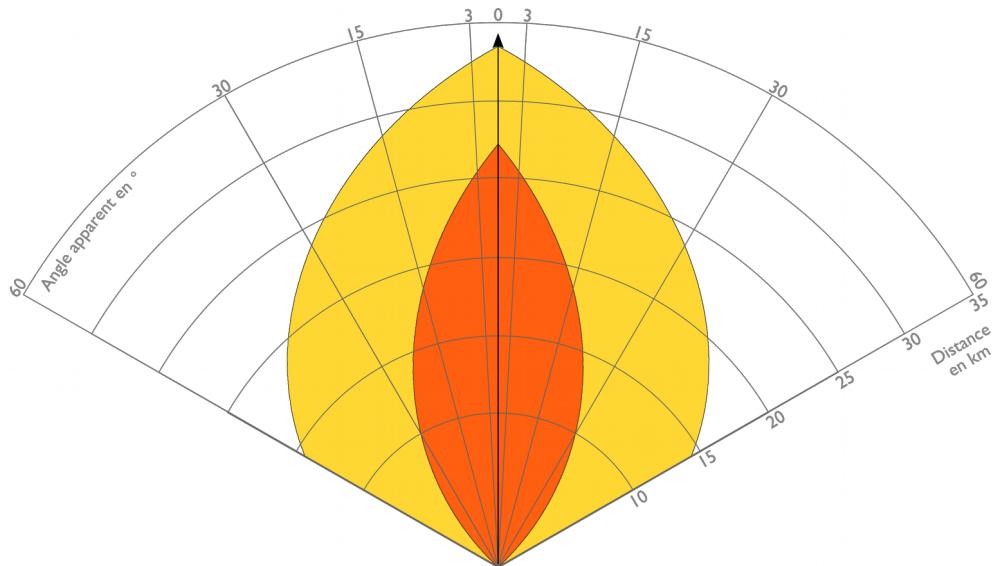


**Étude de définition de l'Aire d'Influence Paysagère (AIP)  
du site de la Chapelle Notre-Dame-du-Haut de  
Ronchamp  
vis-à-vis des projets éoliens**



**NOTE DE SYNTHÈSE**

**Méthodologie et références géomatiques**

MAI 2020

# Table des matières

Méthodologie.....	3
Outils utilisés.....	3
Convention de nommage.....	3
Étendue de l'aire de calcul et résolutions.....	3
Obstacles visuels.....	3
VOLET 1 : ÉTUDE PAYSAGÈRE.....	4
Calcul de visibilité.....	4
Visibilité du campanile.....	5
Visibilité du campanile depuis les axes de circulation.....	5
Cartes d'invisibilité théorique avec obstacles bâtis et boisements.....	5
VOLET 3 : RÉALISATION DE L'aire d'influence paysagère.....	5
Détermination des aires de perception visuelle de la chapelle : définition d'un modèle d'évaluation reproductible.....	5
Critères des Vues Entrantes.....	6
Calculs des cartographies d'exclusion.....	6
Calculs des cartographies de vigilance.....	6
Application des calculs dans les aires de perception.....	7
Critères des Vues Sortantes.....	7
Vue nord : VS1.....	7
Vue sud-est : VS3.....	7
Vue sud-est : VS3bis.....	8
Vue sud-est : VS6.....	8
Synthèses.....	8
Simulation d'éoliennes.....	9
Semis d'éoliennes.....	9
Présentation.....	9
Visionneuse web.....	10
Méthodologie générale du photomontage.....	11

# Méthodologie

## Outils utilisés

Geophom travaille principalement avec des outils informatiques libres (open-source), de façon à garantir une bonne interopérabilité entre intervenants et la possibilité de reproduire les opérations réalisées.

### Calculs des couches raster

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel libre GRASS-GIS<sup>1</sup>. Les calculs spécifiques ont été produits par des scripts développés par Geophom, parfois pour les besoins de cette l'étude. Les principaux scripts utilisés sont :

- calcul de visibilité / invisibilité (opérations itératives de viewshed) (ZVT/PIT)
- détermination des aires de perception (AEV)
- calcul de l'horizon d'un point (angle vertical) (VAP)
- calcul de l'horizon en tout point du territoire (angle vertical) (VAS)
- conversion angle vertical en hauteur métrique

Tous ces scripts ont été éprouvés et vérifiés. Ils tiennent compte de la courbure terrestre. Le calcul de visibilité tient compte de la réfraction atmosphérique avec un coefficient de réfraction de 0.14286 (voir commande r.viewshed de grass-gis). Les opérations mathématiques ou de rasterisation ont été produits avec les fonctions natives de Grass-Gis.

### Présentation des cartes

Les données ont été présentées et mises en pages à l'aide du logiciel libre QGIS<sup>2</sup>.

Les cartes de l'étude sont disponibles au format natif sur le support physique livré à travers 3 fichiers .qgs.

## Convention de nommage

Les principales couches raster utilisent le nommage suivant :

MNT : Modèle Numérique de Terrain (altitude sol, en mètres)

MNS : Modèle Numérique de Surface (hauteur des éléments de surface, en mètres)

MNE : Modèle Numérique d'Elévation (altitude sol + éléments de surface = MNT+MNS)

ZVT : Zone de Visibilité Théorique (en mètres)

PIT : Point Invisibilité Théorique (carte d'invisibilité depuis un point, en mètres)

AEV : Aire d'Emprise Visuelle (binaire)

VAP : Vertical Angle Point (hauteur d'horizon d'un point (sommet de la colline de Bourlémont). En degrés)

VAS : Vertical Angle Sol (hauteur d'horizon du sol, en degrés)

DELTAPS : Différence angulaire entre Horizon point et horizon sol (traduit en mètres)

PSPI : combinaison des couches PIT et DELTAPS (valeur maximale, en mètres)

VIGEX : Combinaison des hauteurs admissibles en zone d'exclusion et de vigilance (en mètres)

## Étendue de l'aire de calcul et résolutions

Coordonnées géographiques : RGF Lambert93 (EPSG 2154)

Etendu des cartes utilisées dans les calculs (coordonnées des bords extérieurs).

Sud-Nord : 6685217.5 - 6794787.5

Ouest-Est : 916587.5 - 1026157.5

Le pas de calcul a été adapté aux besoins de l'étude et aux durées raisonnables des calculs. Trois résolutions ont été utilisées, comme détaillées dans le tableau ci-après.

Pas (m)	Nb rangées	Nb colonnes	Nb Cellules
25	4383	4383	19210689
10	10957	10957	120055849
5	21915	21915	480267225

## Obstacles visuels

Source : Bd-Topo

## Hauteurs attribuées aux végétaux

La base de données ne contient pas les hauteurs de végétaux. Nous avons pris le parti d'attribuer une hauteur plausible à chaque catégorie de végétaux selon le tableau ci-dessous.

1 <https://grass.osgeo.org/>

2 <https://www.qgis.org/fr/site/>

Nature	Hauteur (m)
Zone arborée	12
Bois	12
Haie	3
Forêt fermée de feuillus	15
Forêt fermée mixte	15
Lande ligneuse	2.5
Peupleraie	25
Forêt ouverte	20
Forêt fermée de conifères	25
Verger	6
Vigne	1

### Hauteurs attribuées aux bâtiments

Seules les couches suivantes ont été retenues. La hauteur associée est déterminée par la base de données BD-TOPO.

- BATI\_INDIFFENCIE
- BATI\_REMARQUABLE
- BATI\_INDUSTRIEL

Remarque : Lorsque plusieurs obstacles de hauteurs différentes coexistent sur l'emprise d'une cellule des cartes raster d'obstacles, nous avons retenu la plus petite hauteur afin de maximiser la visibilité.

La mention « deb440 » signifie que les obstacles ont été écartés de la zone sommitale de la colline de Bourlémont au-dessus de la hauteur altimétrique 440 mètres. Ceci dans le but de ne pas tenir compte d'une végétation en évolution et qui représente potentiellement des masques visuels importants. Les résultats des calculs basés sur cette carte d'obstacles modifiée sont donc à interpréter en tenant compte de ce parti pris.

### Rasterisation

#### Obstacles

Les couches d'obstacles vecteur issues de la BD-TOPO ont été combinées entre elles et rastérissées selon leur type. Une couche raster des obstacles végétaux a été produite. Ces deux couches ont été combinées dans une couche obstacles globale au pas de 10 mètres (OBSTACLES\_10m\_deb440).

#### Axes de circulation

Les axes de circulation (route primaire, route secondaire, GR et pistes cyclables) ont été « bufferisés » avec un tampon de 50 mètres avant d'être rastérissés. La carte de visibilité du campanile précédemment calculée a ensuite été découpée selon le masque produit par les axes de circulation « élargis » par le buffer.

Les données vectorielles sont disponibles sur le support livré.

Nom	Désignation
RP	Routes primaires
RS	Routes secondaires
GR	Sentiers GR
EVR6	Vélo Route (Canal du Rhône)
BC	Boucles cyclables
VF	Voies ferrées

## **VOLET 1 : ÉTUDE PAYSAGÈRE**

#### Calcul de visibilité

Les calculs de visibilité consistent à vérifier la visibilité en tout point du territoire d'un point placé à une altitude spécifique (x,y,z). Cette opération, appelée « viewshed » produit une carte binaire, dans laquelle la visibilité est confirmée ou pas en tout point du territoire, c'est à dire dans chaque cellule de la carte résultante (le nombre de cellule dépend de la résolution du calcul et de l'étendu du territoire).

Il est possible d'itérer sur la hauteur d'un objet vertical autant de fois que nécessaire selon la résolution souhaitée afin de calculer sa hauteur visible. La carte de visibilité du campanile de 24 mètres est obtenue en faisant la somme des 24 calculs réalisés pour chaque mètre du campanile (résolution de 1 mètre).

La prise en compte des obstacles visuels de surface, consiste à faire les calculs « viewshed » sur la base du MNE. On retire ensuite les zones d'emprise des obstacles pour produire la carte finale. On considère en effet que la visibilité depuis les zones « obstacles » est nulle.

## Visibilité du campanile

Le principe présenté plus haut a été mis en œuvre, avec et sans prise en compte des obstacles bâtis et boisés.

## Visibilité du campanile depuis les axes de circulation

### Cartes d'invisibilité théorique avec obstacles bâtis et boisements

Le calcul d'invisibilité consiste à tester la visibilité d'un point (l'observateur) depuis tout point du territoire (les cellules de la carte résultante). L'inversion du principe habituel du « viewshed » se base sur cette évidence : « si le sol voit le point, le point voit le sol ». Ainsi, si on itère sur une hauteur définie au-dessus du sol pour l'ensemble du territoire, et que le point visé reste fixe (l'observateur), on peut mettre en évidence les hauteurs maximales en tout point du territoire qui restent invisibles à l'observateur. Cette méthode a été employée dans l'étude sur une plage de 0 à 250 mètres. Cette limitation s'explique par la taille des éoliennes actuelles, dont la hauteur est encore inférieure 250 mètres, et par le temps de calcul considérable du viewshed.

Une fois les 251 cartes calculées, il faut, en chaque point du territoire, faire la somme des couches qui retournent l'invisibilité (0). Par exemple, si les 251 cartes comptent 100 occurrences de visibilité et 151 occurrences d'invisibilité en un point (une cellule), un objet de 151 mètres maximum (sur cette cellule) est invisible depuis le point d'observation.

Les obstacles de surface ont été utilisés pour produire les 5 cartes individuelles (par point de vue) et la carte de synthèse des 6 points de vue.

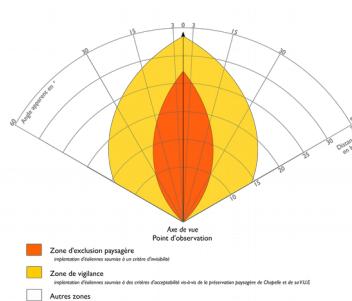
Remarque : les calculs ont calculé la visibilité potentielle jusqu'à 250 mètres. Il est possible que des zones permettent une invisibilité supérieure à 250 mètres.

Remarque : Pour éviter qu'une masse boisée isolée, et non représentative des obstacles visuels locaux, située à proximité d'un point de vue, ne fausse les résultats en marquant l'invisibilité, nous avons fait le choix de la supprimer pour produire un résultat plus représentatif. La couche raster est nommée MNS25\_modVR2. Ce « nettoyage » a été opéré.

## VOLET 3 : RÉALISATION DE L'AIRE D'INFLUENCE PAYSAGÈRE

### Détermination des aires de perception visuelle de la chapelle : définition d'un modèle d'évaluation reproductive

Le principe de cet outil est présenté dans l'étude. Il permet de déterminer des aires d'emprise visuelle dans lesquelles un critère de visibilité particulier pourra être imposé aux objets éoliens.



couleurs) qui seront perçus par des zones de champ visuel plus éloignées de la fovéa.

Cette méthode a déjà été expérimentée dans l'étude AIP de Vezelay<sup>3</sup>.

Les formules de décroissance du champ visuel avec la distance, déterminées pour se superposer avec le diagramme utilisé sur l'AIP de Vezelay, sont les suivantes :

- Aire d'exclusion :  $-0.00172 * \text{distance} + 47.1$  avec une limitation de distance à 27.3km
- Aire de vigilance :  $-0.0031 * \text{distance} + 104.5$  avec une limitation à 120° et de distance à 33.7km

La forme des aires visuelles obtenues se superpose avec les aires visuelles qui caractérisent la vision humaine. Les cartes (AEV) ont été calculées au pas de 25 mètres.

<sup>3</sup> <http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/aire-d-influence-paysagere-de-vezelay-et-projets-a7082.html>

## Critères des Vues Entrantes

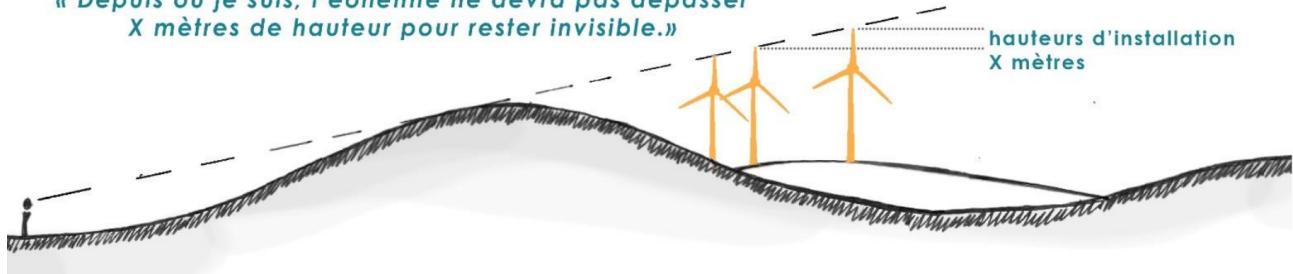
Le critère d'exclusion impose de ne pas voir d'éoliennes depuis aucun des 13 points de vue choisis en tenant compte des obstacles bâtis et boisés.

Le critère de vigilance est que les éoliennes présentes ne culminent pas au-dessus du sommet de la colline de Bourlémont, vu de chacun des 13 points de vue choisis en Vue Entrante.

IDG	IDC	JDM	EST	NORD	TITRE
04	20	VR70	970025	6734904	Vue depuis la RD4, en sortie d'Andornay
05	23	VR67	968565	6735193	Vue depuis la rue du Champ Lallemand à Palante
07	22	VR62	969277	6733848	Vue depuis la RD4, en sortie de Lyoffans
08	21	VR69	969451	6734054	Vue depuis la RD4, entrée d'Andornay
22	19	VR60b	975102	6735908	Vue depuis le Chemin de la Tête du Cheval, GR59, sud de Ronchamp
34	17	VR51	976749	6740172	Vue depuis la RD4, Avenue de la Gare, à l'est de Champagney
36	13	VR60a	973016	6738015	Vue depuis la table d'orientation de la Blanche Pierre, au sud de Ronchamp
01	16	VR53	974726	6738710	Vue depuis la RN19 à l'entrée de la Cité des Epoisses, à l'est de la Chapelle
02	15	VR57	972901	6739299	Vue depuis la RN19, à l'est de la Chapelle
03	14	VR58	972313	6738913	Vue depuis la RD4, dans le Quartier des Mineurs à Ronchamp
16	12	VR65	967078	6737776	Vue depuis la RN19, à l'ouest de la Chapelle
35	18	VR48	978155	6740144	Vue depuis la RD4, entrée de la Zone Industrielle des Champs May, à l'est de Ronchamp
42	25	VR38	966429	6731005	Vue depuis la RD4, rue principale de Moffans-et-Vacheresse

## Calculs des cartographies d'exclusion

« Depuis où je suis, l'éolienne ne devra pas dépasser X mètres de hauteur pour rester invisible. »



Un calcul d'invisibilité, avec prise en compte des obstacles, a été réalisé depuis chacun des 13 points de vue. Cette contrainte de visibilité s'appliquera à l'intérieur des aires d'exclusion.

Les calculs ont été réalisés au pas de 25 mètres en tenant compte des obstacles de surface.

## Calculs des cartographies de vigilance

« Depuis où je suis, la hauteur de l'éolienne ne devra pas dépasser l'altitude apparente de la Colline de Bourlémont. »



Il s'agit de calculer les hauteurs admissibles pour que jamais l'extremité haute d'une éolienne ne dépasse pas le sommet de la colline de Bourlémont vu depuis chacun des 13 points de vue.

Pour chaque point de vue, on a calculé l'angle d'horizon du sommet de la colline de Bourlémont. Position du sommet de la colline : 971440, 6740020, 474 (L93)

Pour chaque point de vue, nous avons calculé l'horizon de chaque cellule de la topographie (MNT) au pas de 25 mètres. Ces calculs tiennent compte de la courbure terrestre.

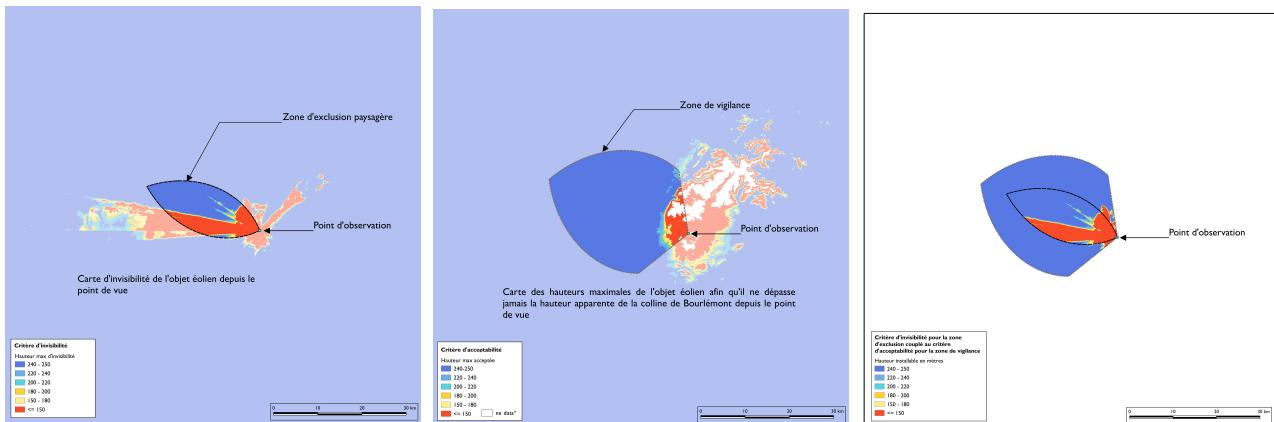
Nous avons calculé la différence d'horizon entre la référence (la colline) et le sol (MNT). Cette différence angulaire a été traduite en hauteur métrique (DELTAPS). Ainsi, vu depuis chacun des point de vue, nous connaissons la hauteur métrique maximale pour qu'une éolienne ne dépasse pas visuellement la hauteur apparente de la colline. Néanmoins, il se peut que certaines zones soient masquées par la topographie. Aussi nous avons comparé ces hauteurs admissibles avec les hauteurs d'invisibilité et produit une carte résultante pour chaque point de vue qui retient la valeur la plus grande (PSPIT). En effet, il n'y a pas de raison de limiter la hauteur apparente d'une éolienne à la colline de Boulémont si cette éolienne est masquée par un massif topographique. C'est donc ce dernier qui impose la hauteur d'invisibilité.

### Application des calculs dans les aires de perception

Les aires de perceptions ont été utilisées comme masque aux données calculées pour l'exclusion et pour la vigilance. Pour chaque point de vue une carte des hauteurs maximales admissibles a été produite à partir des données de hauteurs correspondantes aux aires de perception (création de VIGEX par combinaison de PIT et PSPIT selon les masques AEV).

Les cartes ont été calculées au pas de 25 mètres.

Les hauteurs de chaque carte respectent les critères d'exclusion et de vigilance uniquement pour le point de vue idoine.



Ces cartes ont été mises en page et sont disponibles dans le fichier volet3.qgs

### Critères des Vues Sortantes

Quatre vues sortantes ont été identifiées. Chacune d'elle possède ses propres critères de visibilité.

IDG	IDC	JDM	EST	NORD	TITRE
48	01	VS1	971422	6740035	Vue orientée vers le Nord du territoire
50	03	VS3	971448	6739999	Vue orientée vers le Sud-Est du territoire
50	03	VS3b	971448	6739999	Vue orientée vers la pyramide de la Paix
52	06	VS6	971378	6740008	Vue orientée vers le Sud-Ouest du territoire

#### Vue nord : VS1

La vue VS1 est orientée vers le nord et embrasse le Mont de Vannes. Il est souhaité aucune visibilité depuis ce point. La méthode consiste à calculer une carte d'invisibilité sur ce secteur en tenant compte les obstacles de surface.

**Caractéristiques de l'aire de perception :** vue depuis VS1 au point 971422, 6740035 orientée sur 23.5°, sur une emprise horizontale de 110°.

**Critère :** invisibilité sur un périmètre de 40 km.

La carte d'invisibilité VS1 a été réduite au cône de l'aire de perception.

#### Vue sud-est : VS3

La vue VS3 est orientée sur le massif du Chérémont. L'outil des aires perception visuelles des vues entrantes est utilisé pour cette vue sortante.

**Caractéristiques des aires de perception :** vue depuis VS3 au point 971448, 6739999 orienté sur 135.2°. Les caractéristiques des aires sont identiques aux vues entrantes. Ce choix est motivé par la présence d'une cible matérialisée par Le Chérémont.

**Critères** : invisibilité sur l'aire d'exclusion et hauteur limitée pour que le balisage aéronautique des nacelles ne soit pas visible depuis VS3 sur l'aire de vigilance.

La carte d'invisibilité VS3 a été réduite au cône de l'aire d'exclusion.

Pour la vigilance nous avons utilisé la carte d'invisibilité et pris comme principe que la hauteur de nacelle est située au 2/3 de la hauteur totale des éoliennes. La hauteur maximale sera donc fixée à 1.5 fois la hauteur d'invisibilité. Par exemple, si l'invisibilité nous indique 100 mètres, il devient théoriquement possible d'installer une éolienne de 150 mètres. Il revient au développeur de vérifier que la hauteur du balisage est inférieure à 100 mètres. Le calcul de la carte de vigilance est simplement une multiplication par 1.5 de la hauteur d'invisibilité.

Les cartes d'exclusion et de vigilance ont été découpées suivant les aires de perception calculées, comme pour les vues Entrantes (VIGEX).

### Vue sud-est : VS3bis

La vue VS3bis est orientée vers la Pyramide de la Paix.

**Caractéristiques des aires de perception** : vue depuis VS3b au point 971448, 6739999 orienté sur 43.6° sur une emprise visuelle de 120°. L'aire d'exclusion couvre les trois quarts du cône depuis son côté gauche (environ 90°). La limite droite est orientée vers le sud des Ballons des Vosges (aux environ de la Tête des Mineurs). Au-delà de cette limite, le critère de vigilance s'applique.

**Critères** : invisibilité sur l'aire d'exclusion et hauteur limitée pour que le balisage aéronautique des nacelles ne soit pas visible depuis VS3b sur l'aire de vigilance. Critères limités à un périmètre de 40 km.

La carte d'invisibilité VS3 a été réduite au cône du l'aire d'exclusion. La carte d'invisibilité de VS3 a été limitée à l'aire de vigilance après que ses valeurs aient été multipliées par 1.5.

### Vue sud-est : VS6

La vue VS6 est orientée vers le sud-ouest.

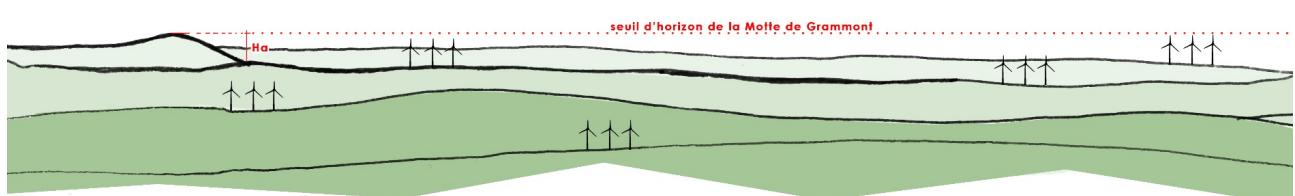
**Caractéristiques des aires de perception** : vue depuis VS6 au point 971378, 6740008 orienté sur 220.5° sur une emprise visuelle de 120°. L'aire d'exclusion est centrée sur la Motte de Grammont, avec une amplitude d'environ 7°. De part et d'autre de cette aire visuelle, c'est le critère de vigilance qui s'applique.

**Critères** : invisibilité sur l'aire d'exclusion. Dans l'aire de vigilance, la hauteur apparente des éoliennes (ha) doit être inférieure à la hauteur apparente de la Motte de Grammont vue depuis VS6, soit 0.45°. Critères limités à un périmètre de 40 km.

La carte d'invisibilité VS6 a été réduite au cône du l'aire d'exclusion.

Les hauteurs maximales dans l'aire de vigilance ont été calculées par la conversion de l'angle apparent en hauteur métrique, avec prise en compte de la courbure terrestre. Cette carte a été réduite à l'aire de vigilance.

*« Depuis la vue sortante VS6 vers l'Ouest de la Chapelle, la hauteur visible d'une éolienne ne devra pas excéder la hauteur apparente de la Motte de Grammont. Elle ne devra pas non plus dépasser le seuil d'horizon de ce relief. »*

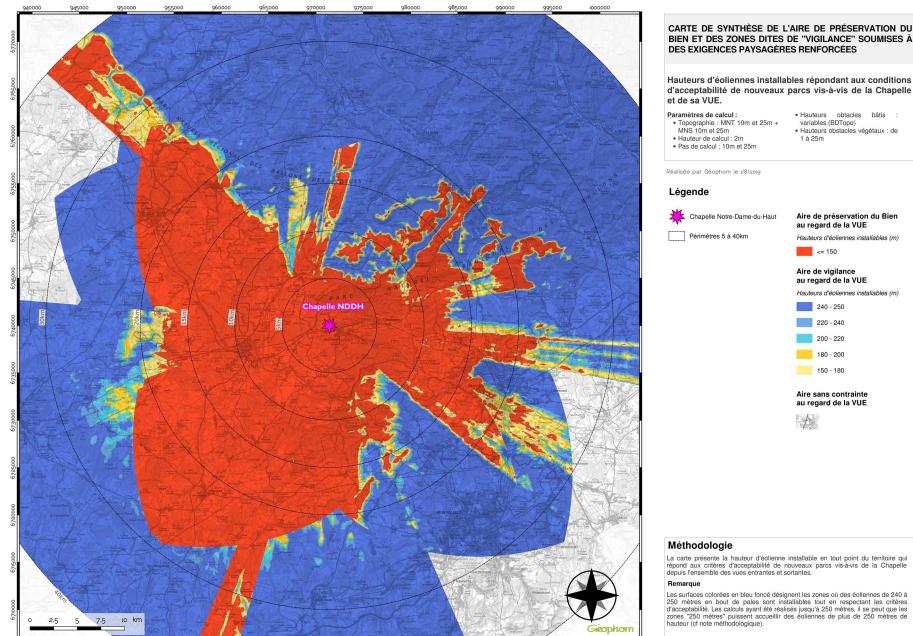


## Synthèses

Les cartes de synthèse des Vues Entrantes (VE) et Vues Sortantes (VS) consistent en une opération pour chaque ensemble de cartes où les cartes résultantes sont la valeur **minimum** calculée pour chaque cellule. Par exemple, en un point x,y du territoire, la plus faible hauteur calculée entre les 13 points de vue entrants est retenue pour la carte de synthèse VE. De cette façon, il est assuré que l'objet éolien respectera le critère imposé par l'aire visuelle depuis tous les points de vue entrants traités (Synthèse\_VE).

La même opération est réalisée sur les vues sortantes (Synthèse\_VS).

La synthèse finale est obtenue par une opération similaire sur les deux synthèses VE et VS ou sur l'ensemble des couches sources (Synthèse\_VES).



## Simulation d'éoliennes

Des simulations visuelles ont été produites depuis 7 points de vue entrants et 4 points de vue sortants.

Ces simulations vérifient que l'application des hauteurs calculées à des éoliennes arbitrairement placées dans l'aire de perception permet le respect des critères de visibilité définis.

En réalité, peu de points de vue, notamment en vue entrante, offrent une visibilité sur des éoliennes simulées en raison des masques végétaux qui s'interposent, et de la distance des éoliennes qui atténue leur visibilité. Néanmoins, la présentation des éoliennes en mode « filaire » (éoliennes en couleur), et avec la transparence de la topographie, permet de situer les éoliennes (invisibles) et de vérifier la cohérence des calculs.

## Semis d'éoliennes

Les éoliennes ont été placées à des distances variées pour chaque point de vue étudié. Elles ont principalement été placées dans les aires de vigilance.

La hauteur de chaque éolienne a été adaptée à la hauteur maximale calculée pour répondre aux exigences des critères d'acceptabilité.

Le calcul des hauteurs d'invisibilité ayant été limité à 250 mètres, les éoliennes soumises à ce critère ne dépassent pas 250 mètres.

Le calcul des hauteurs maximales de vigilance n'a pas été limité (car il n'est pas calculé par itération). Aussi, les éoliennes soumises à ce critère n'ont pas d'autres limites que ce calcul.

Les coordonnées et hauteurs sont disponibles dans un fichier tableur enregistré dans le dossier « éolien ».

## Présentation

Pour chaque point de vue 4 ou 6 pages au format A3 paysage ont été produites :

- page 1 : les aires visuelles ont été présentées en superposition de la carte de synthèse VES. Cette carte présente la position des éoliennes.
- Page 2 : cartographies du positionnement du point de vue (fond scan25 et fond bd-ortho), données techniques et commentaire paysager.
- Pages 3 et 4 : Vue 3D du panorama 120° avec et sans fond photographique. Les éoliennes sont masquées par la topographie dans le panorama 3D et visibles dans le panorama photographique (une coloration différenciée permet de mettre en évidence la partie potentiellement masquée de celle visible).
- Pages 5 et 6 : Vue du photomontage sur le même champ visuel, uniquement dans les situations de visibilité effective d'éoliennes.

L'identifiant, la hauteur et la visibilité de chaque éolienne sont clairement indiqués.

## **Visionneuse web**

Les simulations visuelles sont disponibles dans le cahier des simulations en version imprimable et en version légère :

Version imprimable : **2c\_ETUDE-AIP-NDDH-annexe\_cahier\_simulations\_imp.pdf**

Version numérique légère : **2d\_ETUDE-AIP-NDDH-annexe\_cahier\_simulations\_num.pdf**

Les simulations sont également disponibles sur un support livré et en ligne à l'adresse suivante :

<http://simulations-aip-ronchamp.geophom.info>

Reportez-vous au document 3b\_ETUDE-AIP-NDDH\_note\_base-donnees-QGIS.odt pour une présentation de cet outil.

## Méthodologie générale du photomontage

Le but du photomontage est de permettre à un observateur de se faire une opinion sur les effets visuels produits par le projet dans le paysage. Ceci à partir d'un point de vue défini et dans des conditions environnementales représentatives. C'est l'ensemble des photomontages, avec la variété des localisations, des conditions météorologiques et des situations, qui permet d'illustrer aussi fidèlement que possible les différents effets possibles sur le paysage.

### Moyen

La technique utilisée est de superposer une image de synthèse (image virtuelle) à une vue réelle (photographie). Il convient donc de reproduire de façon informatique une représentation du projet dans son environnement la plus réaliste possible.

Pour ce faire nous utilisons un logiciel 3D spécialisé pour les photomontages éoliens (Resoft Windarm r4.2) avec lequel nous créons un environnement numérique.

Pour chaque point de vue photographié, nous pourrons produire une image de synthèse à l'aide d'une caméra virtuelle dont les caractéristiques (localisation, orientations 3D, champ visuel, projection) sont identiques à la vue photographique. La superposition des deux vues (virtuelle et réelle) permet d'obtenir le photomontage.

Pour être efficace, le photomontage, doit être présenté et observé selon des règles précises et connues.

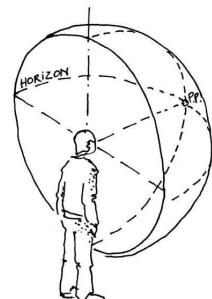
### Étape de réalisation

La procédure de réalisation des photomontages peut être décomposée en différentes étapes :

1. Création du modèle numérique 3D (Resoft Windfarm)
2. Choix du lieu et des conditions des prises de vues (maître d'ouvrage et son paysagiste)
3. Prises de vues (panoramas 360°)
4. Assemblage panoramique 360° et retouches (luminosité, retaillé)
5. Recalage dans le modèle numérique 3D
6. Rendu photo-réaliste
7. Insertion paysagère (retouches, masquage, etc.)
8. Présentation et lecture

### Rappel sur la vision humaine

La vision humaine est d'un fonctionnement très complexe et la perception visuelle ne peut pas être modélisée sur la base des seules caractéristiques strictes de l'optique. Cependant, il est habituellement reconnu que le champ visuel horizontal « utile », à reconnaître des objets et des couleurs, est limité à environ 50 à 60°. Le champ visuel de la lecture n'est que de l'ordre du degré.



Sur cette base, le photomontage doit présenter à l'observateur un champ visuel d'au moins 60° pour que l'image occupe une grande partie de son champ visuel « utile » lorsque celle-ci est placée à la distance adéquate. Le champ visuel vertical, sera d'environ 30°.

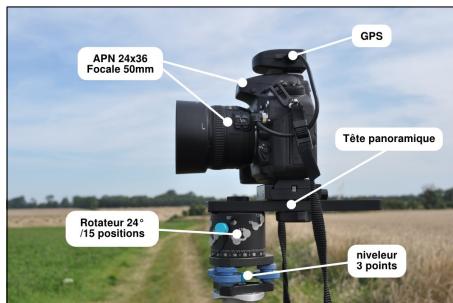
Ce principe considère une vision monoculaire.

### Création du modèle numérique 3D

Le modèle 3D, créé à l'aide du logiciel de photomontage Resoft Windfarm r4.2, prend en compte la topographie (à minima BDalti75<sup>4</sup> de l'IGN), les repères identifiés sur le territoire, tels que les clochers, châteaux d'eau, pylônes, parcs éoliens, etc., et les éoliennes du projet. Les repères sont modélisés sous la forme de pylône dont la hauteur est ajustée si la donnée est connue.

Les éoliennes sont modélisées selon les caractéristiques fournies par le maître d'ouvrage. La modélisation de windfarm est sans détails, mais respecte néanmoins la géométrie principale.

### Prise de vues



La localisation du point de vue est le choix du maître d'ouvrage. Toutefois, en général, le lieu précis est déterminé par le photographe qui trouve le lieu le mieux approprié pour bénéficier de repères pour le recalage ; éviter les obstacles qui pourraient s'intercaler et voir au mieux le projet ; bénéficier d'une perspective facilement identifiable, et de tout élément utile à favoriser la compréhension des échelles.

Les photographies ont été réalisées à l'aide d'un appareil photographique numérique reflex APS-C d'une résolution de 24MPx (NIKON D5300), équipé d'un objectif à focale fixe de 28mm (ce qui produit une focale équivalente en plein format de 42mm).

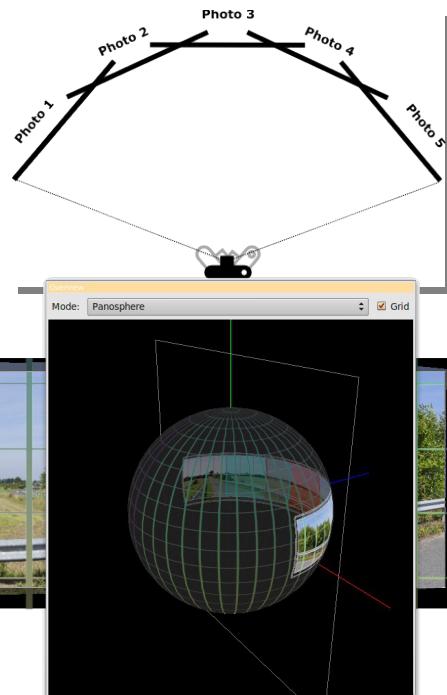
4 Maillage altimétrique du territoire au pas de 75 mètres. Les altitudes sont arrondies au mètre.

Chaque prise de vues consiste à photographier les 360° autour du point de vue. La précision des prises de vues est assurée par l'utilisation d'un pied photo équipé d'un nivelleur trois points, pour un plan de rotation horizontal précis, et d'une tête panoramique étalonnée pour l'APN, afin de supprimer les effets de parallaxe. La tête panoramique est « crantée », au pas de 24°. Ceci permet de réaliser la série en « aveugle » avec l'assurance d'avoir un recouvrement égal pour chaque prise de vue, utile notamment en situation nocturne.

La position du point de vue a été mesurée par GPS et validée sur cartographie. La date et l'heure des prises de vues ont été enregistrées. Pour chaque prise de vue.

### Assemblage

Pour chaque point de vue, la série de 15 photographies est assemblée pour former une vue panoramique horizontale de 360°. Les assemblages ont été réalisés à l'aide d'un logiciel spécialisé. La projection utilisée est cylindrique, conforme à la projection de la caméra de Windfarm. Le travail d'assemblage est basé sur la concordance des motifs sur les parties de photographie qui se recouvrent (environ 20 %). Le choix des motifs est vérifié manuellement afin d'éviter d'éventuels objets mobiles ou trop peu précis, pouvant compromettre un assemblage de qualité.



Un travail de retouche de luminosité permet d'obtenir un rendu naturel et conforme à la réalité. Le panorama est retaillé afin de répondre aux besoins de standardisation de format.

la résolution de sortie Haute Définition est standardisée à 43920 x 3720 pixels au format est JPEG pour un panorama de 360°.

### Recalage

Le recalage consiste à aligner l'orientation de la caméra virtuelle du logiciel 3D à l'identique de l'orientation de la vue photographique réelle. La caméra virtuelle affiche une représentation en projection cylindrique d'une image dont le champ visuel est réglé à 180° (limite du logiciel).

A cet affichage, une portion de 180° du panorama photographique en projection cylindrique est superposée par Windfarm. Le bon placement géographique de la caméra, et la modification de l'orientation des 3 axes de celle-ci, fait glisser la vue numérique par rapport à la vue photographique. La superposition des deux vues est considérée correcte lorsque les repères photographiés et numériques se superposent parfaitement dans la vue. Une fois ce réglage réalisé, les éoliennes sont précisément positionnées.

### Paramétrage

Pour produire une image cohérente visuellement avec les conditions atmosphériques réelles au moment de la prise de vues, l'orientation et la hauteur du soleil sont utilisés pour produire les ombres. La nature de l'éclairage (beau temps, ciel gris, etc.) est également utilisée dans le calcul du rendu. L'effet de la courbure de la Terre sur la perception visuelle des éoliennes a été pris en compte par le moteur de rendu. La réfraction atmosphérique n'a pas été pris en compte.

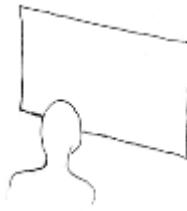
### Insertion paysagère

L'insertion paysagère consiste à intégrer le rendu des éoliennes dans la vue panoramique, ainsi que tout autre élément constitutif du projet. Dans les situations où des obstacles visuels sont présents, il convient de faire disparaître les éoliennes qui sont masquées par ces obstacles (arbres, maisons, etc.).

## Présentation et Lecture

### Mise en page

Comme évoqué plus haut, la présentation du photomontage doit répondre aux caractéristiques du champ visuel humain. Dans un souci de produire un document complet, mais simple à mettre en œuvre, le format papier est A3 orientation paysage en plusieurs pages. Le photomontage lui-même est présenté sur deux pages sont présentées en vis-à-vis, conformément au guide méthodologie de décembre 2016.



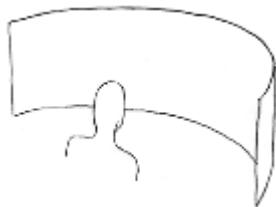
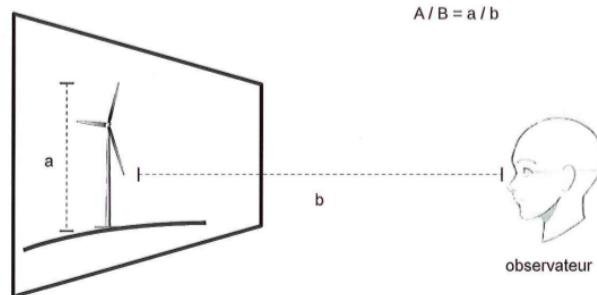
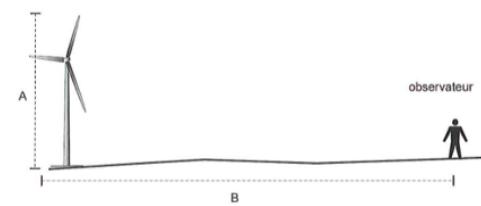
Le photomontage n'est pas surchargé d'indications afin de ne pas troubler l'observation photo-réaliste. La distance orthoscopique est toujours indiquée.

Cette double page est précédée d'une page de présentation du point de vue. Elle rassemble tous les éléments utiles à la bonne compréhension de la situation :

- Deux encarts cartographiques permettent de localiser le point de vue dans le territoire et de présenter l'environnement proche du point de vue.
- Différentes informations de localisation, de distance aux éoliennes, et de caractéristiques de prises de vues.
- Le commentaire paysager.

### Lecture

Pour que les éléments présents dans le photomontage apparaissent à l'observateur, d'une taille équivalente à la situation réelle, le support doit être placé à une distance orthoscopique. Cette distance est indiquée sur le document. Le respect de cette recommandation contribue restituer une représentation fidèle du projet.



L'observation à plat est possible compte tenu de l'amplitude limitée du champ visuel, cependant l'observation courbée est toujours préférable. Pour ce faire, courbez le photomontage selon un arc de cercle équivalent au champ visuel du photomontage.

Par ailleurs, les photomontages doivent être observés sous un éclairage fort<sup>5</sup> afin de percevoir les détails fins et peu contrastés que sont des éoliennes parfois distantes de plusieurs dizaines de kilomètres.

### Limites du photomontage

- La simulation ne rend pas compte du mouvement des rotors.
- La simulation tente de reproduire l'effet visuel du projet dans une configuration précise (notamment au sujet de l'orientation des rotors).
- Le plan de focalisation est unique et la représentation monoculaire. Le relief n'est donc pas restitué et aucune profondeur n'est perceptible dans les photomontages.
- Le plan de focalisation est proche, en raison du petit format du support, ce qui est préjudiciable à un effet d'immersion photographique.
- Les photomontages doivent être observés sous un éclairage suffisant (600 à 800 lux minimum)

<sup>5</sup> Éclairage conseillé : 600 à 800 Lux