX D – ATTENUATION CALCULATIONS

Diffraction Loss Calculation			
Turbine	E02		
Frequency (GHz)	3		
Wavelength (m)	0.099931		
		1	2
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	16775.46	16775.46	16775.46
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000
Height of blocking point (m)	15.7	3	3
	v	2.27925	0.436878
	J dB	20.11159	9.773385
	jv (Loss Factor)	10.1293	3.080841
Shielding Loss	Jmin(v)	2.523165	
	Jav(v)	6.566714	

Diffraction Loss Calculation			
Turbine	E03		
Frequency (GHz)	3		
Wavelength (m)	0.099931		
		1	2
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	16679.58	16679.58	16679.58
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000
Height of blocking point (m)	19.4	3	3
	v	2.827864	0.436948
	J dB	21.91517	9.773967
	jv (Loss Factor)	12.46691	3.081047
Shielding Loss	Jmin(v)	2.741372	
	Jav(v)	6.633024	

Diffraction Loss Calculation				
Turbine	E04			
Frequency (GHz)	3			
Wavelength (m)	0.099931			
	1	2	3	
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	17535.81	17535.81	17535.81	
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000	
Height of blocking point (m)	15.1	3	3	
	v	2.202391	0.436344	0.436344
	J dB	19.82903	9.768996	9.768996
	jv (Loss Factor)	9.805094	3.079284	3.079284
Shielding Loss	Jmin(v)	2.481543		
	Jav(v)	6.549644		

Diffraction Loss Calculation				
Turbine	E05			
Frequency (GHz)	3			
Wavelength (m)	0.099931			
	1	2	3	
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	17155.85	17155.85	17155.85	
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000	
Height of blocking point (m)	18.7	3	3	
	v	2.714879	0.436605	0.436605
	J dB	21.57109	9.771142	9.771142
	jv (Loss Factor)	11.98269	3.080045	3.080045
Shielding Loss	Jmin(v)	2.700352		
	Jav(v)	6.619691		

Diffraction Loss Calculation				
Turbine	E06			
Frequency (GHz)	3			
Wavelength (m)	0.099931			
	1	2	3	
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	16895.15	16895.15	16895.15	
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000	
Height of blocking point (m)	25.9	3	3	
	v	3.76933	0.43679	0.43679
	J dB	24.3693	9.772669	9.772669
	jv (Loss Factor)	16.53731	3.080587	3.080587
Shielding Loss	Jmin(v)	2.978549		
	Jav(v)	6.687663		

Diffraction Loss Calculation				
Turbine	E07			
Frequency (GHz)	3			
Wavelength (m)	0.099931			
	1	2	3	
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	17120.79	17120.79	17120.79	
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000	
Height of blocking point (m)	25.9	3	3	
	v	3.77411	0.43663	0.43663
	J dB	24.38021	9.771344	9.771344
	jv (Loss Factor)	16.5581	3.080117	3.080117
Shielding Loss	Jmin(v)	2.978267		
	Jav(v)	6.686548		

Diffraction Loss Calculation				
Turbine	E08			
Frequency (GHz)	3			
Wavelength (m)	0.099931			
	1	2	3	
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	16822.13	16822.13	16822.13	
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000	
Height of blocking point (m)	28.4	3	3	
	v	4.137537	0.436843	0.436843
	J dB	25.17317	9.773105	9.773105
	jv (Loss Factor)	18.14089	3.080741	3.080741
Shielding Loss	Jmin(v)	3.044618		
	Jav(v)	6.700627		

Diffraction Loss Calculation				
Turbine	E09			
Frequency (GHz)	3			
Wavelength (m)	0.099931			
	1	2	3	
Distance from Antenna 1 to blocking point (m)	16962.46	16962.46	16962.46	
Distance from Antenna 2 to blocking point (m)	1000	1000	1000	
Height of blocking point (m)	25.3	3	3	
	v	3.688044	0.436742	0.436742
	J dB	24.18171	9.77227	9.77227
	jv (Loss Factor)	16.18399	3.080445	3.080445
Shielding Loss	Jmin(v)	2.962043		
	Jav(v)	6.684004		

**PAGERPOWER**   
Urban & Renewables

**Pager Power Limited**  
South Suffolk Business Centre  
Alexandra Road  
Sudbury  
Suffolk  
CO10 2ZX

**Tel:** +44 1787 319001 **Email:** [info@pagerpower.com](mailto:info@pagerpower.com) **Web:** [www.pagerpower.com](http://www.pagerpower.com)



ETUDE SUR LA PROJECTION  
D'OMBRES PORTEES

Décembre 2021

# PROJET EOLIEN DE FORTEL-VILLERS





# 1 Généralités

## 1.1 PRINCIPE D'OMBRES PORTÉES

Lorsque le soleil est visible, une éolienne projette – comme toute autre structure – une ombre sur le terrain qui l'entoure. Dans le cas d'éoliennes, le phénomène d'ombres portées le plus dérangeant est lié à la rotation des pales devant le soleil qui provoque une succession d'ombres mouvantes périodiques dont la fréquence peut être gênante. Selon l'académie de médecine (2017) : « Le rôle négatif des facteurs visuels ne tient pas à une stimulation stroboscopique. Si celle-ci peut certes provoquer à certaines heures de la journée et dans certaines conditions une gêne assimilée par les plaignants à « une alternance d'éclairage et de pénombre » dans leurs lieux d'habitation, le risque d'épilepsie dite photosensible, lié aux « ombres mouvantes » (shadow flickers), ne peut être raisonnablement retenu car l'effet stroboscopique de la lumière « hachée » par la rotation des pales nécessite des conditions météorologiques et horaires exceptionnellement réunies et aucun cas d'épilepsie n'est avéré à ce jour. »

Il est possible de prédire avec une assez grande précision la probabilité, la durée, l'heure et le jour de l'année où il peut y avoir un effet d'ombre mouvante périodique (ombre clignotante) généré par le passage des pales de l'éolienne devant le soleil. On ne peut en revanche pas savoir d'avance s'il y aura effectivement du vent, ni dans quelle direction il soufflera, et si le soleil brillera. Cependant, grâce à l'astronomie et à la trigonométrie, il est possible de connaître exactement la position du soleil à n'importe quelle heure du jour et sa hauteur par rapport à l'horizon en fonction des saisons.

## 1.2 RÉGLEMENTATION

La projection d'ombres n'est pas explicitement encadrée en France par des lois comme peuvent l'être les émissions sonores. En Allemagne, où un recours a été introduit, un juge a cependant fixé à 30 heures par an la limite tolérable de projection d'ombres réelle. Selon la décision du juge, il faut calculer le nombre d'heures de projection d'ombres à partir des heures où la propriété est effectivement utilisée par des personnes. En l'absence d'autre règle, celle-ci sera donc utilisée par la suite.

Règle appliquée :

➤ **Maximum de 30 heures par an d'ombres portées sur une habitation.**

## 2 Hypothèses et méthode de calcul

### 2.1 LOGICIEL

Trouver la forme, l'emplacement et l'heure exacts d'une ombre projetée par une éolienne demande des calculs sophistiqués, réalisés à l'aide d'un logiciel dédié. Dans le cas de cette étude, l'évaluation a été réalisée au moyen du module SHADOW du logiciel WindFarm (version 4.1.2.2) de la société Resoft.

### 2.2 DONNÉES D'ENTRÉE ET HYPOTHÈSES PRINCIPALES

- Modèle numérique de terrain (MNT) géoréférencé, résolution spatiale 25 m (© IGN BDALTI 2020®) ;
- Type d'éoliennes : Gabarits les plus impactant avec diamètre rotor maximum et hauteur moyen maximum même si la combinaison entre ces valeurs maximum est impossible (hauteur hors tout plus grande que pour le gabarit maximum) :
  - Diamètre 103 m et hauteur au moyen de 32 m ;
- Implantation des éoliennes et des habitations (points d'étude) (**Carte 1**) ;
- Prise en compte de la déclinaison entre le Nord cartographique et le Nord géographique ;
- Angle d'élévation solaire minimum : 2° (matin et soir) ;
- Résolution temporelle de calcul : 1 minute ;
- Considération de l'année suivante : 2022 ;
- Considération de la courbure de la terre ;
- Taille de fenêtre standard (1,5 m x 1,5 m, Position centrale verticale : 2 m) ;
- Pas de végétation et/ou d'autres obstacles environnants (autres habitations) pour rester dans les conditions les plus pénalisantes ;
- Toutes les heures de la journée et toutes les pièces sont considérées comme habitées en permanence pour rester dans les conditions les plus pénalisantes.

### 2.3 MÉTHODE DE CALCUL

Les calculs sont basés sur la position du soleil au cours d'une journée et au cours d'une année. En partant d'une simulation de la course du soleil par étape de 1 minute, les calculs d'ombre de chaque rotor d'éolienne sont exécutés, durant une année sans prise en compte des conditions météorologiques, ni des éventuels obstacles. L'ombre calculée est examinée pour déterminer à quel moment un récepteur d'ombre, matérialisé par une fenêtre, se trouve à l'intérieur d'une ombre de la turbine. L'enregistrement des données et des heures de projection d'ombre permet d'en déterminer la durée par jour et par an pour toutes les éoliennes.

On estime donc le cas le plus défavorable :

- Le soleil brille toute l'année du lever au coucher du jour,
- L'éolienne est en fonctionnement tout le temps,
- Son rotor est toujours orienté perpendiculairement aux rayons du soleil,
- Enfin les habitations ont une ouverture en direction du projet.

Ensuite, sont considérés les facteurs inhérents au site qui peuvent limiter cette projection d'ombre, afin d'avoir une estimation la plus juste possible. Des coefficients réducteurs sont à appliquer aux résultats obtenus pour se rapprocher de la réalité. (Direction aléatoire du rotor / Période de fonctionnement (vent) / Ensoleillement). On reste tout de même dans des cas improbables avec des valeurs maximales du fait que ne sont pas pris en compte la présence marquée de végétation ni le fait que toutes les habitations n'ont pas de fenêtre orientée vers le parc éolien.

## 2.4 SÉLECTION DES POINTS DE MESURE

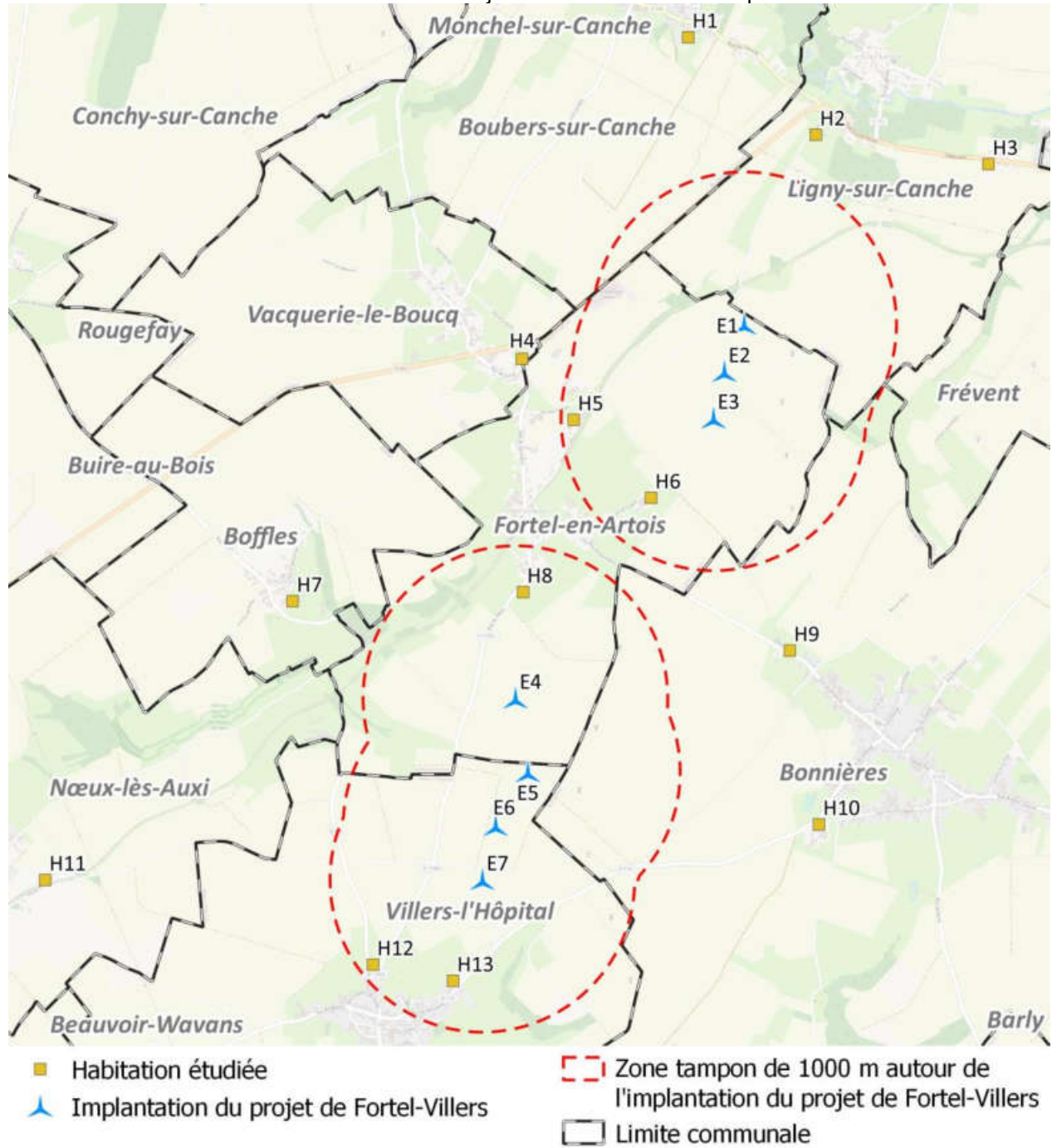
Il est admis que seul un observateur situé à une distance inférieure à 1000m d'une éolienne est potentiellement concerné par une projection d'ombres « gênante ». Au-delà de cette distance, l'éolienne ne semble plus couper la lumière, mais est perçue comme un objet avec le soleil derrière.

La zone d'étude comporte quelques habitations sur un totale de 8 communes :

- Boffles (rue des Peupliersà
- Bonnières (rue d'Auxis le Château et Rue de Bucquoy)
- Boubers-sur-Canche (au lieu-dit La Capellerie)
- Fortel-en-Artois (au lieu-dit Fond de Fortel et La Couture)
- Ligny-sur-Canche (au lieu-dit La Couture et au Chemin de Fortel)
- Nœux-lès-Auxi (rue de Bonnières)
- Vacquerie-le-Boucq (rue de Fortel)
- Villers-l'Hôpital (rés Alphonse Beaumont et rue de Bonnières)

➤ 13 points d'étude à moins de 1000 m des éoliennes, représentatifs de groupements d'habitations les plus proches du site. (**Carte 1**).

**Carte 1** : Localisation des habitations faisant l'objet de l'étude de d'ombres portées



## 3 Résultats

### 3.1 OMBRE ASTRONOMIQUE MAXIMALE

Dans le cas le plus défavorable, où le soleil brille toute l'année du lever au coucher du jour, où l'éolienne est en fonctionnement tout le temps, et où son rotor est toujours orienté perpendiculairement aux rayons du soleil, et en considérant que chacune des habitations étudiées a une large fenêtre sur chaque façade (points cardinaux), enfin en supprimant toute végétation créant un masque, les résultats seraient les suivants :

**Tableau 1** : Durées d'exposition aux ombres astronomiques maximales pour les habitations proches  
Ne sont pas reportées les habitations et les fenêtres pour lesquelles les valeurs sont nulles.

ID	Fenêtre	Nombre d'heures total par an	Nombre de jours potentiels d'occurrence par an	Durée moyenne par jour d'occurrence
H01	NORD	0 h 0 min	0	0
H01	EST	0 h 0 min	0	0
H01	SUD	0 h 0 min	0	0
H01	OUEST	0 h 0 min	0	0
H02	NORD	0 h 0 min	0	0
H02	EST	0 h 0 min	0	0
H02	SUD	0 h 0 min	0	0
H02	OUEST	0 h 0 min	0	0
H03	NORD	0 h 0 min	0	0
H03	EST	0 h 0 min	0	0
H03	SUD	5 h 18 min	27	0,19
H03	OUEST	5 h 18 min	27	0,2
H04	NORD	6 h 0 min	25	0,24
H04	EST	20 h 0 min	76	0,26
H04	SUD	13 h 48 min	51	0,27
H04	OUEST	0 h 0 min	0	0
H05	NORD	50 h 6 min	155	0,32
H05	EST	50 h 36 min	155	0,33
H05	SUD	0 h 0 min	0	0
H05	OUEST	0 h 0 min	0	0
H06	NORD	0 h 0 min	0	0
H06	EST	0 h 0 min	0	0
H06	SUD	0 h 0 min	0	0
H06	OUEST	0 h 0 min	0	0
H07	NORD	0 h 0 min	0	0
H07	EST	12 h 0 min	56	0,21
H07	SUD	11 h 54 min	56	0,21
H07	OUEST	0 h 0 min	0	0
H08	NORD	0 h 0 min	0	0
H08	EST	0 h 0 min	0	0

H08	SUD	0 h 0 min	0	0
H08	OUEST	0 h 0 min	0	0
H09	NORD	0 h 0 min	0	0
H09	EST	0 h 0 min	0	0
H09	SUD	8 h 24 min	43	0,19
H09	OUEST	8 h 24 min	43	0,2
H10	NORD	3 h 42 min	20	0,19
H10	EST	0 h 0 min	0	0
H10	SUD	0 h 0 min	0	0
H10	OUEST	3 h 48 min	20	0,19
H11	NORD	0 h 0 min	0	0
H11	EST	0 h 0 min	0	0
H11	SUD	0 h 0 min	0	0
H11	OUEST	0 h 0 min	0	0
H12	NORD	0 h 0 min	0	0
H12	EST	0 h 0 min	0	0
H12	SUD	0 h 0 min	0	0
H12	OUEST	0 h 0 min	0	0
H13	NORD	0 h 0 min	0	0
H13	EST	0 h 0 min	0	0
H13	SUD	0 h 0 min	0	0
H13	OUEST	0 h 0 min	0	0

Source : BORALEX

### **RAPPELONS QUE CE CAS EST TOTALEMENT IMPROBABLE !**

Il s'avère que les impacts possibles de ces projections d'ombres sont énormément réduits par :

- La présence marquée de végétation ;
- Le fait que toutes les habitations n'ont pas forcément de fenêtre orientée vers le parc éolien ;
- La probabilité de placement des pales des éoliennes à ce moment-là dans l'axe entre les maisons et le soleil ;
- La probabilité de présence du vent au même moment ;
- Et surtout les conditions d'ensoleillement du site.

## 3.2 OMBRE MÉTÉOROLOGIQUE PROBABLE

Le calcul de la durée d'ombre météorologique probable permet d'obtenir des données plus réalistes. L'ombre météorologique probable correspond à l'ombre astronomique maximale pondérée par les caractéristiques de fonctionnement des éoliennes liées aux données de vent et la probabilité d'ensoleillement.

Ici, pour le site considéré, on estime que les coefficients suivants peuvent être appliqués :

**Tableau 2** : Coefficients réducteurs pour obtention de l'ombre météorologique « probable »

ID	Coefficient retenu	Source
<b>Direction aléatoire du rotor</b>	<b>0,62</b>	<i>Indications windpower.org (Annexe 5 « Fixed Rotor Direction (Fixed Azimuth) »): « Shadow casting is typically reduced to around 62% of the worst case results, if we assume a fixed rotor direction. »</i>
<b>Période de fonctionnement</b>	<b>0,78</b>	<i>Dépend du parc et de la probabilité de fonctionnement des éoliennes en fonction de la présence de vent. La plage de pourcentage de fonctionnement d'une machine est estimée entre 75% et 80% du temps, le coefficient de 0,78 est une valeur moyenne pouvant correspondre pour la plupart des sites en France.</i>
<b>Pourcentage d'ensoleillement</b>	<b>0,48</b>	<i>Station météorologique de Bouret-sur-Canche; susdesign.com/sunposition</i>

Sources: BORALEX; Météo France ; WindPower ([www.windpower.org](http://www.windpower.org)) ; SunPosition ([www.susdesign.com](http://www.susdesign.com))

Ainsi, on peut de façon plus réaliste attendre l'impact suivant :

**Tableau 3** : Durée d'exposition aux ombres météorologiques probables pour les habitations proches

ID	Fenêtre	Nombre d'heures total par an
H01	NORD	0 h 0 min
H01	EST	0 h 0 min
H01	SUD	0 h 0 min
H01	OUEST	0 h 0 min
H02	NORD	0 h 0 min
H02	EST	0 h 0 min
H02	SUD	0 h 0 min
H02	OUEST	0 h 0 min
H03	NORD	0 h 0 min
H03	EST	0 h 0 min
H03	SUD	1 h 13 min
H03	OUEST	1 h 13 min
H04	NORD	1 h 23 min
H04	EST	4 h 38 min
H04	SUD	3 h 12 min
H04	OUEST	0 h 0 min
H05	NORD	11 h 37 min
H05	EST	11 h 44 min
H05	SUD	0 h 0 min
H05	OUEST	0 h 0 min
H06	NORD	0 h 0 min
H06	EST	0 h 0 min
H06	SUD	0 h 0 min
H06	OUEST	0 h 0 min
H07	NORD	0 h 0 min
H07	EST	2 h 47 min
H07	SUD	2 h 45 min
H07	OUEST	0 h 0 min
H08	NORD	0 h 0 min
H08	EST	0 h 0 min
H08	SUD	0 h 0 min
H08	OUEST	0 h 0 min
H09	NORD	0 h 0 min
H09	EST	0 h 0 min
H09	SUD	1 h 56 min
H09	OUEST	1 h 56 min
H10	NORD	0 h 51 min
H10	EST	0 h 0 min
H10	SUD	0 h 0 min
H10	OUEST	0 h 52 min
H11	NORD	0 h 0 min



H11	EST	0 h 0 min
H11	SUD	0 h 0 min
H11	OUEST	0 h 0 min
H12	NORD	0 h 0 min
H12	EST	0 h 0 min
H12	SUD	0 h 0 min
H12	OUEST	0 h 0 min
H13	NORD	0 h 0 min
H13	EST	0 h 0 min
H13	SUD	0 h 0 min
H13	OUEST	0 h 0 min

Source : BORALEX

L'impact de la projection d'ombres sur les habitations voisines du parc éolien est extrêmement limité. Il est important de noter que cette estimation ne tient pas compte des masques possibles autour des maisons (boisements, hangar), aussi toutes les valeurs avancées dans cette étude sont des valeurs maximales conservatrices.

**Aucune valeur d'ombre météorologique probable ne dépasse les 30 heures par an.**