

CHAPITRE 2. ANALYSE DES VARIANTES

2.1 Préambule

Lors de la démarche de concertation du projet, plusieurs scénarios ont été évalués et comparés, en fonction de critères environnementaux, paysagers, patrimoniaux mais aussi techniques, réglementaires et économiques.

Les variables doivent répondre aux objectifs suivants :

- maximisation ou optimisation du potentiel énergétique (dépendante de l'emplacement des éoliennes et de la puissance installée) ;
- inscription paysagère favorable (prise en compte des éléments structurants du paysage) ;
- moindre empiètement sur les habitats naturels au besoin de protection marquée ;
- respect d'une distance de 500 m des zones à vocation d'habitat ;
- recherche du moindre impact acoustique.

Cette phase permet d'aboutir à un projet final de moindre impact sur les plans environnemental, paysager et patrimonial, et qui soit techniquement et économiquement réalisable.

La prise en compte de divers paramètres dans la conception du projet à amener le porteur de projet à proposer trois variantes d'implantation.

Au vu des enjeux identifiés pour le projet, les critères les plus dimensionnants pour le choix de l'implantation sont le paysage et le milieu naturel. Le choix du scénario retenu se base donc principalement sur l'analyse de ces critères, et donc sur les analyses réalisées dans :

- Le paragraphe « 5.1. Analyse des variantes » du volet écologique ;
- Le paragraphe « 4.2.1. Analyse des variantes » du volet paysager.

Cf. Dossier 4- Etude d'impact sur l'environnement

Volet écologique

Volet paysager

2.2 Propositions d'implantation

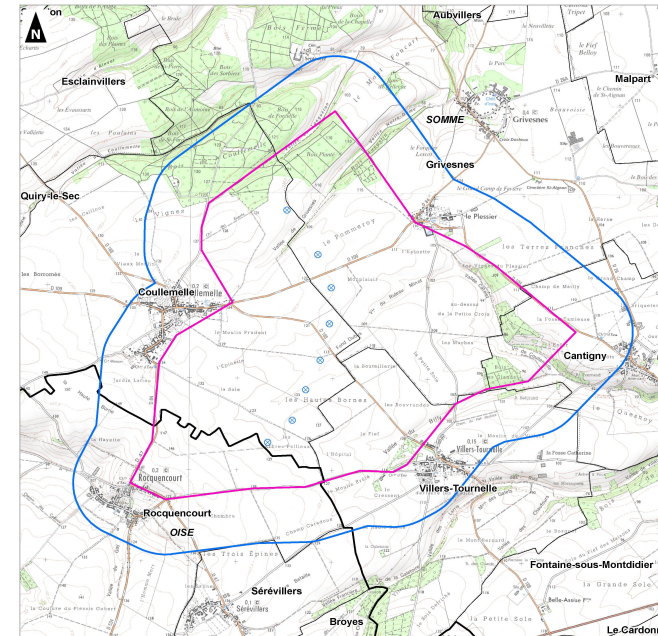


Figure 10: Variante A à 8 éoliennes

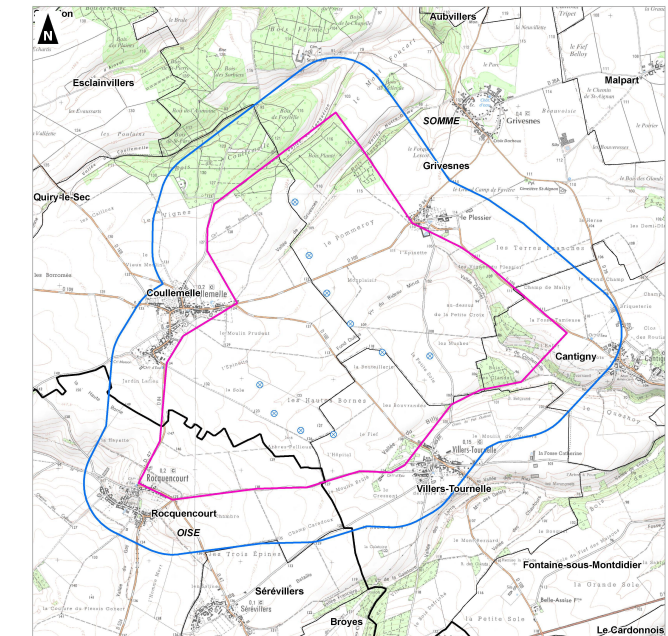


Figure 11: Variante B à 10 éoliennes

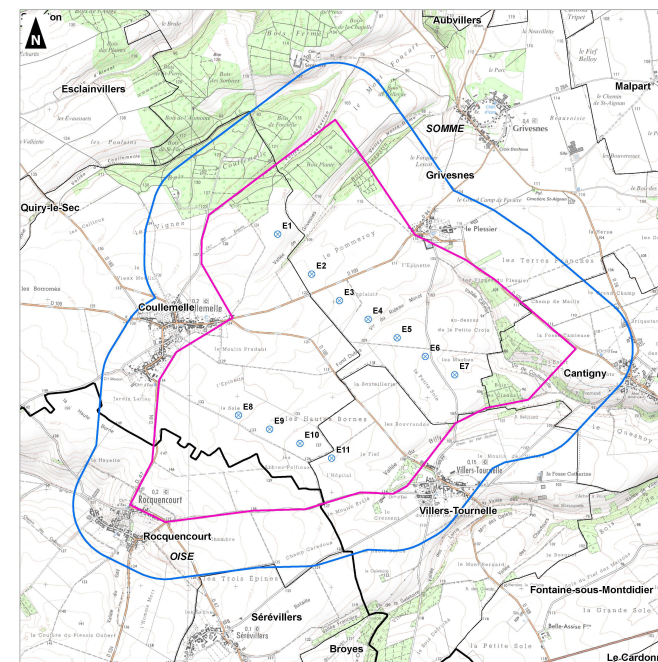


Figure 12: Variante C à 11 éoliennes

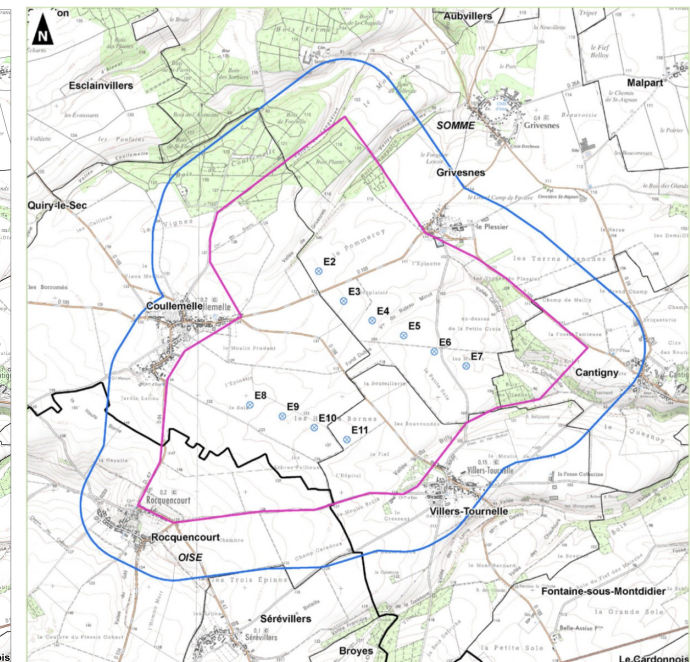
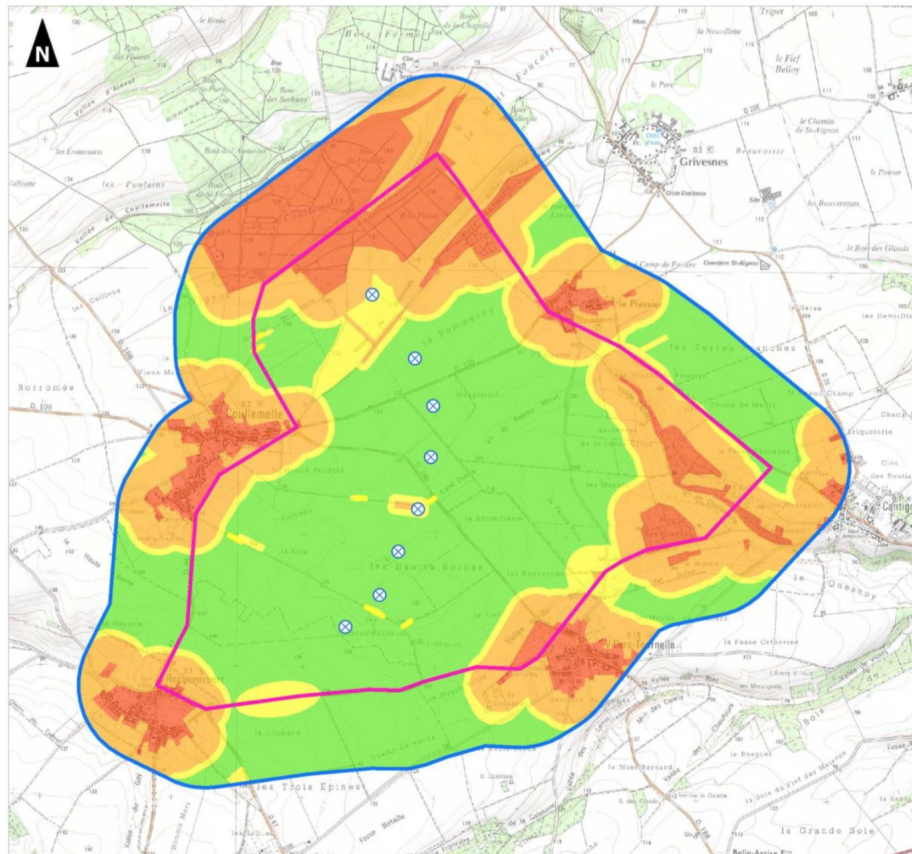


Figure 13: Variante Cbis à 10 éoliennes

2.3 Analyse des variantes

2.3.1 Analyse écologique

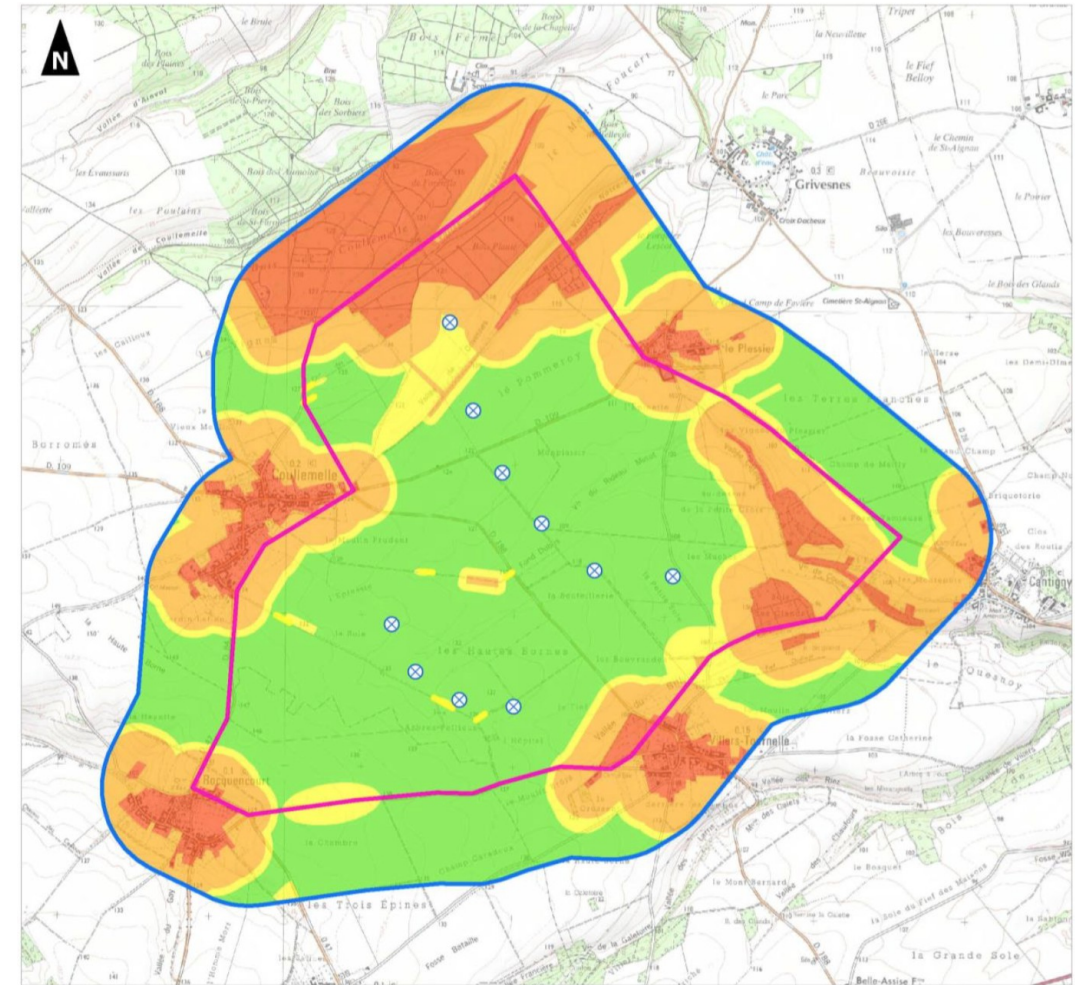
2.3.1.1 Variante A à 8 éoliennes



Cette variante est composée de 8 éoliennes disposées en arc de cercle ouvert vers l'ouest. Toutes les éoliennes se trouvent dans des secteurs à enjeux faibles, exceptées deux. L'éolienne la plus au nord se trouve dans la même situation que dans la variante C (moins de 250 m du Bois de Coullemelle et dans un secteur de nidification du Busard Saint-Martin). L'autre éolienne ne trouve dans un secteur à enjeux forts (haie basse qui sert de zone de chasse aux chiroptères). Ainsi, ces deux éoliennes ne respectent pas les recommandations formulées en pages 117, 137 et 140 de la présente étude. Cette implantation pourrait augmenter les risques de collision pour les chiroptères.

Enfin, l'implantation en arc de cercle ne permet pas de réduire les risques de collision pour les oiseaux migrateurs, notamment lors de la période pré-nuptiale, les oiseaux arrivant du sud-ouest et qui décident de le contourner par le nord se retrouveront dans une direction perpendiculaire à leur trajectoire d'origine.

2.3.1.2 Variante B à 10 éoliennes

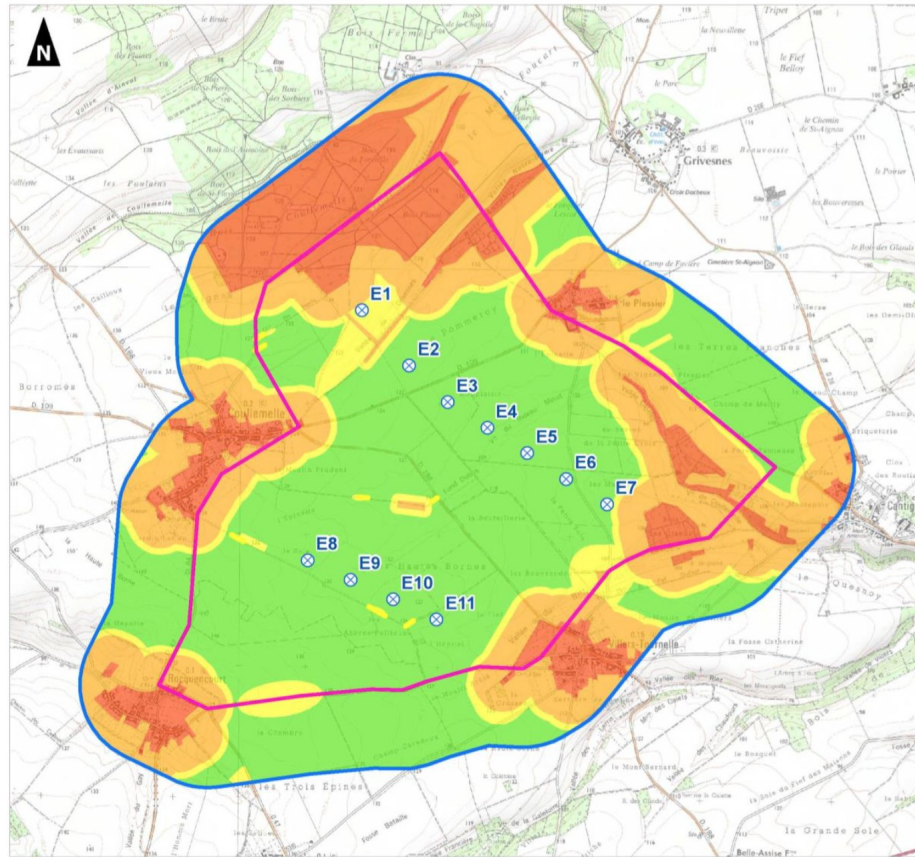


Cette variante est composée de 10 éoliennes disposées en deux arcs de cercle de 6 et 4 éoliennes, pour celui le plus au sud.

Toutes les éoliennes se trouvent dans des secteurs à enjeux faibles, exceptées deux. L'éolienne la plus au nord se trouve, cette fois, dans une zone à enjeux forts car plus proche du Bois de Coullemelle (moins de 200 m) et toujours dans un secteur de nidification du Busard St-Martin. De plus elle se trouve à proximité des Bois Brûlé et Augustin. Cela augmente les risques de collision pour les chiroptères. L'autre éolienne ne trouve en limite d'une zone à enjeux modérés car au pied d'une haie basse. Ainsi, ces deux éoliennes ne respectent pas les recommandations formulées en pages 117, 137 et 140 de la présente étude.

Enfin, l'implantation en deux arcs de cercle ne permet pas de réduire les risques de collisions pour les oiseaux migrateurs, notamment lors de la période post-nuptiale, les oiseaux arrivant du nord-est sur la partie centrale du parc doivent faire demi-tour afin de le contourner.

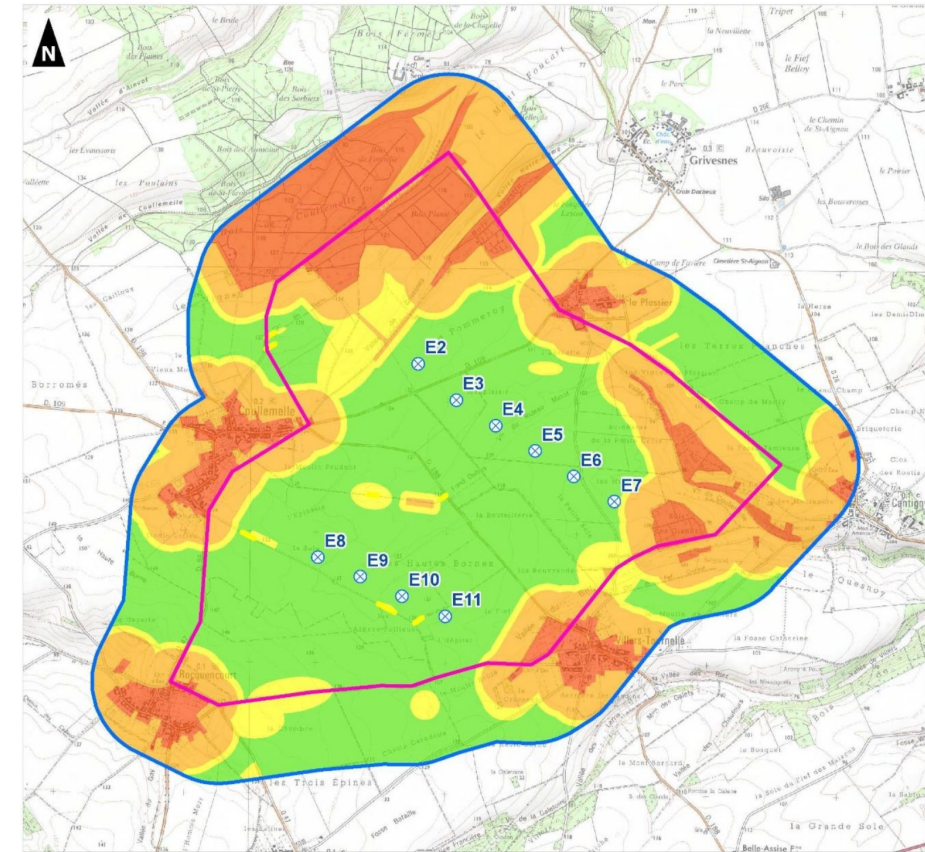
2.3.1.3 Variante C à 11 éoliennes



Cette variante est composée de 11 éoliennes réparties en deux lignes parallèles de 7 et de 5 éoliennes, orientées nord-ouest / sud-est. Toutes les éoliennes sont situées dans les secteurs à enjeux faibles sauf une. Cette dernière se trouve au niveau d'une zone à enjeux modérés, à proximité du Bois de Coullemelle (entre 200 et 250 m), ce qui représente un risque de collision potentiel pour les chauves-souris. De plus elle se trouve dans un secteur de nidification du Busard Saint-Martin. Ainsi, cette éolienne ne respecte pas les recommandations émises aux pages 117, 137 et 140 de la présente étude.

Enfin, les deux lignes d'éoliennes sont orientées selon un axe perpendiculaire à celui de la migration des oiseaux en général en Picardie et constaté lors de cette étude, ce qui pourrait augmenter les risques de collision pour l'avifaune. Toutefois, les effectifs observés sont peu importants et sans commune mesure avec ce qui peut être observé sur les axes principaux de migration dans la région.

2.3.1.4 Variante Cbis à 10 éoliennes



Cette variante est la même variante que la variante précédente mais avec la suppression de l'éolienne E1 afin d'éviter l'implantation de celle-ci dans un secteur à enjeu modéré pour l'avifaune de part la nidification du Busard Saint-Martin et afin d'être à plus de 250 m du Bois de Coullemelle.

2.3.2 Analyse paysagère

2.3.2.1 Variante A à 8 éoliennes

■ Atouts

Une seule ligne courbe d'axe nord-sud, équidistante des habitations environnantes, pour obtenir le meilleur éloignement possible des lieux de vie (1 200 m au minimum). L'implantation est simple et régulière ce qui la rend aisée à interpréter dans le paysage du plateau.

■ Inconvénients

Le principe de la courbe est perpendiculaire à toutes les chaussées qu'elle recoupe (RD109 entre Coullemelle et le Plessier & RD188 entre Coullemelle et Villers-Tournelle). Cela écarte l'effet d'accompagnement linéaire des trajets inter-villages pour ne laisser qu'un effet de porte lorsque la route est encadrée d'éoliennes. Par ailleurs, cette configuration génère un effet barrière par rapport à l'arrivée ouest sur Coullemelle et son église protégée. Pour une grande structure linéaire comme ici, il est plus opportun de rechercher une meilleure cohérence avec les axes de déplacement locaux.

2.3.2.2 Variante B à 10 éoliennes

■ Atouts

Compte tenu de l'espace disponible au sein de la ZIP, il est réaliste de privilégier la recherche d'une meilleure efficacité énergétique. C'est l'objectif de cette variante avec deux lignes courbes qui, par la même occasion, offrent ici une organisation apportant une bonne structuration avec la RD 188 qui leur est globalement parallèle. À la demande des mairies concernées une distance minimale des habitations de 900 m est maintenue, soit 400 m au-delà de la distance de 500 m imposée par la réglementation.

À noter un évitement significatif : l'effet barrière depuis l'ouest de Coullemelle, ce qui est mesure significative au regard de l'impact sur la silhouette du village.

■ Inconvénients

L'effet de porte est maintenu vis-à-vis de la RD109 entre Coullemelle et Le Plessier. La lecture des deux lignes courbes, surtout vues dans l'axe sud-est / nord-ouest, est altérée par le défaut d'alignement des éoliennes. C'est l'inconvénient majeur persistant dans cette variante à 10 éoliennes.

2.3.2.3 Variante C à 11 éoliennes

■ Atouts

Cette implantation est une évolution de la variante B avec le maintien du principe général des deux lignes qui se voit sensiblement amélioré. Les courbures ont été réduites au maximum afin de gagner en lisibilité : une meilleure organisation sera donc perçue depuis les perspectives nord-ouest et sud-est.

La distance minimale de 900 m avec les habitations les plus proches est maintenue et l'espace de respiration instauré entre Coullemelle et Villers-Tournelle est plus qualitatif grâce à des limites plus franches.

■ Inconvénients

Il n'y a pas de contrainte majeure au regard de l'agencement général de ce dernier principe d'implantation. On note cependant l'irrégularité entre E1 et le reste de la ligne E2-E7, qui peut entraîner des difficultés de lecture du projet comme un tout depuis le nord-est.

2.3.2.4 Variante Cbis à 10 éoliennes

■ Atouts

Le projet retenu consiste en l'implantation de la variante C en supprimant l'éolienne E1. La ligne E2-E7 est donc maintenant régulière et facilement perçue dans le paysage.

■ Inconvénients

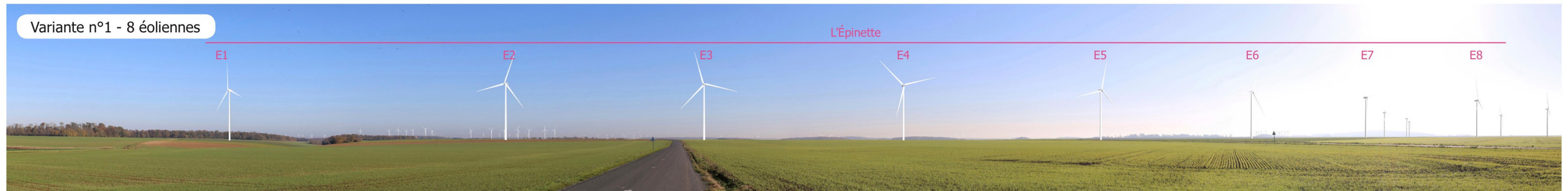
Il n'y a pas de contrainte majeure au regard de l'agencement général de ce dernier principe d'implantation.

2.3.2.5 Justification du choix des photomontages pour simuler chacune des variantes

Trois points de vue sont retenus pour l'analyse des variantes. Ils sont situés autour de la zone d'implantation potentielle (ZIP) parmi les lieux de vies les plus proches. Ils ont été retenus afin d'apprécier la perception des différentes implantations depuis des angles de vue variés Ils sont localisés ci-après avec le projet retenu.

Cf. pages suivantes

■ Comparaison des variantes - Photomontage n°12 depuis Coullemelle



La courbe, dont l'effet est à peine perceptible ici, présente une bonne intégration générale avec un travail sur le rythme. Le rapport d'échelle (qu'il soit vertical ou latéral) est proportionné à la dimension du plateau agricole permettant de recevoir un tel équipement. Néanmoins cet alignement de près de 3 km de long génère un effet barrière très fort sur Coullemelle, depuis les entrées/sorties ouest et est.



La double courbe évoque un habillage plus travaillé sur la plaine avec un effet de perspective et l'instauration d'un espace de respiration. Cependant l'incurvation est trop marquée et complique la lecture avec un manque de structuration.



La variante n°3 conserve les principes de la variante n°2. La perception visuelle est nettement améliorée grâce à l'évolution de l'implantation passant d'un système courbe à un système plus rectiligne. La bonne compréhension du positionnement des machines entre elles est un facteur d'intégration positif.



Le projet retenu correspond à la variante n°3 à laquelle l'éolienne E1 a été supprimée. Aux atouts évoqués précédemment s'ajoute un angle visuel intercepté nettement inférieur aux autres propositions.

■ Comparaison des variantes - Photomontage n°23 depuis Le Plessier

Variante n°1 - 8 éoliennes



Avec une vue située « dans le prolongement » de l'axe principal de la courbe, le principe d'implantation montre un front de 4 éoliennes (E1 à E4) prolongé d'une perspective fuyante (E5 à E8). La lecture du projet est délicate et sans régularité.

Variante n°2 - 10 éoliennes



Dans le cas d'une observation face à la plus grande extension latérale du projet, l'effet d'incurvation est nettement moins perçu que depuis un point de vue situé dans l'alignement. Ainsi la perspective de la courbure est amenuisée et l'intégration perçue progresse en qualité.

Variante n°3 - 11 éoliennes



La variante n°3 est quasiment identique à la variante n°2 avec pour seule différence une légère translation de l'ensemble du projet vers la gauche de la photographie. La ligne E1 à E7 est au premier plan et intègre la seconde ligne E8 à E11 située plus à l'arrière-plan. La régularité de l'ensemble, le respect des inter-distances et le graphisme perçu contribuent à la bonne qualité visuelle de cette variante à 11 éoliennes.

Variante retenue - 10 éoliennes

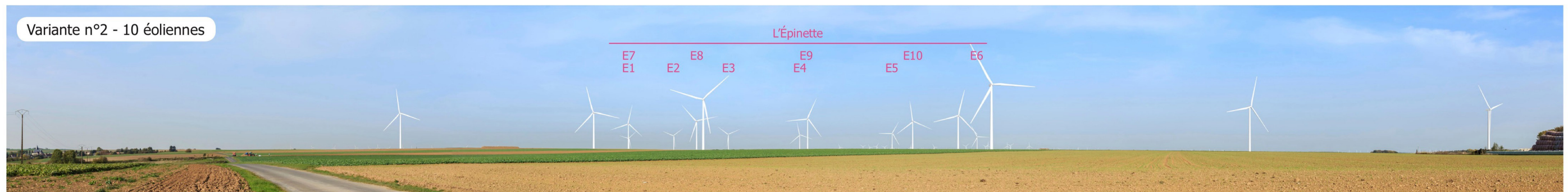


Le projet retenu garde la qualité visuelle de la variante n°3 tout en diminuant l'angle visuel intercepté.

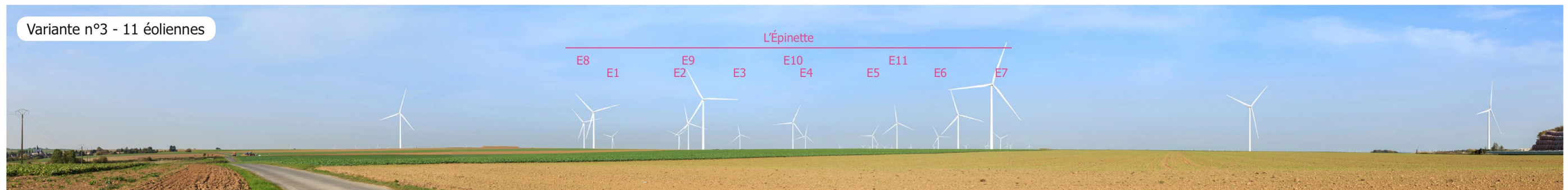
■ Comparaison des variantes - Photomontage n°47 depuis Sérévillers



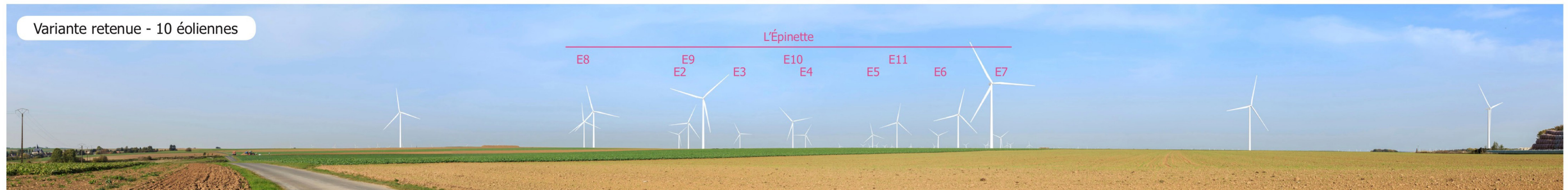
Avec ici plus de recul, cette dernière présentation de la variante courbe à 8 éoliennes révèle que le manque de structuration est à l'origine d'un défaut d'équilibre général du projet dans le bassin paysager. Sa situation en arrière-plan du projet de Clairville-Motteville vient s'ajouter à une lecture déjà difficile.



La disposition perçue depuis le sud est une autre approche « face » au projet, comme depuis Le Plessier. Sans percevoir l'effet d'incurvation, l'ensemble montre la régularité obtenue et une intégration réussie sur le plateau.



L'ensemble du projet de l'Épinette est visible dans la variante n°3, avec la ligne de 4 éoliennes (E8 à E11) au premier plan. Le bombement topographique et la position en arrière-plan de la ligne E2 à E7 masquent le pied des mats d'éoliennes. La perception est ainsi très similaire à la variante n°2 sans effet notable lié à la différence de densité (1 éolienne supplémentaire). L'ensemble est homogène et rend compte d'une bonne cohérence d'échelle avec le plateau.



La perception du projet retenue est très similaire à celle de la variante n°3. La disparition de l'éolienne E1 entraîne une légère impression de deux lignes décalées depuis ce point de vue. L'ensemble s'intègre bien dans le paysage et semble s'inscrire dans le prolongement du projet de Clairville-Motteville.

2.4 Bilan de l'analyse : variante retenue

D'un point de vue écologique, c'est la variante Cbis qui paraît globalement la moins impactante pour les chiroptères et les oiseaux.

D'un point de vue paysager, c'est également la variante Cbis à 10 éoliennes qui présente la meilleure qualité visuelle.

C'est donc la variante Cbis qui a été retenue par la société VALECO.

CHAPITRE 3. PRÉSENTATION DU PROJET

3.1 Généralités sur l'éolien

3.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes :

- Plusieurs éoliennes fixées chacune sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ;
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien ») ;
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public) ;
- Un réseau de chemins d'accès aux éléments du parc ;
- Des moyens de communication permettant le contrôle et la supervision à distance du parc éolien ;
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

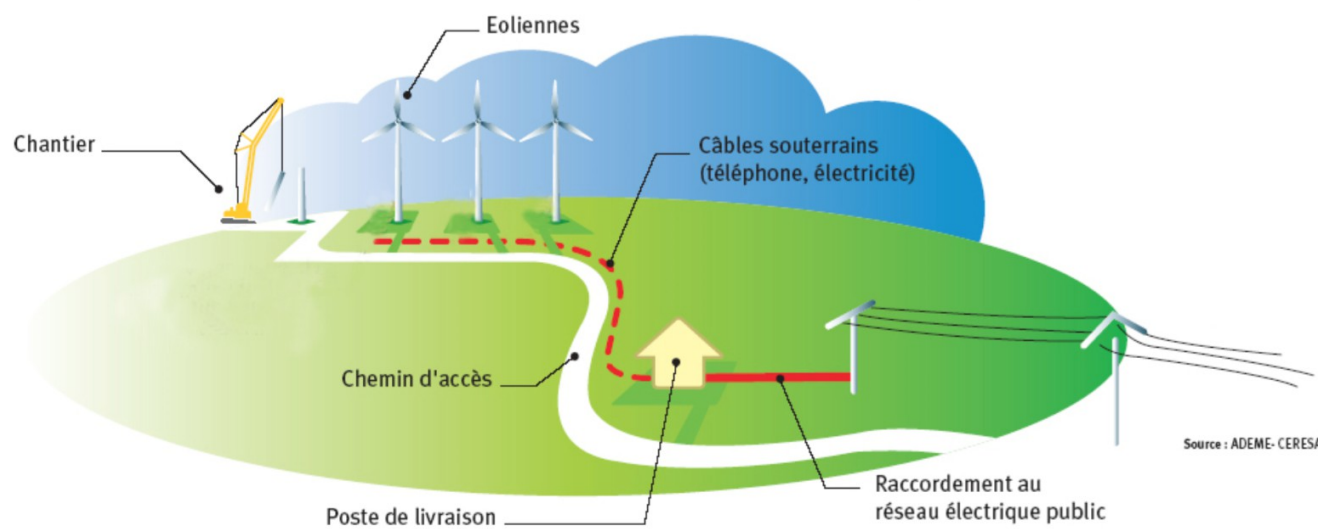


Figure 14: Caractéristiques d'un parc éolien
(Source : ADEME-CERESA)

3.1.1.1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 5 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
 - le système de freinage mécanique ;
 - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
 - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aérienne.

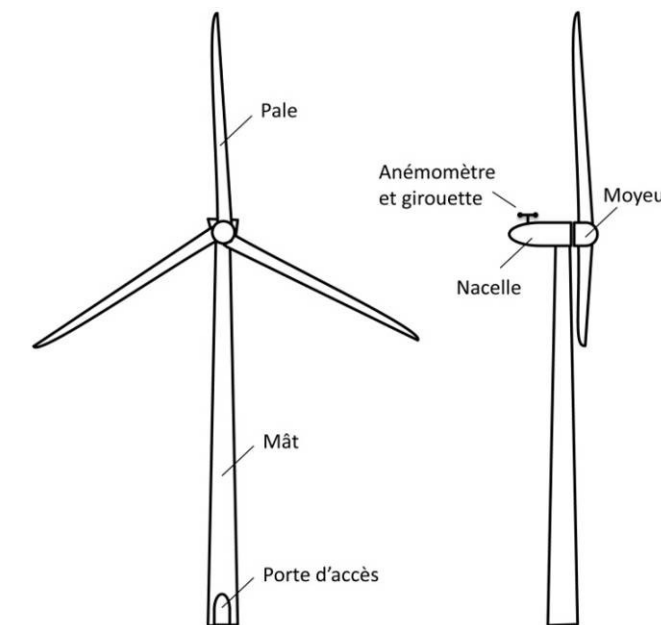


Figure 15: Schéma simplifié d'un aérogénérateur

3.1.1.2 Emprise au sol

Plusieurs emprises au sol sont nécessaires pour la construction et l'exploitation des parcs éoliens :

- **La surface de chantier** est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.
- **La fondation de l'éolienne** est recouverte de terre végétale. Ses dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.
- **La zone de surplomb ou de survol** correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport à l'axe du mât.
- **La plateforme** correspond à une surface permettant le positionnement de la grue destinée au montage et aux opérations de maintenance liées aux éoliennes. Sa taille varie en fonction des éoliennes choisies et de la configuration du site d'implantation.

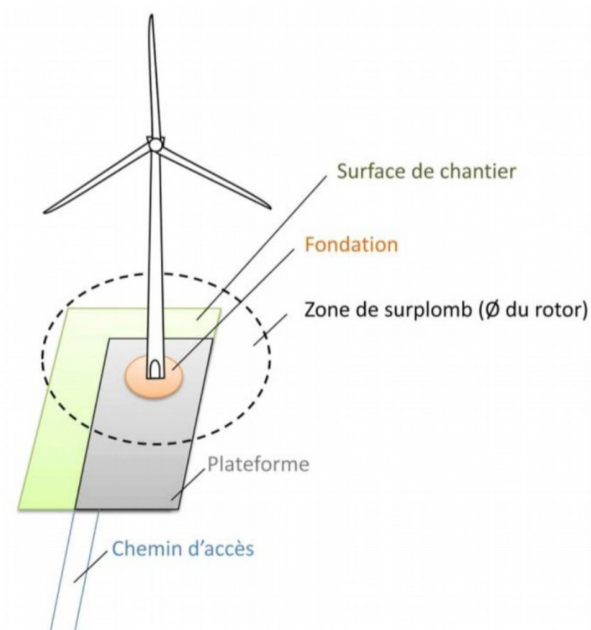


Figure 16: Illustration des emprises au sol d'une éolienne

3.1.2 Procédés de fabrication mis en oeuvre

3.1.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur

Une éolienne est une installation de production énergétique transformant l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique qui peut alors être exportée sur le réseau électrique national.

Les trois pales du rotor ont un pas et une vitesse de rotation variables, ce qui présente un certain nombre d'avantages :

- production optimale dans tous les régimes de vent,
- lissage de la puissance générée en conduisant à une grande qualité de courant,
- possibilité d'arrêter l'éolienne sans frein mécanique,
- adaptation des niveaux sonores émis.

C'est la force du vent qui entraîne la rotation des pales, entraînant avec elles la rotation d'un arbre moteur dont la vitesse est amplifiée grâce à un multiplicateur. L'électricité est produite à partir d'une génératrice située dans la nacelle.

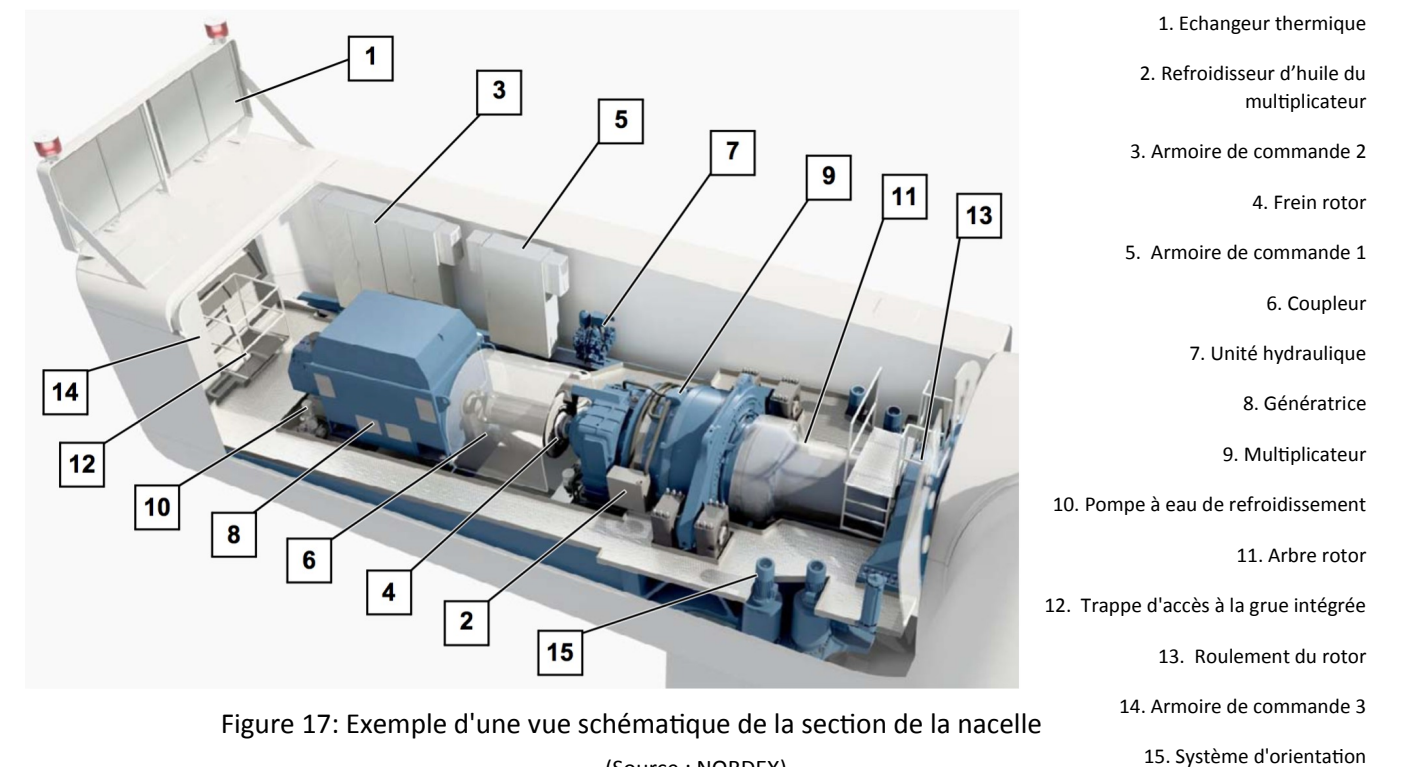


Figure 17: Exemple d'une vue schématique de la section de la nacelle

(Source : NORDEX)

Concrètement, une éolienne fonctionne dès lors que la vitesse du vent est suffisante pour entraîner la rotation des pales. Plus la vitesse du vent est importante, plus l'éolienne délivrera de l'électricité (jusqu'à atteindre le seuil de production maximum).

Dès que la vitesse du vent atteint la vitesse de démarrage (3 m/s), un automate, informé par un capteur de vent, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent. Les trois pales sont alors mises en mouvement par la seule force du vent. Elles entraînent avec elles le multiplicateur et la génératrice électrique.

Lorsque la vitesse du vent est suffisante, l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor tourne alors à sa vitesse nominale.

La génératrice délivre alors un courant électrique alternatif à la tension de 660 volts, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent. Ainsi, lorsque cette dernière croît, la portance s'exerçant sur le rotor s'accroît et la puissance délivrée par la génératrice augmente.

Quand la vitesse du vent atteint environ 13 m/s, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales. Un système hydraulique régule la portance en modifiant l'inclinaison des pales par pivotement sur leurs roulements (chaque pale tourne sur elle-même).

En cas de vent fort, le rotor est arrêté automatiquement et maintenu en position fixe. Pour le modèle retenu, cela se produit quand le vent atteint une vitesse moyenne supérieure à 25 m/s (90 km/h).

Le frein principal de l'aérogénérateur est de type aérodynamique par la mise en drapeau des pales. Le système de changement de pas étant indépendant pour chacune des pales, cela permet de disposer d'un système de sécurité en cas de défaillance de l'une d'elles.

3.1.2.2 Fonctionnement des réseaux de l'installation

L'électricité est évacuée de l'éolienne puis elle est délivrée directement sur le réseau électrique. L'énergie produite n'est donc pas stockée.

Le système électrique de chaque éolienne est prévu pour garantir une production d'énergie en continu, avec une tension et une fréquence constantes. Le poste de transformation, situé à l'arrière de la nacelle de chaque éolienne ou dans la base du mât, élève la tension délivrée par la génératrice de 660 V à 20 000 V. L'électricité produite est ensuite conduite jusqu'au poste de livraison via le réseau inter-éolien puis jusqu'au réseau de distribution (Enedis).

■ Réseau inter-éolien (RIE)

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans la nacelle (ou dans la base du mât) de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public (Cf. Figure 25 p.57).

Le RIE est assuré par un câblage en réseau souterrain, 20 000 volts, de section 240 mm² Al maximum. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm en accotement de voies et à 120 cm minimum en plein champ.

Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance.

■ Poste de livraison

Le poste électrique a pour fonction de centraliser l'énergie produite par toutes les éoliennes du parc, avant de l'acheminer vers le poste source du réseau électrique national. Il constitue la limite entre le réseau électrique interne et externe.

Il est conforme aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).

Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur sont entretenues en bon état et contrôlées ensuite à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente.

Cf. § 3.2.2.5 Le réseau inter-éolien, les postes de livraison et le raccordement externe, p.57

3.1.2.3 Eléments de sécurité

■ Système de freinage

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

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

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

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

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

■ Protection foudre

Les éoliennes sont équipées d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts. Elles sont également équipées d'un système de mise à la terre conformément à l'arrêté du 26 août 2011.

L'article 22 de l'arrêté du 26 août 2011 évoque les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité en cas d'orages.

Les articles 23 et 24 de l'arrêté du 26 août 2011 précisent le système de détection et d'alerte en cas d'incendie ainsi que les moyens de lutte contre l'incendie.

Les éoliennes répondent également aux exigences de l'arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, modifié par l'arrêté du 19 juillet 2011 :

Article 16, troisième alinéa : « *En outre, les dispositions du présent arrêté peuvent être rendues applicables par le préfet aux installations classées soumises à autorisation non visées par l'annexe du présent arrêté dès lors qu'une agression par la foudre sur certaines installations classées pourrait être à l'origine d'événements susceptibles de porter atteinte, directement ou indirectement, aux intérêts visés à l'article L. 511-1 du Code de l'environnement.* ».

■ Système de détection de givre/glace

Dans le cas de conditions climatiques extrêmes (froid et humidité importante), la formation de glace sur les pales de l'éolienne peut se produire. Les éoliennes sont munies d'un système de gestion qui identifie toute anomalie de fonctionnement.

Le système de détection de givre/glace utilise la modification importante des caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/puissance/angle de pale) en cas de formation de givre ou de glace sur les pales du rotor.

Une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu généralement en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement de l'éolienne.

La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande de l'éolienne. Une modification non plausible d'une valeur de mesure est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée.

■ Système de contrôle à distance

Toutes les fonctions de l'éolienne sont commandées et contrôlées en temps réel par microprocesseur. Ce système de contrôle-commande est relié par fibre optique aux différents capteurs qui équipent l'éolienne.

Différents paramètres sont évalués en permanence (tension, fréquence, phase du réseau, vitesse de rotation de la génératrice, températures, niveau de vibration, pression d'huile et usure des freins, données météorologiques).

Les données de fonctionnement peuvent être consultées à partir d'un PC par liaison téléphonique, ce qui permet au constructeur, à l'exploitant et à l'équipe de maintenance des éoliennes de se tenir informés de l'état de l'éolienne, et d'intervenir à distance sur le parc.

Les câbles de cette liaison empruntent le tracé du réseau d'évacuation de l'électricité. Une alimentation de secours en énergie d'une autonomie d'au moins douze heures est prévue pour remplacer au bout de quinze secondes maximum l'alimentation principale qui viendrait à être en panne.

3.1.2.4 Respect des principales normes applicables à l'installation

Le parc éolien de l'EpINETTE veillera à ce que les solutions proposées par le constructeur répondent à l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation.

■ Conformité aux prescriptions générales

L'exploitant a procédé à une analyse de conformité du projet aux prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent. Les principales normes et certifications exigées par l'arrêté seront respectées.

Cf. Dossier 5- Etude de dangers

■ Certificats des éoliennes

Les éoliennes font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes.

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes, présentée ci-dessous, n'est pas exhaustive (il y a en effet des centaines de standards applicables). Seules les principales normes sont présentées.

Normes	Description
La norme IEC61400-1 / NF EN 61400-1 Juin 2006 intitulée « Exigence de conception »	Fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien. Ainsi, la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent à la norme IEC61400-1. Les pales respectent la norme IEC61400-1 ; 12 ; 13.
La norme IEC60034	Normes de construction des génératrices.
La norme ISO 81400-4	Fixe les règles pour la conception du multiplicateur.
Standard IEC61400-24	Protection foudre de l'éolienne.
Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004	Règlementations concernant les ondes électromagnétiques
Norme ISO 9223	Traitement anticorrosion des éoliennes

Tableau 8 : Exemples de normes et standards appliquées pour la construction des éoliennes

Cf. Dossier 5- Etude de dangers : Certificat de conformité des éoliennes à la norme IEC 61400-1

3.1.2.5 Stockage de flux et produits dangereux

Les produits utilisés dans le cadre du parc éolien de l'EpINETTE permettent le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

- Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations (graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage...), qui une fois usagés sont traités en tant que déchets dangereux ;
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyants...) et les déchets non dangereux associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...).

Les quantités de produits présents dans les éoliennes sont précisées dans l'étude de dangers.

Cf. Dossier 5- Etude de dangers

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

3.2 Les installations du parc éolien

3.2.1 Coordonnées géographiques du projet

Les coordonnées géographiques des 10 éoliennes (E) et des 3 postes de livraison (PDL) sont les suivantes :

Nom de l'installation	LB 93 (m)		WGS 84		Altitude du terrain naturel (m NGF)
	X	Y	Latitude	Longitude	
E2	659 832,204	6 952 849,867	49°40'24.4792"N	2°26'37.7939"E	121
E3	660 093,386	6 952 539,634	49°40'14,5032"N	2°26'50,9206"E	119
E4	660 391,147	6 952 335,234	49°40'7,9585"N	2°27'5,8323"E	112
E5	660 719,769	6 952 181,425	49°40'3,0567"N	2°27'22,2636"E	114
E6	661 038,796	6 952 012,810	49°39'57,6731"N	2°27'38,2209"E	109
E7	661 370,846	6 951 864,096	49°39'52,9356"N	2°27'54,8195"E	101
E8	659 113,829	6 951 456,696	49°39'39,2482"N	2°26'2,4847"E	126
E9	659 452,446	6 951 339,051	49°39'35,5208"N	2°26'19,4004"E	120
10	659 784,979	6 951 220,035	49°39'31,7470"N	2°26'36,0128"E	124
E11	660 125,565	6 951 096,443	49°39'27,8264"N	2°26'53,0272"E	125
PDL1	659 849,648	6 952 613,671	49°40'16,8428"N	2°26'38,8428"E	121
PDL2	661 121,079	6 952 047,779	49°39'58,8225"N	2°27'42,3098"E	108
PDL3	659 709,571	6 951 338,993	49°39'35,5779"N	2°26'32,2133"E	121

Tableau 9 : Coordonnées géographiques des installations

Cf. Cartes :

Situation du projet à l'échelle de l'aire d'étude éloignée, p.52

Situation du projet à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée, p.53

Situation du projet à l'échelle de l'aire d'étude immédiate, p.54

3.2.2 Les installations permanentes

3.2.2.1 Les éoliennes

A ce stade d'avancement du projet, plusieurs modèles d'éoliennes ont été retenus par Valeco pour le parc éolien de l'EpINETTE :

- le modèle V136 du constructeur Vestas,
- le modèle N131 du constructeur Nordex,
- le modèle G132 du constructeur Gamesa,
- le modèle 3.4-137 du constructeur GE,

ou équivalent.

Les éoliennes auront le dimensionnement suivant :

Modèle	Hauteur de mât	Diamètre du rotor	Hauteur hors tout	Puissance unitaire
Vestas V136	112 m	136 m	180 m	3 450 m
Gamesa G132	114 m	132 m	180 m	3 300 m
Nordex N131	114 m	131 m	179,5 m	3 600 m
GE137	110 m	137 m	178,5 m	3 400 m

Tableau 10 : Dimensions des modèles d'éoliennes envisagés

La hauteur totale de chaque éolienne, quel que soit le modèle retenu, sera donc de 180 m maximum par rapport au terrain naturel lorsqu'une pale est en position verticale.

Il appartiendra à la société VALECO de faire le choix du fabricant après l'obtention des autorisations administratives.

Les informations présentées dans le tableau p.55 correspondent aux quatre modèles d'éoliennes à l'étude.

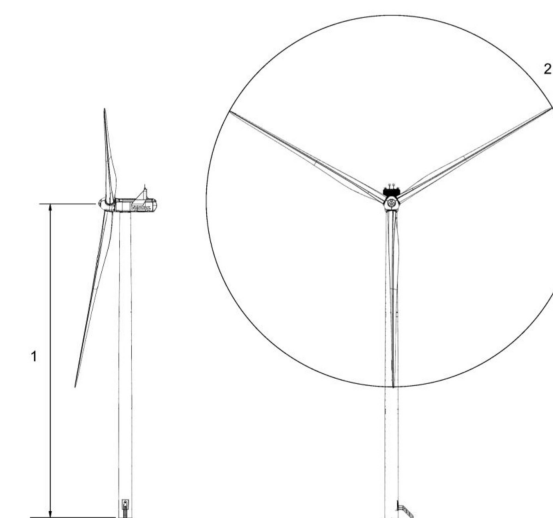


Figure 18: Schéma des dimensions d'éolienne

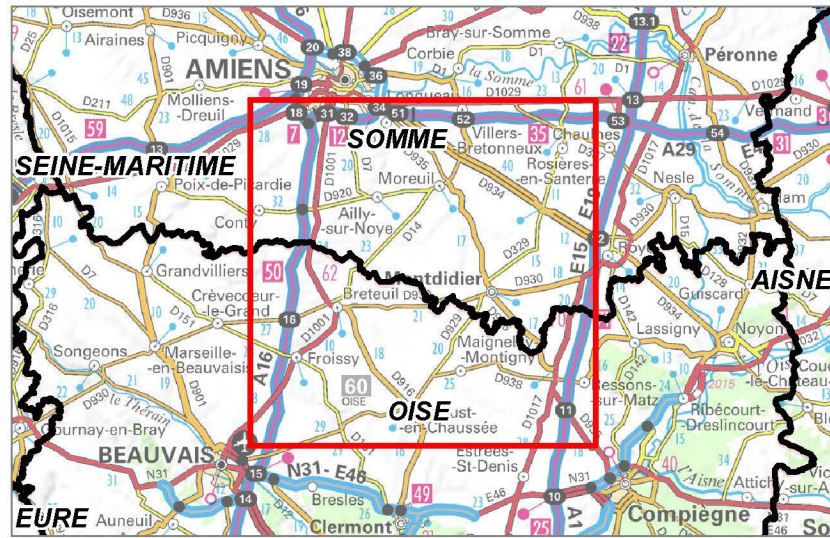
(Source : VESTAS)








Selon le modèle retenu

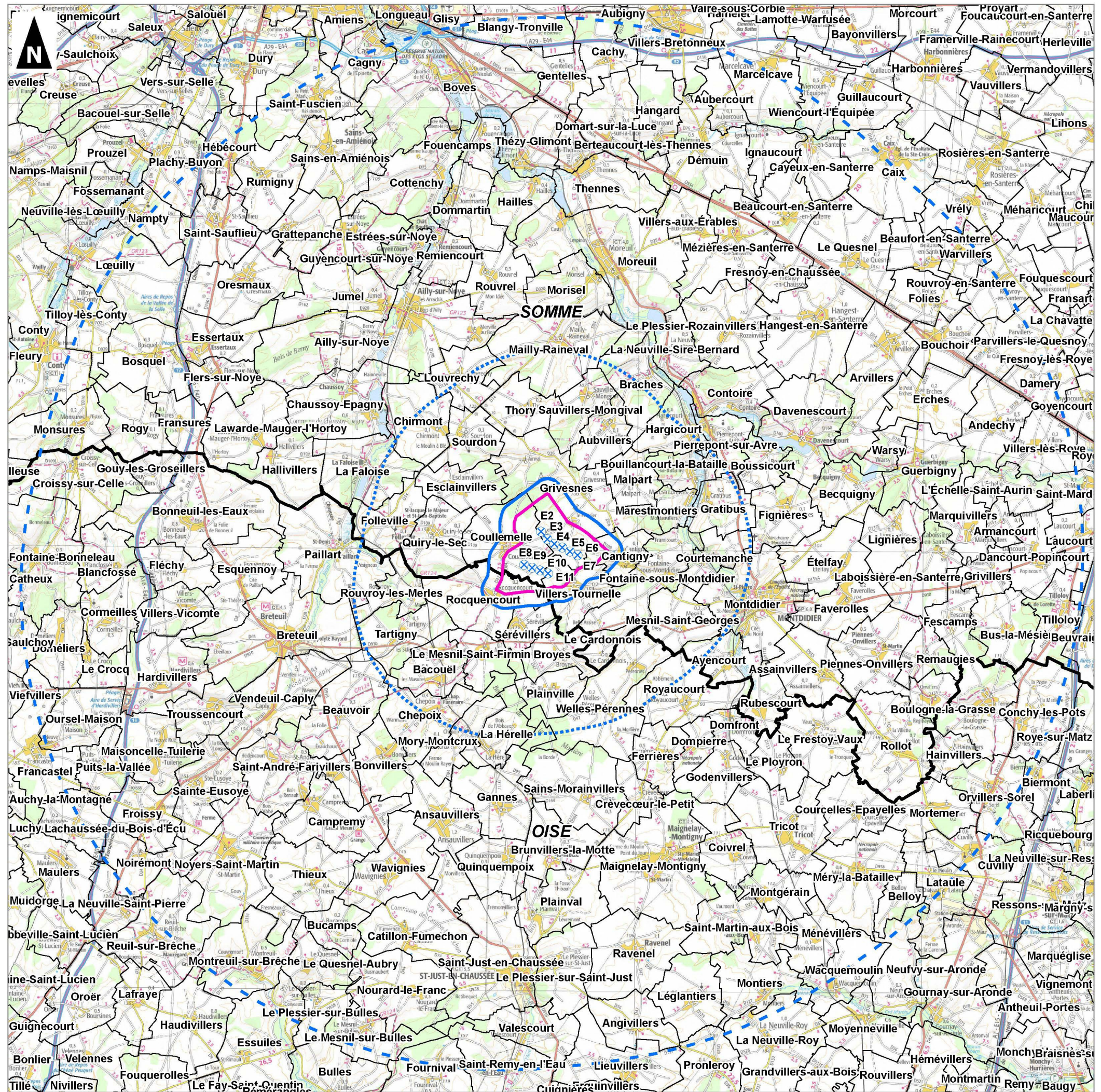
1 : 110 à 114 m

2 : 131 à 137 m

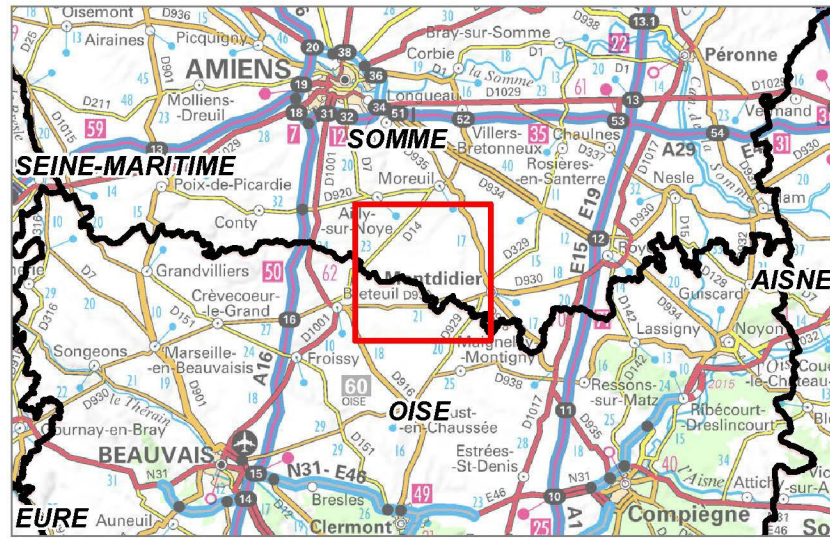
Implantation du projet de parc éolien à l'échelle de l'aire d'étude éloignée









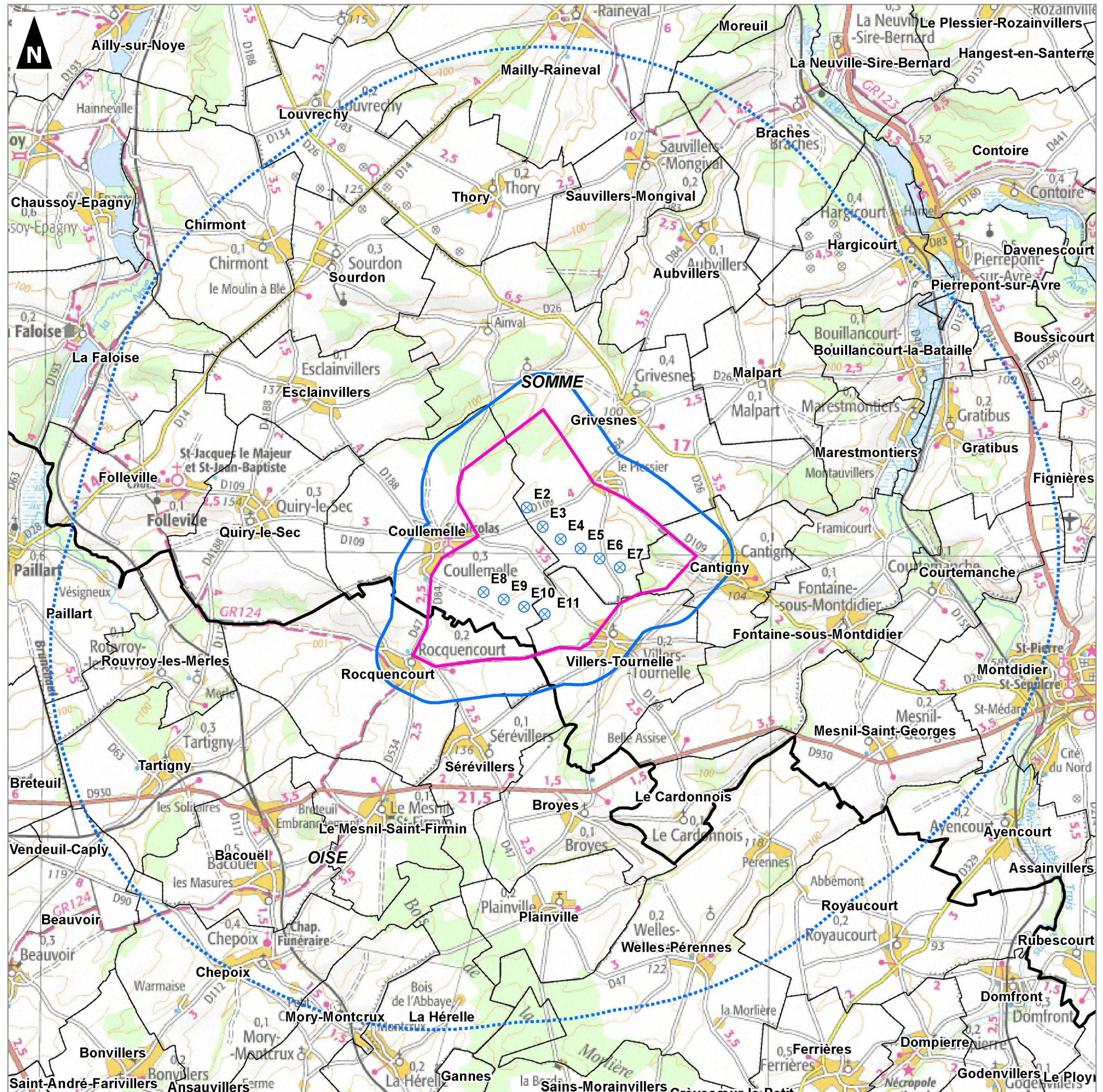
-  Eolienne
-  Zone d'Implantation Potentielle (ZIP)
-  Aire d'étude immédiate (600 m)
-  Aire d'étude rapprochée (6 km)
-  Aire d'étude éloignée (20 km)
-  Limite communale
-  Limite départementale



Implantation du projet de parc éolien à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée



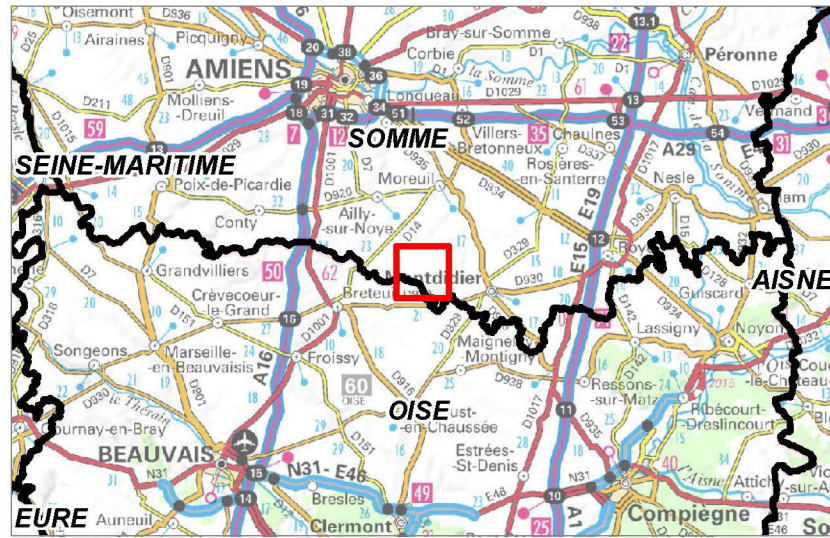
-  Éolienne
-  Zone d'Implantation Potentielle (ZIP)
-  Aire d'étude immédiate (600 m)
-  Aire d'étude rapprochée (6 km)
-  Limite communale
-  Limite départementale



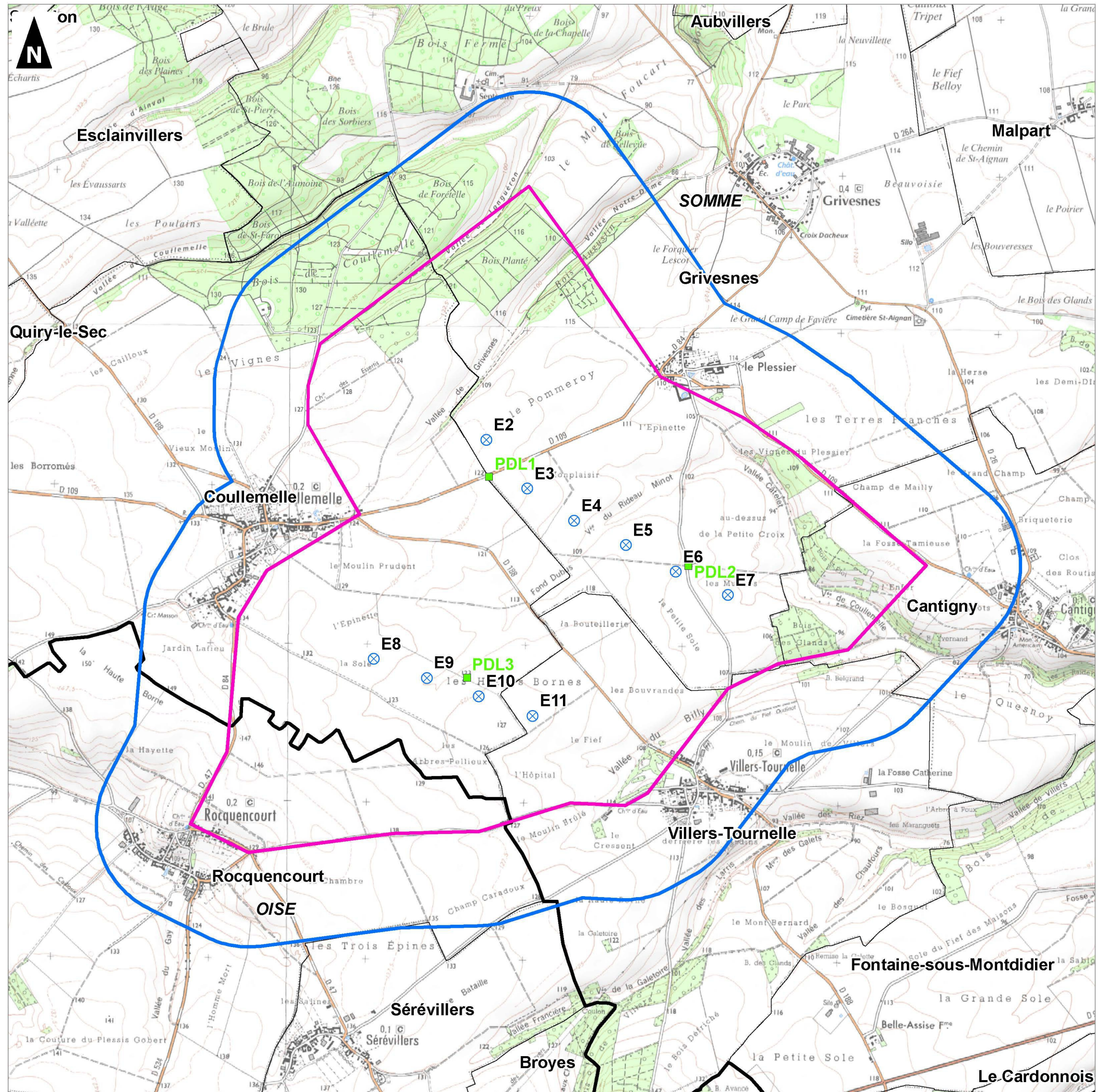
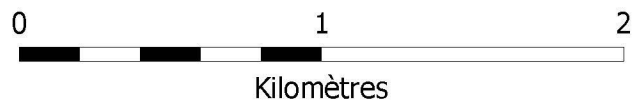
Projet éolien de l'Épinette (80)

Demande d'Autorisation Environnementale

Implantation du projet de parc éolien à l'échelle de l'aire d'étude immédiate



- Éolienne
- Poste de livraison
- Zone d'Implantation Potentielle (ZIP)
- Aire d'étude immédiate (600 m)
- Limite communale
- Limite départementale



MODELE :	VESTAS V136	NORDEX N131	GAMESA G132	GE 3.4-137
Rotor				
Vitesse de vent au démarrage	3 m/s	3 m/s	nc	3 m/s
Vitesse de vent nominale	12 m/s	13 m/s	nc	13 m/s
Vitesse de vent de coupure	22,5 m/s	20 m/s	nc	25 m/s
Diamètre du rotor	136 m	131 m	132 m	137 m
Surface balayée	14 527 m ²	13 478 m ²	13 685 m ²	14 741 m ²
Plage de vitesses de rotation	nc	7,5 à 13,6 tours/min	6,82 à 10,9 tours/min	nc
Vitesse théorique de rotation	15,3 tours/min	11,9 tours/min	10,5 tours/min	nc
Pale				
Longueur d'une pale	66,7 m	64,4 m	64,5 m	nc
Matériau des pales	Fibre de verre renforcé avec époxy et fibres de carbone	Plastique renforcé avec fibre de verre et fibre de carbone	Fibre de verre renforcé avec époxy ou résine polyester	nc
Poids d'une pale	Approx. 12,5 t	Approx. 14,4 t	Approx. 15,6 t	nc
Mât				
Type de mât	Cylindrique/conique tubulaire	Cylindrique/conique tubulaire	Cylindrique/conique tubulaire	Cylindrique/conique tubulaire
Hauteur au moyeu (depuis le terrain naturel)	112 m	114 m	114 m	110 m
Poids du mât	Approx. 225 t	Approx. 365 t	Approx. 341 t	nc
Nacelle et génératrice (système électrique)				
Puissance nominale	3 450 kW	3 600 kW	3 300 kW	3 430 kW

MODELE :	VESTAS V136	NORDEX N131	GAMESA G132	GE 3.4-137
Fréquence nominale	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	nc
Tension nominale	690 V et 480 V en courant alternatif	660 V	690 V	nc
Poids	Approx. 154 t	Approx. 130 t	Approx. 125 t	nc
Contrôle et systèmes de protection				
Contrôle de la puissance	Système de réglage indépendant de chaque pale, 3 unités indépendantes avec système d'alimentation électrique de secours			
Contrôle de la vitesse	Variable par microprocesseur Système de réglage actif de l'angle de pales			
Système de freinage	Système principal – frein aérodynamique : 3 systèmes indépendants de réglage des pales (pitch control)			
Protection anti-foudre	Protection parafoudre dans les pales du rotor et mise à la terre des composants électriques			
Classe des éoliennes (résistance au vent)	IEC IIB / IEC IIA	nc	nc	IEC IIIB

nc : non communiqué

Tableau 11: Caractéristiques techniques des éoliennes

(Source : VESTAS, NORDEX, GAMESA, GE)

3.2.2.2 Les plateformes

A l'emplacement de chaque éolienne, une plateforme sera créée pour y installer la grue de levage et assurer le stockage des différents éléments composant l'éolienne avant son montage (nacelle, sections de tour). La superficie de cette aire sera d'environ 2 500 m².

L'ensemble des plateformes (aires de grutage) représente donc pour le parc une superficie de 25 000 m².

De manière à pouvoir recevoir les engins de chantier, le terrain sera compacté.

Cf. § 3.3 Description du chantier de construction, p.60



Figure 20: Grue de levage sur une plateforme



Figure 19: Assemblage d'une éolienne

Durant l'exploitation du parc, ces aires seront conservées en tant que parking pour les opérations de maintenance.

Elles seront également utilisées lors des opérations de démantèlement en fin d'exploitation du parc éolien.

Cf. § 3.2.3 Bilan des surfaces utilisées pour les installations permanentes, p.59

Cf. § 3.3 Description du chantier de construction, p.60

3.2.2.3 Les fondations

La fondation assure l'ancrage de l'éolienne dans le sol. Relativement peu profonde, elle est composée d'une semelle circulaire ou octogonale en béton armé (en général de 20 à 25 m de diamètre), dans laquelle est coulée une virole ou une cage d'ancrage en acier. Dans la majorité des cas, cet ouvrage repose à 4 m de profondeur.

La partie haute émerge du massif et comporte une bride à lèvre sur laquelle est fixé le mât de l'éolienne. La partie basse de cette virole coulée dans le béton est traversée par un maillage dense de ferrailage.

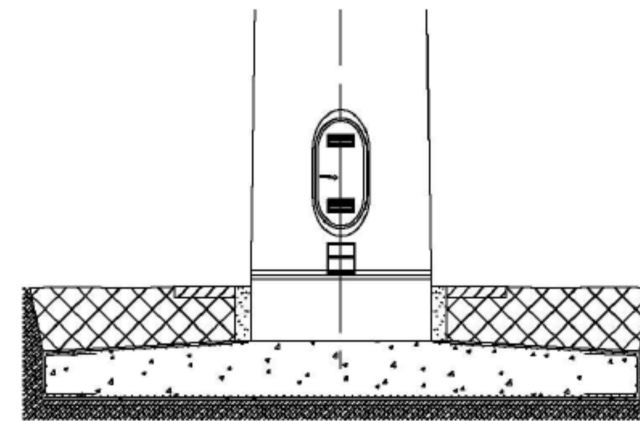


Figure 22: Schéma-type d'une fondation



Figure 21: Exemple de ferrailage en radier pour une éolienne (chantier en cours)

Le dimensionnement de la fondation nécessite deux étapes de calcul. A partir du poids et de la géométrie de l'éolienne (diamètre du rotor, hauteur du mât), et de la classe de vent de certification, on détermine la masse et la géométrie de la fondation. Dans un second temps, on procède au dimensionnement du ferrailage, et en particulier du couple virole/barre de reprise.

On détermine alors le dimensionnement à la fatigue de la virole mais aussi des armements en acier. Ce calcul à la fatigue est primordial pour garantir l'intégrité de l'ouvrage durant une période de 30 ans et plus.

3.2.2.4 Les chemins d'accès

Les chemins d'accès du site sont dimensionnés pour des engins de fort tonnage. Ils seront donc adaptés aux véhicules du service départemental d'incendie et de secours (SDIS). Ces accès sont entretenus.

Par ailleurs, au sein du site lui-même, il est nécessaire d'aménager une desserte pour chaque éolienne. Cette desserte utilisera dans la mesure du possible les chemins existants.

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

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

■ Structure des voies d'accès

La voirie doit être globalement plane afin de faciliter l'accès des convois exceptionnels car la garde au sol de certains véhicules est très limitée. Le profil en long des voies d'accès suit au maximum celui du terrain naturel afin de ne pas perturber l'écoulement des eaux de ruissellement. La pente longitudinale des voies est cependant limitée à 8 %. La pente transversale est, quant à elle, de 2 %.

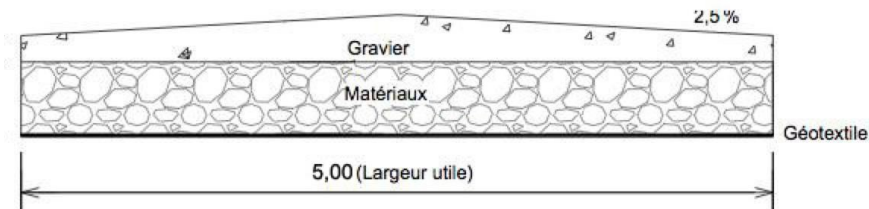


Figure 23: Exemple de structure des voies d'accès

■ Les virages

Afin que les camions de transport des composants des éoliennes puissent manœuvrer, il est nécessaire que les virages respectent un certain rayon de courbure, calculé selon le type d'éolienne. Par ailleurs, l'intérieur du virage doit être dégagé d'obstacles sur un rayon légèrement plus important (des adaptations peuvent être effectuées selon la configuration du terrain).

Pour le transport des éléments des éoliennes, chaque constructeur recommande ainsi des rayons minimum de courbure (R_{int}) et externes (R_{ext}) selon le schéma suivant :

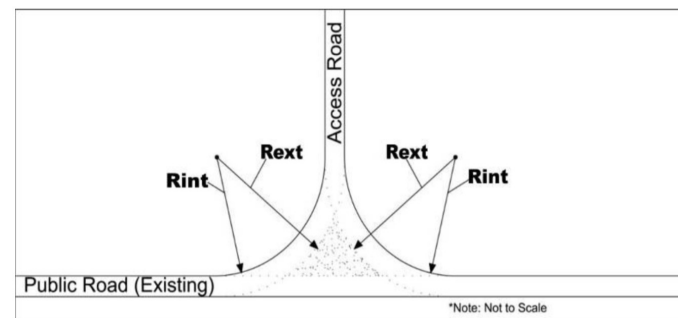


Figure 24: Aménagement des virages

R_{int}	58,0 m
R_{ext}	66,0 m

Tableau 12: Rayons de courbure interne (R_{int}) et externe (R_{ext})

Cf. Plans réglementaires du dossier de demande d'autorisation environnementale

3.2.2.5 Le réseau inter-éolien, les postes de livraison et le raccordement externe

Les aérogénérateurs produisent un courant alternatif, selon le modèle d'éolienne de 660 ou 690 V. Afin de pouvoir délivrer cette production sur le réseau national d'électricité, cette tension sera élevée à 20 000 V et chaque éolienne est ainsi équipée d'un transformateur 660 ou 690 / 20 000 V. Le transformateur se trouve dans la nacelle (partie haute de la nacelle) ou au pied du mât à l'intérieur de l'éolienne, ce qui évite toute emprise au sol supplémentaire.

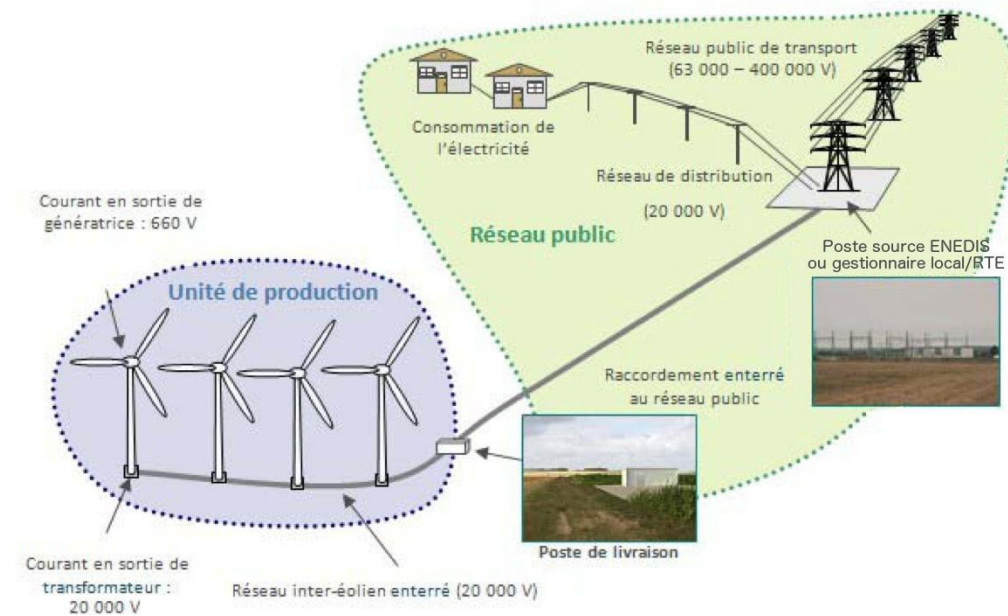


Figure 25: Principe du réseau de raccordement

■ Réseau inter-éolien (RIE)

Les éoliennes sont reliées entre elles et au poste de livraison par un ensemble de câbles souterrains suivant au mieux le tracé des chemins d'accès afin de limiter l'impact environnemental.

Cf. Plans réglementaires du dossier de demande d'autorisation environnementale

Les câbles sont enterrés à profondeur d'enfouissement de 85 cm en accotement des voies et à 120 cm minimum en plein champ. La position des conducteurs varie selon le nombre de circuits présents dans la tranchée. Sous culture et fossés, les câbles sont le plus souvent protégés par un géotextile ou à enterrabilité directe ; en croisement de voie, ils sont bétonnés dans des fourreaux. Une protection mécanique ainsi qu'un grillage avertisseur est installés entre les câbles et la surface.

Dans la tranchée, des câbles HTA (tension 20 000 V) permettent l'acheminement de l'énergie produite par les aérogénérateurs jusqu'au poste de livraison, un câble de fibre optique permet une communication entre tous les aérogénérateurs et le poste de contrôle.

■ Les postes de livraison (PDL)

Le poste de livraison a pour fonction de centraliser l'énergie produite par toutes les éoliennes du parc, avant de l'acheminer vers le poste source du réseau électrique national. Il constitue la limite entre le réseau inter-éolien (raccordement interne privé) et le réseau public de distribution (raccordement externe public).

Le parc éolien de l'Épinette compte 3 PDL :

- le PDL1 est implanté entre E2 et E3 le long de la RD109 ;
- le PDL2 se situe le long de la route communale qui passe à proximité de E6 ;
- le PDL3 sera le long du chemin d'accès qui reliera E9 et E10.

Cf. Carte : Situation du projet à l'échelle de l'aire d'étude immédiate, p.54

Le poste électrique définit le point de raccordement c'est-à-dire le point de connexion de l'installation au réseau électrique. Il peut s'agir entre autres d'un poste de livraison ou d'un poste de raccordement. Il constitue la limite entre le réseau électrique interne et externe.

Le poste électrique est conforme aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Cette installation est entretenue et maintenue en bon état.

Le poste électrique et l'installation électrique font l'objet d'une vérification initiale par un organisme indépendant avant la mise en service industrielle afin d'obtenir l'attestation de conformité délivrée par le Comité National pour la Sécurité des Usagers de l'Électricité (CONSUEL). L'attestation de conformité garantit pour l'utilisateur du réseau et pour le gestionnaire du réseau de distribution que l'installation en aval du point de livraison (PDL et liaison inter-éolienne) est réalisée selon les règles de sécurité en vigueur. L'attestation de conformité est établie par l'installateur et visée par le seul organisme accrédité à ce jour, « CONSUEL ».

Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur sont entretenues en bon état et contrôlées ensuite à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente.

La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs aux dites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 susvisé. Suite au rapport de l'organisme de contrôle, l'exploitant mettra en place des actions correctives permettant de résoudre les points soulevés le cas échéant.

■ Raccordement externe

• Rappel de la procédure d'obtention de la convention de raccordement

Le raccordement du parc éolien au réseau d'électricité public fait l'objet d'une procédure encadrée par le code de l'énergie. Celle-ci permet au gestionnaire de réseaux (RTE, ENEDIS...) de proposer aux producteurs une solution optimale, sans discrimination.

Un dossier de demande de raccordement ne peut être déposé qu'après l'obtention d'une autorisation environnementale. Lorsque la demande est déclarée recevable par le gestionnaire de réseau, la capacité d'accueil sollicitée est alors réservée et le projet est placé en file d'attente des demandes de raccordement pour un traitement par ordre chronologique d'arrivée.

Après réception du dossier de demande de raccordement et dans un délai de 3 mois maximum, le gestionnaire de réseau établit une offre de raccordement appelée PTF (Proposition Technique et Financière). Celle-ci comprend une description de la solution de raccordement retenue incluant les conditions techniques et financières du raccordement.

Le raccordement de ce projet intervient dans le cadre d'un S3REnR (Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables). Ces schémas permettent de réserver de la capacité d'accueil en MW au bénéfice des énergies renouvelables. En contrepartie, les installations de production d'énergies renouvelables concernées devront financer la création de capacité d'accueil prévue dans le cadre du S3REnR. Cette contribution financière prend la forme d'une quote-part, proportionnelle à la puissance installée.

• Raccordement au Réseau public

Le raccordement du projet au réseau public se fera entre le poste de livraison (limite entre l'installation privée et le réseau public) et un poste source HTA/HTB (interface entre le réseau public de distribution et le réseau public de transport). Le raccordement sera réalisé au niveau de tension HTA 20 kV.

Le tracé du câble reliant le poste de livraison au poste source empruntera les accotements des routes et des chemins publics et évitera les zones écologiquement sensibles, le gestionnaire du réseau public de distribution étant occupant de droit du domaine public.

Les postes sources HTA/HTB à proximité du projet (Breteuil, Hargicourt) ne disposent plus de capacité d'accueil réservée au titre du S3REnR. Le poste source susceptible d'accueillir l'électricité produite par les éoliennes de l'Épinette est donc celui d'Hangest-en-Santerre, poste à créer au S3REnR Picardie.

Sur la carte suivante est présentée la solution de raccordement actuellement possible : localisation du poste source, ainsi que ses capacités d'accueil en production¹² :

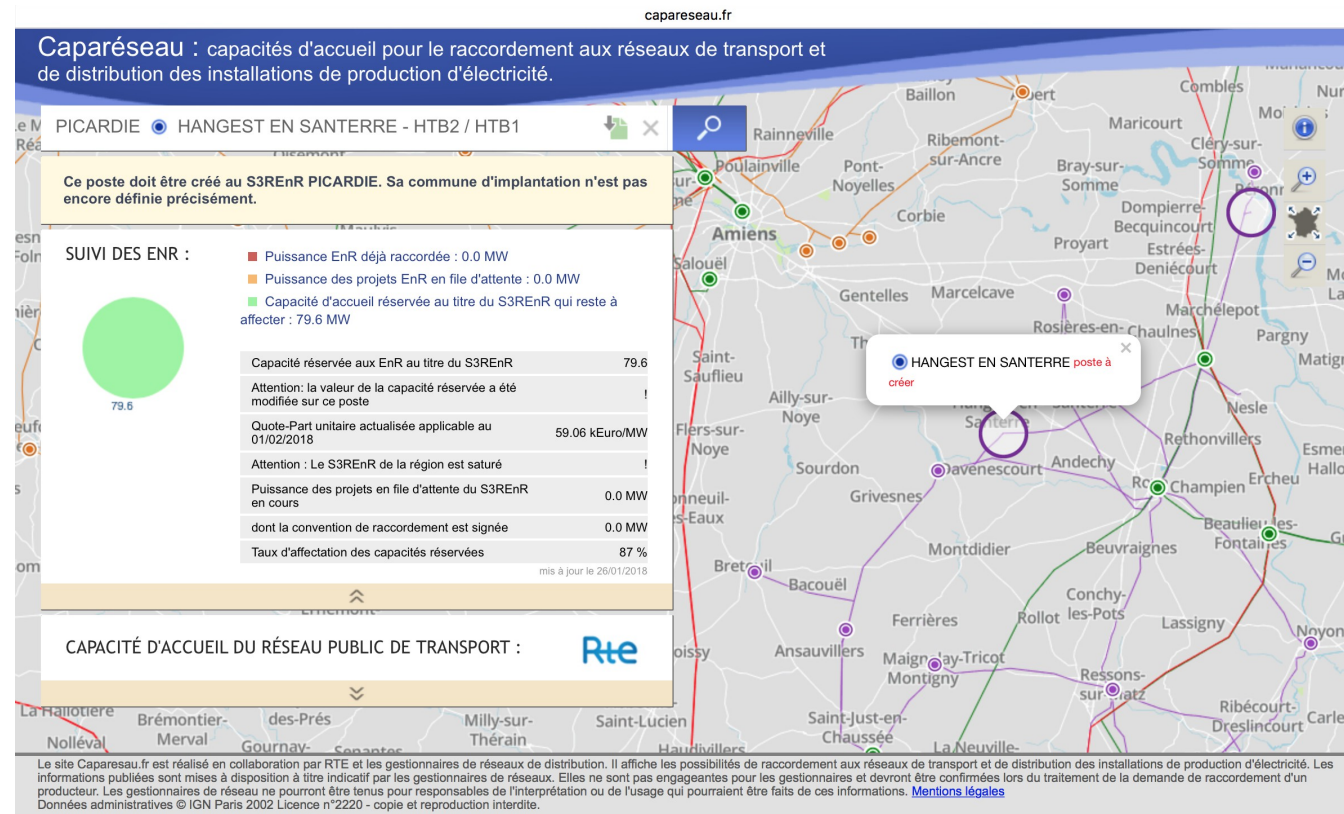


Figure 26: Capacités d'accueil du poste source à créer d'Hangest-en-Santerre
(Source : RTE)

3.2.3 Bilan des surfaces utilisées pour les installations permanentes

Le tableau suivant présente les emprises surfaciques et linéaires des aménagements permanents prévus pour le parc éolien de l'EpINETTE.

Aménagements surfaciques permanents		Emprise par installation	Emprise totale
Fondations	Eolienne	500 m ²	5 000 m ²
Plateformes	Eolienne	2 500 m ²	25 000 m ²
	Poste de livraison	35 m ²	105 m ²
Voiries / Chemins d'accès			9 600 m ²
Virages			720 m ²
Total			40 425 m²

Aménagements linéaires permanents	Emprise
Réseau inter-éolien (RIE) enterré	3 805 m
Total	3 805 m

Tableau 13 : Bilan des emprises surfaciques et linéaires nécessaires aux aménagements du projet de l'EpINETTE

L'ensemble du parc éolien représentera une superficie totale de 40 425 m².

¹² Source : Site internet des capacités d'accueil en production des réseaux, RTE

http://clients.rte-france.com/lang/fr/clients_producteurs/services_clients/capareseau.jsp

Consultation en janvier 2018.

3.3 Description du chantier de construction

Le déroulement du chantier pour la construction d'un parc éolien est une succession d'étapes importantes. Elles se succèdent dans un ordre bien précis, déterminé de concert entre le porteur de projet, les exploitants et/ou propriétaires des terrains et les opérateurs de l'installation.

3.3.1 La préparation des terrains

La construction d'un parc éolien, aménagement d'ampleur, nécessite la préparation des terrains qui seront utilisés pour l'implantation et l'acheminement des éoliennes. Ainsi des aménagements et/ou des constructions de routes et de chemins seront réalisés : aplanissement du terrain, arasement, élargissement des virages...



Aplanissement du terrain

En effet, les différents éléments l'éolienne sont lourds et également de grande dimension. Le paragraphe « 3.2.2.4 Les chemins d'accès, p.56 » a présenté les caractéristiques de la charge d'un convoi et le dimensionnement des pistes à concevoir en conséquence.

3.3.2 L'installation des fondations

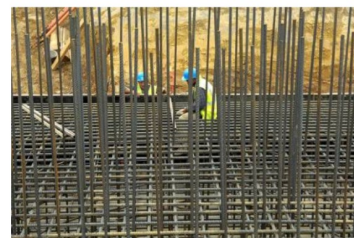
La création des fondations pourra se faire uniquement après la réalisation des expertises géotechniques. Ainsi, en fonction des caractéristiques et des particularités des terrains sur lesquels est envisagé le projet, les dimensions et le type de ferrailage des fondations seront déterminés.



Fouille de la fondation



Préparation des fondations



Ferrailage de la fondation



Coulage du béton

Une pelle-mécanique interviendra dans un premier temps afin de creuser le sol sur un volume déterminé. Puis des opérateurs mettront en place un ferrailage dont les caractéristiques seront issues des analyses géotechniques. Enfin des camions-toupies déverseront les volumes de béton nécessaires.

Ensuite le chantier sera interrompu pendant quelques semaines afin d'assurer le séchage du béton.

3.3.3 Le stockage des éléments des éoliennes

Les composants des éoliennes (tour, nacelles, pales...) seront acheminés sur le site par camion. Pour des raisons d'organisation, chacun des éléments constituant une éolienne sera déchargé près de chacune des fondations. Des grandes précautions seront prises afin d'éviter toute contrainte durant le déchargement.

Le stockage des éléments sera de courte durée afin d'éviter toute détérioration.



Exemple de stockage de pale

Le déchargement de la nacelle est prévu à proximité des plateformes où une aire est spécialement aménagée pour la manœuvre du camion apportant la nacelle. Les pales sont déposées sur une zone prévue à cet effet qui doit être aplanie, dégagée et la végétation correctement coupée à ras en étant exempte de tout obstacle.

3.3.4 L'installation des éoliennes

L'installation de l'éolienne est une opération d'assemblage, se déroulant comme suit :

- ✗ Préparation de la tour : les surfaces et les plateformes de chaque section de la tour doivent être inspectées visuellement et l'intérieur de toutes les sections sont également inspecté avant de les lever à la verticale. On procédera au nettoyage de la tour qui a été exposée à la boue et aux poussières lors de son transport. Des tests de tension des boulons sont également effectués.



- ✗ Assemblage de la tour : cette opération mobilise deux grues pour lever une section de tour en position verticale. La section basse de la tour est levée à la position verticale et des poignées aimantées sont utilisées pour amener la tour à sa position. Une fois la section basse placée dans la position adéquate, les boulons de fixation sont serrés.



Les sections de tour suivantes sont ensuite assemblées. L'assemblage de la section haute et de la nacelle est en principe planifié le même jour. Toutefois si le montage de la nacelle ne peut se faire le même jour en raison des conditions climatiques ou autres, le risque d'oscillation de la tour est pris en compte et prévenu ; la tour est alors sécurisée grâce à un système de cordes.



- ✗ Préparation de la nacelle : Quelques outils sont stockés dans la nacelle lorsqu'elle est levée (outils de serrage, câbles, etc...).

Le capteur de vent et le balisage aéronautique sont installés en même temps que le cooler top, au sol.



- ✗ Hissage de la nacelle sur la tour : les étriers de levage doivent être fixés solidement à la nacelle dans un premier temps ainsi que des cordes directrices qui permettront de diriger l'opération.



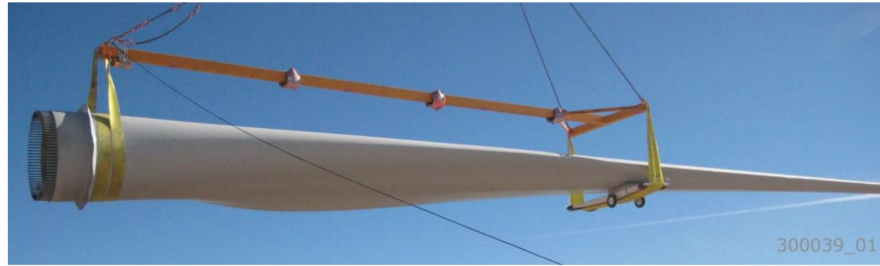
La nacelle est ensuite hissée et fixée sur la tour.



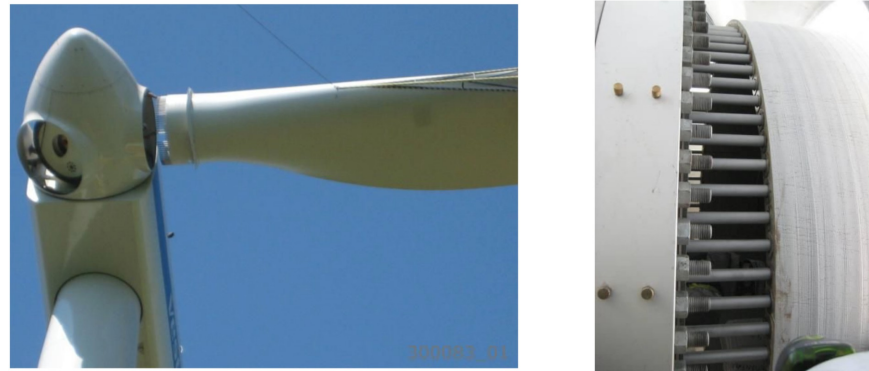
- ✗ Hissage du moyeu : deux méthodes sont utilisées selon la charge utile de la grue :

- le moyeu peut être monté directement sur la nacelle au sol. L'ensemble nacelle et moyeu est alors hissé et fixé sur la tour ;
- La nacelle est hissée sur la tour, le moyeu est hissé et fixé sur la nacelle dans un second temps.

✘ **Montage des pales** : le montage des pales est réalisé avec une grue et un équipement de levage.



La pale est hissée au niveau du moyeu. Des cordes sont utilisées pour guider la pale vers sa position définitive. Deux techniciens sont également nécessaires pour guider les gougeons en position, un au niveau du moyeu à l'intérieur et le deuxième à l'extérieur.



Après avoir fixé les gougeons de la pale sur le moyeu, les éléments de levage sont retirés.



3.3.5 Installation du raccordement électrique

L'énergie en sortie d'éolienne sera amenée dans un premier temps aux trois postes de livraison installés sur le site (servant d'interface entre le réseau électrique et l'énergie produite par les éoliennes). Ensuite des câbles électriques seront posés (en souterrain) jusqu'au poste source prévu pour le raccordement.

La réalisation des tranchées creusées d'une largeur d'environ 45 cm est effectuée grâce à une pelle mécanique ou une foreuse pour réaliser un fonçage sous une voie. Le choix de la technologie qui sera utilisée pour les travaux de passage de câble se fera en phase de construction.



Engin utilisé pour le creusement de la tranchée sur environ 1 m de profondeur

Le câble ainsi que les fourreaux nécessaires au raccordement des lignes France Télécom (R.T.C, Numéris et télécommande) seront enfouis dans la même tranchée. Le traitement des tranchées est présenté sur le schéma ci-dessous.

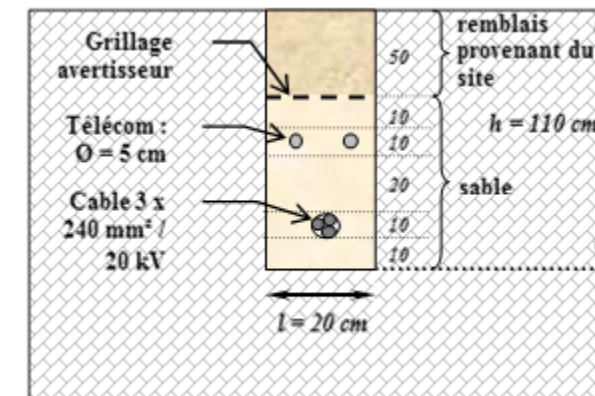


Figure 27: Schéma d'une tranchée de raccordement électrique

(Source : VALECO)

Le tracé de raccordement interéolien jusqu'aux postes de livraison, et des postes de livraison au poste source suivra les chemins existants.

3.3.6 Durée du chantier

A titre indicatif, la durée standard d'un tel chantier est de 6 à 9 mois. Le programme détaillé des travaux n'a pas encore été élaboré à cette phase de projet, cependant une planification indicative est fournie ci-dessous :

Phase	Nature des travaux	Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5	Mois 6	Mois 7
1	Travaux de terrassement							
	Fondations en béton							
2	Raccordement électrique							
	Assemblage installation des éoliennes							
3	Tests de mise en service							
	Mise en service							

Tableau 14 : Planning prévisionnel du chantier

(Source : VALECO)

Le chantier sera découpé en plusieurs phases :

- la phase préparatoire au montage des éoliennes (création des chemins, des fondations) ;
- la phase de raccordement et de montage des éoliennes ;
- la phase de mise en service regroupant différents tests pour valider le bon fonctionnement des éoliennes.

Cette planification peut être affectée par les aléas météorologiques, par des contraintes environnementales ou de force majeure.

3.3.7 Base de vie

La mise en place d'un tel chantier nécessite, du fait de sa durée (transport, montage, fondations et réseaux) et du nombre de personnes employées, l'installation d'une base-vie (ou base-chantier). La base-chantier sera constituée de bungalows de chantier (vestiaires, outillage, bureaux) et sera équipée de sanitaires. Elle sera provisoirement desservie par une ligne électrique et une ligne téléphonique, et sera également alimentée en eau.

3.3.8 Sécurité et protection des intervenants

Que ce soit lors de la phase de construction ou lors des différentes opérations de maintenance du parc éolien, les tâches réalisées sont très spécifiques (travail en hauteur, manipulation d'éléments imposants, présence d'engins dangereux, travaux électriques...) et la sécurité qui en découle également.

Aussi, conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, la société Parc éolien de l'EpINETTE veillera à ce que les entreprises missionnées satisfassent à leurs obligations de formation de leur personnel.

Le personnel intervenant sur les éoliennes est formé au poste de travail et informé des risques présentés par l'activité. Toutes les interventions (montage, maintenance, contrôle) font l'objet de procédures qui définissent les tâches à réaliser, les équipements d'intervention à utiliser et les mesures à mettre en place pour limiter les risques d'accident. Des listes de contrôle sont établies afin d'assurer la traçabilité des opérations effectuées.

Pour cela, la société Parc éolien de l'EpINETTE est accompagnée, lors des phases de travaux (construction et démantèlement), d'un coordinateur SPS (Sécurité et Protection de la Santé) qui a en charge, pendant la durée du chantier, la mise en place et le respect des règles de sécurité et de protection de la santé.

3.3.9 Conditions d'accès au site

Pendant la phase d'aménagement, l'accès au site sera interdit à toute personne étrangère au chantier.

Nota : Les agriculteurs pourront tout de même accéder à leurs parcelles avec leurs engins agricoles.

3.3.10 Déblais-remblais

Lors de la conception de l'infrastructure du parc, on cherche à atteindre l'équilibre des mouvements de terre de façon à limiter leur évacuation du site. Lorsque cet équilibre ne peut être atteint, les terres en excès sont acheminées vers des lieux de décharge contrôlés.

3.3.11 Traitement des abords

Après les travaux, les déchets seront évacués et le site sera nettoyé afin d'avoir un aperçu visuel du parc le plus lisse possible. Aucune barrière et aucun grillage n'est prévu autour des éoliennes.

L'utilisation des chemins d'exploitation restera la même qu'aujourd'hui, c'est-à-dire réservée à l'exploitation agricole des parcelles.

Les chemins d'accès aux éoliennes ainsi que les abords des mâts seront entretenus et maintenus en état de propreté.

3.3.12 Matériels et déchets liés au chantier

3.3.12.1 Matériels nécessaires à la construction

Le tableau suivant énumère les matériels qui sont utilisés lors de la phase de construction du parc :

Désignation	Utilisation
Grue principale	De 700 à 1 400 t, c'est la grue qui sert au levage des éléments de l'éolienne.
Grue secondaire	D'environ 250 à 500 t, elle est utilisée pour le guidage des éléments de l'éolienne.
Base de vie	Réfectoire pour les personnes travaillant sur le chantier, bureaux de travail, sanitaires.
Bennes	Récupération des déchets.
Camions	Transport des éléments de l'éolienne Transport des matériaux de construction (béton, sable, ferrailage...) Transport de matériaux granulaires.
Trancheuse avec système pose mécanisé* Foreuse pour la réalisation des fonçages sous les voies pour le passage des câbles*	Creusement des tranchées pour la pose du câble HTA (20 kV)
Pelles mécaniques	Réalisation des busages
Equipements de protection	Pour garantir la sécurité des employés de chantier

* Cet appareil n'est pas nécessairement utilisé lors de la construction, la décision concernant la façon d'effectuer les tranchées pour le passage des câbles du RIE se faisant en phase construction.

Tableau 15 : Matériels utilisés en phase construction

Le détail du nombre de camions en phase chantier est précisé en tant qu'impact sur le cadre de vie des habitations riveraines. Les mesures pour atténuer les impacts sont également présentées.

Cf. § 6.2.10 Transport et flux,
§ 6.2.10.2 Mesures, p.194

3.3.12.2 Déchets en phase construction

Les installations du parc génèrent des déchets tels que :

- des emballages cartons propres et souillés ;
- des palettes en bois ;
- des emballages en bois propres et souillés ;
- des bidons en acier utilisés ;
- des chiffons souillés ;
- des chutes de câblage ;
- des eaux sanitaires et déchets ménagers.

Les quantités de déchets produits en phase travaux sont détaillées ultérieurement. Des mesures de traitement seront étudiées afin de valoriser au mieux ces déchets.

Cf. § 6.2.11 Production et gestion des déchets,
§ 6.2.11.3 Mesures de gestion des déchets, p.195

3.4 Description de la phase d'exploitation

3.4.1 Organisation

Le parc éolien bénéficie en continu d'une supervision réalisée à distance depuis un centre de télésurveillance.

Les interventions sur site au niveau des éoliennes et/ou du poste de livraison concernent :

- les opérations de maintenance (préventive et corrective). Ces interventions programmées seront assurées par le fabricant des éoliennes sélectionnées et par l'installateur du poste de livraison dans le cadre de contrat(s) d'entretien et de maintenance ;
- les opérations de dépannage en cas de panne d'un composant de l'éolienne et d'intervention en cas d'incident à caractère d'urgence nécessitant le déplacement rapide sur site. Ces interventions seront réalisées par du ou des personnel(s) de maintenance (journée) ou d'astreinte (nuit, week end et jours fériés) afin de sécuriser l'installation et de prendre les mesures qui s'imposent.

3.4.2 Suivi et maintenance

3.4.2.1 Contrôle et suivi

■ Conduite du système

Les éoliennes sont des équipements de production d'énergie qui sont disposés à l'écart des zones urbanisées et qui ne nécessitent pas de présence permanente de personnel. Hormis certaines opérations qui nécessitent des interventions sur site, les éoliennes sont surveillées et pilotées à distance.

Pour cela, les installations sont équipées d'un système qui permet le pilotage à distance à partir des informations fournies par les capteurs. Les parcs éoliens sont ainsi reliés à des centres de télésurveillance permettant le diagnostic et l'analyse de leur performance en permanence (énergie produite, puissance délivrée, vitesse du rotor, vitesse et direction du vent, renvoi d'alarmes...), ainsi que certaines actions à distance. Ce dispositif assure la transmission de l'alerte en temps réel en cas de panne ou de simple dysfonctionnement.

Il permet également de relancer aussitôt les éoliennes si les paramètres requis sont validés et les alarmes traitées. C'est notamment le cas lors des arrêts de l'éolienne par le système normal de commande (en cas de vent faible, de vent fort, de température extérieure trop élevée ou trop basse, de perte du réseau public...).

Par contre, en cas d'arrêts liés à des déclenchements de capteurs de sécurité (déclenchement du détecteur de survitesse, d'arc ou de température haute, de pression d'huile basse, etc.), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut et acquitter l'alarme avant de pouvoir relancer un démarrage.

Afin d'assurer la sécurité des équipes intervenantes, un dispositif de prise de commande locale de l'éolienne est disposé en partie basse de la tour. Ainsi, lors des interventions sur l'éolienne, les opérateurs basculent ce dispositif sur « commande locale », interdisant ainsi toute action pilotée à distance.

Toute intervention dans le rotor n'est réalisée qu'après la mise en arrêt de celui-ci et après la mise en place du dispositif mécanique de blocage. De plus, les dispositifs de sectionnement sont répartis sur l'ensemble de la chaîne électrique afin de pouvoir isoler certaines parties et protéger ainsi le personnel intervenant.

Au-delà de certaines vitesses de vent, les interventions sur les équipements ne sont pas autorisées.

3.4.2.2 Maintenance préventive planifiée

Conformément à la réglementation¹³, l'exploitant disposera d'un manuel d'entretien de l'installation et tiendra à jour un registre dans lequel seront consignées les opérations de maintenance et d'entretien.

De plus, trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle des aérogénérateurs :

- contrôle des brides de fixation,
- contrôle des brides de mât,
- contrôle de la fixation des pales,
- contrôle visuel du mât.

Selon une périodicité annuelle, l'exploitant procède à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité (Cf. *tableau page suivante*).

3.4.2.3 Maintenance curative

Il s'agit des opérations de maintenance réalisées suite à des défaillances de matériel ou d'équipement (remplacement des composants électrotechniques, des capteurs défaillants, des pièces mécaniques...).

Ces opérations sont faites à la demande après détection du dysfonctionnement, de façon à rendre l'équipement à nouveau opérationnel.

¹³ Articles 18 et 19 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

Opération de maintenance	Périodicité
Remplacement des filtres des armoires électriques	Tous les ans
Remplacer les filtres des circuits hydrauliques de la machine	Tous les ans
Remplacer les graisses usagées (roulements de pales et génératrice et couronne d'orientation)	Tous les ans
Remplacer les batteries UPS	Tous les 3 ans
Remplacement des huiles (calage, orientation)	Au plus tard tous les 5 ans (la périodicité dépend de la qualité des huiles)
Remplacer le liquide de refroidissement du convertisseur et génératrice	Tous les 7 ans
Remplacer les tuyaux de refroidissement du convertisseur	Tous les 7 ans
Remplacer les tuyaux des circuits hydrauliques	Tous les 10 ans

Tableau 16: Description de l'activité de maintenance préventive planifiée

3.4.3 Matériels et déchets liés à l'exploitation

3.4.3.1 Matériels pour l'entretien

Les produits identifiés sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

- produits nécessaires au bon fonctionnement des installations (graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage...) qui une fois usés sont traités en tant que déchets industriels spéciaux ;
- produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, graisses, nettoyeurs...) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...).

Les quantités de produits présents dans les éoliennes sont précisées dans l'étude de dangers.

Cf. Dossier 5- Etude de dangers

3.4.3.2 Déchets en phase d'exploitation

Durant la phase d'exploitation, seules les opérations de maintenance seront susceptibles de générer certains déchets tels que :

- les huiles usagées ;
- des emballages plastique/carton ;
- des matériaux souillés ;
- des filtres à huile ;
- les déchets d'équipements électriques et électroniques ;
- des aérosols, détergents... ;
- des batteries usagées ;
- de la ferraille.

Les constructeurs doivent répondre à des critères environnementaux de gestions de leurs déchets en phase exploitation. Des moyens de traitement et éventuellement de recyclage seront étudiés pour valoriser au mieux ces déchets.

Cf. § 6.2.11 Production et gestion des déchets, p.194

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

3.5 Démantèlement du site après la période d'exploitation

3.5.1 Les étapes du démantèlement

Les différentes étapes d'un démantèlement sont les suivantes :

1	Installation du chantier	Mise en place du panneau de chantier, des dispositifs de sécurité, du balisage de chantier autour des éoliennes et de la mobilisation, localisation et démobilitation de la zone de travail.
2	Découplage du parc	Mise hors tension du parc au niveau des éoliennes ; mise en sécurité des éoliennes par le blocage de leurs pales ; rétablissement du réseau de distribution initial, dans le cas où le gestionnaire du réseau de distribution ne souhaiterait pas conserver ce réseau.
3	Démontage des éoliennes	Procédure inverse au montage. Recyclage ou revente possible sur le marché de l'occasion.
4	Démantèlement des fondations	Retrait d'une hauteur suffisante de fondation (au minimum 1 m sur un terrain à usage agricole) permettant le passage éventuel des engins de labour et la pousse des cultures.
5	Démantèlement du poste de livraison et des câbles électriques	Retrait du poste de livraison ainsi que des câbles dans un rayon de 10 m autour des éoliennes et du poste de livraison. Recyclage ou valorisation.
6	Remise en état du site	Décaissement des aires de grutage et des chemins d'accès sur une profondeur de 40 cm. Maintien en état des chemins possibles selon la volonté des propriétaires des terrains. Remplacement par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité de l'installation. Les déchets de démolition et de démantèlement seront valorisés ou éliminés dans les filières dûment autorisées à cet effet.

Tableau 17 : Les étapes du démantèlement

3.5.2 Conditions de remise en état du site

Les opérations de démantèlement et de remise en état du site sont actuellement réglementées par les textes suivants :

- l'arrêté du 26 août 2011 relatif à la remise en état et à la constitution des garanties financières pour les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent ;
- l'arrêté du 6 novembre 2014 modifiant l'arrêté du 26 août 2011.

La société Parc éolien de l'EpINETTE s'engage à respecter les modalités de remise en état des terrains en fin d'exploitation selon la réglementation en vigueur.

Ces arrêtés prévoient ainsi les modalités suivantes :

- L'excavation des fondations et le remplacement par des terres de caractéristiques comparables aux terres en place à proximité de l'installation :
 - sur une profondeur minimale de 30 cm lorsque les terrains ne sont pas utilisés pour un usage agricole au titre du document d'urbanisme opposable et que la présence de roche massive ne permet pas une excavation plus importante ;
 - sur une profondeur minimale de 2 m dans les terrains à usage forestier au titre du document d'urbanisme opposable ;
 - sur une profondeur minimale de 1 m dans les autres cas.
- La remise en état qui consiste à décaisser les aires de grutage et les chemins d'accès sur une profondeur de 40 cm et remplacer par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité de l'installation, sauf souhait contraire du propriétaire de la parcelle.
- Le démantèlement des installations de production d'électricité, du poste de livraison ainsi que les câbles dans un rayon de 10 mètres autour des aérogénérateurs et du poste de livraison.

Concernant les 10 éoliennes, le terrain étant utilisé pour un usage agricole, l'excavation des fondations sera faite sur une profondeur minimale de 1 m et la terre sera remplacée par de la terre agricole de caractéristiques comparables aux terres placées à proximité de l'installation.

La société Parc éolien de l'EpINETTE respectera les conditions particulières de démantèlement et de remise en état du site présentes dans les conditions réglementaires en vigueur au moment du démantèlement dont il se doit d'être garant, notamment celles des arrêtés précités.

Les conditions de remise en état du site sont présentées en détail dans le dossier 3- du Dossier de demande d'autorisation environnementale.

Cf. Dossier 3- Dossier administratif et technique, description de la demande

3.5.3 Recyclage des matières

Les paragraphes suivants analysent les différents matériaux récupérables et /ou valorisables d'une éolienne.

Sont identifiés, dans un premier temps, les différents types de déchets puis dans un second temps la destination de chaque matériau une fois que l'éolienne sera démontée.

3.5.3.1 Identification des types de déchets

■ Les pales

Le poids des trois pales, selon le modèle d'éolienne retenue, varie de 37 à 47 tonnes, et celui du rotor est d'environ 35 tonnes. Les pales sont constituées de composites de résine, de fibres de verre et de carbone. Ces matériaux pourront être broyés pour faciliter le recyclage.

■ La nacelle

Le poids total de la nacelle est d'environ 120 à 150 tonnes selon le modèle d'éolienne. Différents matériaux composent ces éléments : de la ferraille d'acier et de cuivre, qui sont des matériaux facilement recyclables, ainsi que différents composites de résine et de fibre de verre.

■ Le mât

Le poids du mât est principalement fonction de sa hauteur. Pour des éoliennes de ce gabarit, le poids est de l'ordre de 350 tonnes. Le mât est principalement composé d'acier qui est facilement recyclable. Des échelles sont souvent présentes à l'intérieur du mât. De la ferraille d'aluminium sera récupérée pour être recyclée.

■ Le transformateur et les installations de distribution électrique

Chacun de ces éléments sera récupéré et évacué conformément à l'ordonnance sur les déchets électroniques.

■ La fondation

La fondation en béton armé est excavée sur une profondeur de 30 centimètres à 1 mètre, conformément à l'article 1 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif à la remise en état et à la constitution des garanties financières pour les installations de production d'électricité utilisant l'énergie du vent, modifié par l'arrêté du 6 novembre 2014.

L'acier sera séparé des fragments et des caillasses.

3.5.3.2 Identification des voies recyclages et/ou de valorisation

Dans un contexte d'augmentation de la demande en matières premières et de l'appauvrissement des ressources, le recyclage des matériaux prend d'autant plus sa part dans le marché des échanges.

■ La fibre de verre

Actuellement, ces matériaux sont en majorité mis en décharge, avec un coût en forte augmentation et une menace d'interdiction d'enfouissement pour les déchets considérés comme non « ultimes ». Mais des groupes de recherche ont orienté leurs études sur la valorisation de ces matériaux. Un certain nombre de solutions est aujourd'hui à l'étude :

- la voie thermique et thermo-chimique permettant par exemple des co-combustions en cimenterie ou la création de revêtement routier ;
- la création de nouveaux matériaux. Ainsi, un nouveau matériau à base de polypropylène recyclé et de broyats de déchets composites a été développé par Plastic Omnium pour la fabrication de pièces automobiles, en mélange avec de la matière vierge. L'entreprise MCR développe également de nouveaux produits contenant une forte proportion de matière recyclée (60%). Ces nouveaux matériaux présentent une forte résistance aux impacts et aux rayures et peuvent notamment trouver des applications dans le secteur du bâtiment et des sanitaires.

■ L'acier

Mélange de fer et de coke (charbon) chauffé à près de 1 600°C dans des hauts-fourneaux, l'acier est préparé pour ses multiples applications en fils, bobines et barres. L'acier se recycle à 100 % et à l'infini. Ainsi, on estime que pour une tonne d'acier recyclé, une tonne de minerai de fer est économisée.

■ Le cuivre

Le cuivre est omniprésent dans les équipements de notre vie actuelle (électroménager, produits high-tech, installations électriques, télécommunication, moteurs, systèmes solaires ou bâtiments intelligents) de sorte que la consommation mondiale annuelle de cuivre a été multipliée par 3,5 depuis 1960 (passant de 5 à 18 millions de tonnes). A titre d'exemple, un ordinateur contient environ 1,5 kg de cuivre, une maison environ 100 kg, et une éolienne 5 tonnes. Comme l'acier, le cuivre a la propriété d'être recyclable et réutilisable à l'infini sans perte de propriétés. Le fort développement de la filière de recyclage du cuivre permet d'assurer sa disponibilité pour les générations futures. Ainsi, selon l'International Copper Study Group (ICSG), 41,5% du cuivre utilisé en Europe provient du recyclage, ce qui souligne l'importance croissante de ce mode d'approvisionnement.

■ L'aluminium

Comme l'acier et le cuivre, l'aluminium se recycle à 100 %. Une fois récupéré, il est chauffé et sert ensuite à fabriquer des pièces moulées pour des carters de moteurs de voitures, de tondeuses ou de perceuses, des lampadaires...

Cf. § 6.2.11.4 Scénario de recyclage d'une éolienne, p.197