

Parc éolien « du Bois Drouet »

Commune de Bellengreville
Département du Calvados (14)

Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE)

Mémoire en réponse à l'avis de la Mission Régionale d'Autorité
environnementale

Avril 2024

Préambule

Dans son avis n°2023-4982 délibéré en date du 31 août 2023, la Mission Régionale d'Autorité environnementale de Normandie s'est prononcée sur le projet de parc éolien du Bois Drouet, sur la commune de Bellengreville (14) conformément à l'article L. 122-1 du Code de l'environnement.

Cet avis ne porte pas sur l'opportunité du projet mais sur la qualité de son dossier, notamment de l'étude d'impact, et sur sa prise en compte de l'environnement.

D'après l'article L. 122-1 du Code de l'environnement, l'avis de la MRAe doit faire l'objet d'une réponse écrite de la part du maître d'ouvrage.

Les réponses apportées par VENSOLAIR dans ce mémoire figurent également dans les compléments au dossier de demande d'autorisation déposés sur la plateforme numérique GUN le 05 mars 2024 et portant la référence **B-240305-115325-861-002**.

L'avis de la MRAe et ce mémoire en réponse seront joints au dossier du projet mis à disposition du public lors de l'enquête publique.

Dans ce document, le maître d'ouvrage répondra aux seize recommandations qui figurent dans le corps de l'avis de la MRAe et précisera certains points qui lui semblent importants en suivant la trame dudit avis.

Nature du projet

Les terres rares dans les éoliennes

L'autorité environnementale recommande de préciser si la fabrication des modèles d'éoliennes envisagés dans le cadre du projet de parc éolien sera ou non à l'origine de l'extraction de « terres rares », d'en indiquer le cas échéant la quantité prévue et de justifier le recours à la technologie choisie, compte tenu des très forts impacts environnementaux liés à l'extraction de ces matières premières. (Page 6 de l'avis de la MRAe)

Au stade de la demande d'autorisation du projet éolien du Bois Drouet, le modèle précis de l'éolienne n'est pas encore déterminé. L'achat des turbines étant le poste de dépense le plus important pour un projet éolien (environ 80 % du montant de l'investissement total), le choix du fabricant et l'achat des turbines ne se fera donc qu'après l'obtention de l'autorisation environnementale.

Selon l'avis technique de l'ADEME paru en octobre 2020 sur l'utilisation des terres rares dans les énergies renouvelables (Cf Annexe 1, page 32 du présent document), la consommation de terres rares dans le secteur de l'éolien réside essentiellement dans l'utilisation d'aimants permanents présents dans certains générateurs synchrones (essentiellement utilisés pour l'éolien en mer). Les quantités d'aimants permanents intégrées dans les générateurs synchrones varient en fonction du mode de transmission de la chaîne cinématique :

- Entraînement direct sans multiplicateur (direct-drive PMG-DD)
- Semi-rapide avec un étage de multiplication (medium speed PMG-MS) ;
- Rapide avec un multiplicateur comprenant plusieurs étages de multiplication (high-speed PMG-HS).

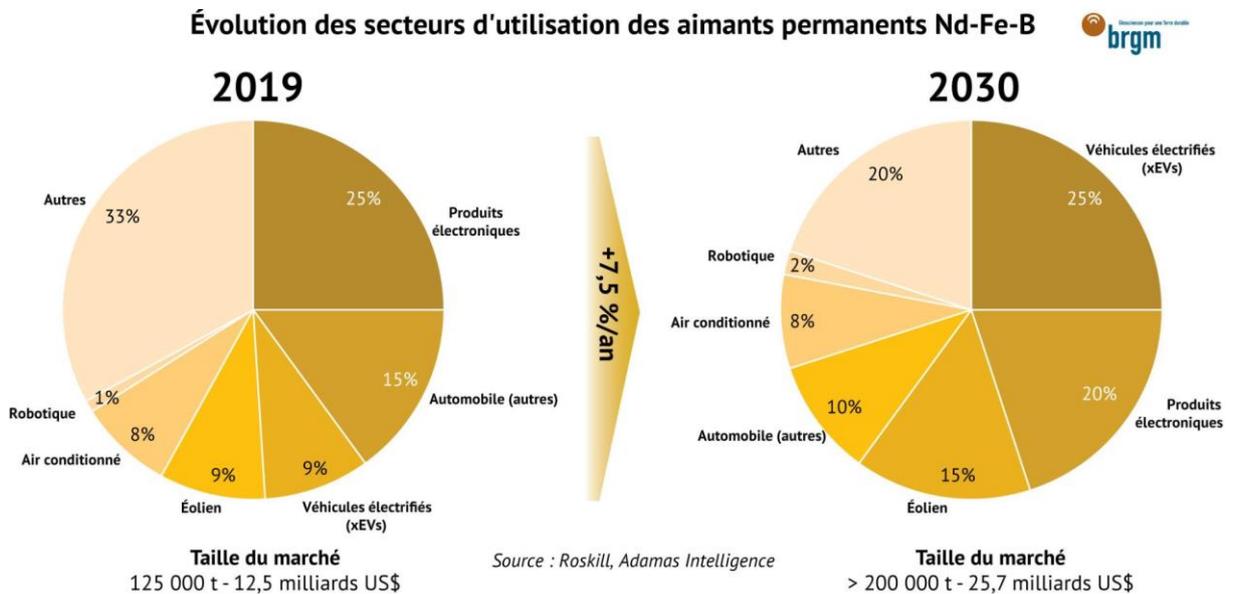
Une étude de la Commission Européenne 7 aboutit aux chiffres suivants :

Tableau 2 : Masse d'aimants permanents selon le type de générateur (Pavel et al. 2017)

Typologie de générateurs à aimants permanents	Masse d'aimants permanents [kg/MW]
Entraînement direct (PMG-DD)	650
Semi-rapide (PMG-MS)	160
Rapide (PMG-HS)	80

Les éoliennes à aimants permanents sont très peu répandues dans l'éolien terrestre en France. D'après les données des éoliennes raccordées au réseau électrique français au 31 décembre 2019, 387 aérogénérateurs totalisant une capacité installée de 1 020 MW contiennent des aimants permanents, ce qui représente 6,2% de la capacité installée totale du parc éolien français. Parmi celles-ci, les éoliennes embarquant des générateurs à aimants permanents à entraînement direct (soit celles qui contiennent le plus de terres rares) représentent 510 MW soit 3,1% du parc éolien français fin 2019. La masse d'aimants permanents nécessaires à tout le parc éolien français installé fin 2019 (16,5 GW, terrestre), selon la composition indiquée ci-avant, est estimée à **372 tonnes**, ce qui représente environ 112 tonnes de néodyme et 17 tonnes de dysprosium, soit **au total moins de 2 % du marché annuel mondial** de chacun de ces éléments (2 % pour le dysprosium et moins de 0,5 % pour le néodyme).

Enfin, au niveau mondial, l'électrification des usages et de la mobilité va nécessairement entraîner un accroissement de l'utilisation des terres rares dans les moyens de productions électriques décarbonés dont l'éolien, qui devrait progresser de 9 à 15 % en 2030.



Raccordement électrique

L'autorité environnementale recommande de compléter le dossier d'évaluation environnementale ou, à défaut, de l'actualiser dès que possible, avec l'ensemble des enjeux et des impacts sur l'environnement et la santé humaine engendrés par le tracé de raccordement électrique envisagé. (Page 6 de l'avis de la MRAe)

Le raccordement électrique externe pressenti du parc éolien au poste source de Percy-en-Auge sera précisément défini par le gestionnaire de réseau (ENEDIS). A ce stade, seul un tracé informatif peut être proposé. Le tracé précis final évitera tout périmètre de protection immédiat de captage (PPI d'Ouézy notamment). En cas de passage dans un périmètre rapproché de captage (PPR d'Ouézy ou de Mézidon-Vallée d'Auge notamment), des mesures spécifiques pourront être mises en œuvre afin d'être conforme à l'arrêté de déclaration d'utilité publique des captages concernés. Ces mesures ne peuvent être définies à ce stade, le porteur du projet éolien n'étant pas responsable du raccordement électrique externe. Rappelons que ce raccordement s'inscrira en bordure de voirie et nécessitera la réalisation d'une tranchée d'une largeur de l'ordre de 50 cm sur une profondeur d'environ 1 m qui sera rebouchée dès la mise en place du câblage. L'impact est donc temporaire et limité.

La biodiversité

Etat initial de l'environnement

L'autorité environnementale recommande de compléter l'état initial de l'environnement en y intégrant les données issues du suivi ornithologique réalisé sur le parc voisin de Frénoville. (Page 8 de l'avis de la MRAe)

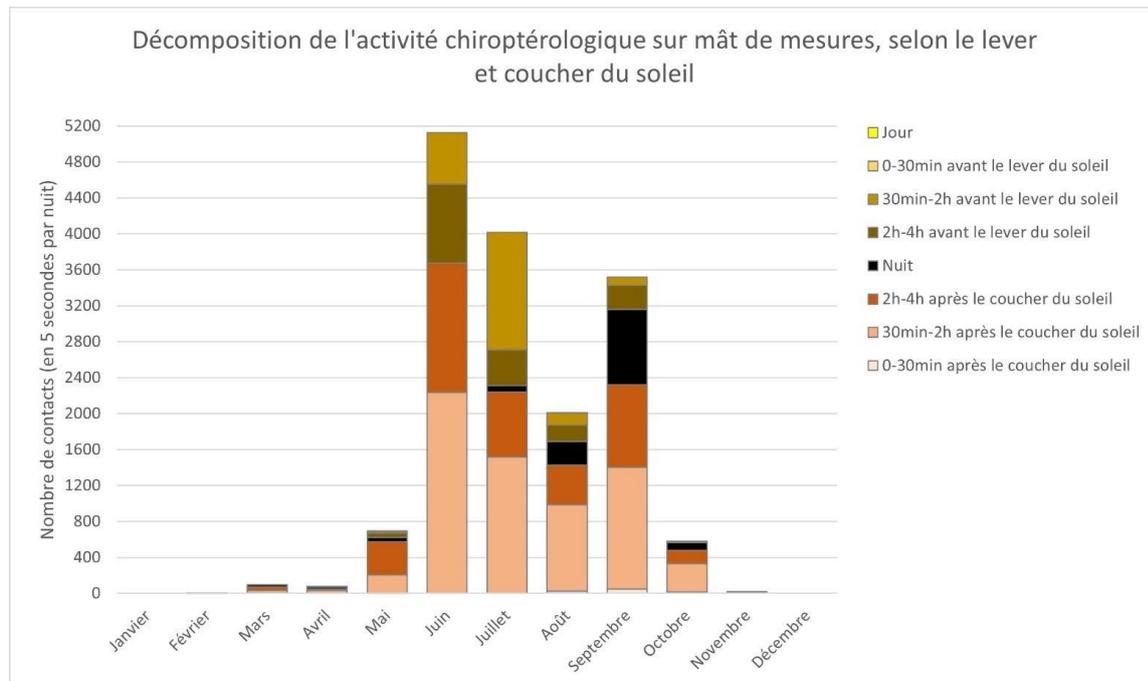
Vensolair a intégré les données du suivi ornithologique du parc éolien de Frénoville qui confirment la présence du Busard Saint-Martin dès l'état initial, dans le paragraphe « C.3.4.7 SUIVI ORNITHOLOGIQUE DU PARC ÉOLIEN DE FRÉNOUVILLE (ENVOL, 2018) » consultable à la page 205 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024.

Chiroptères (chauves-souris)

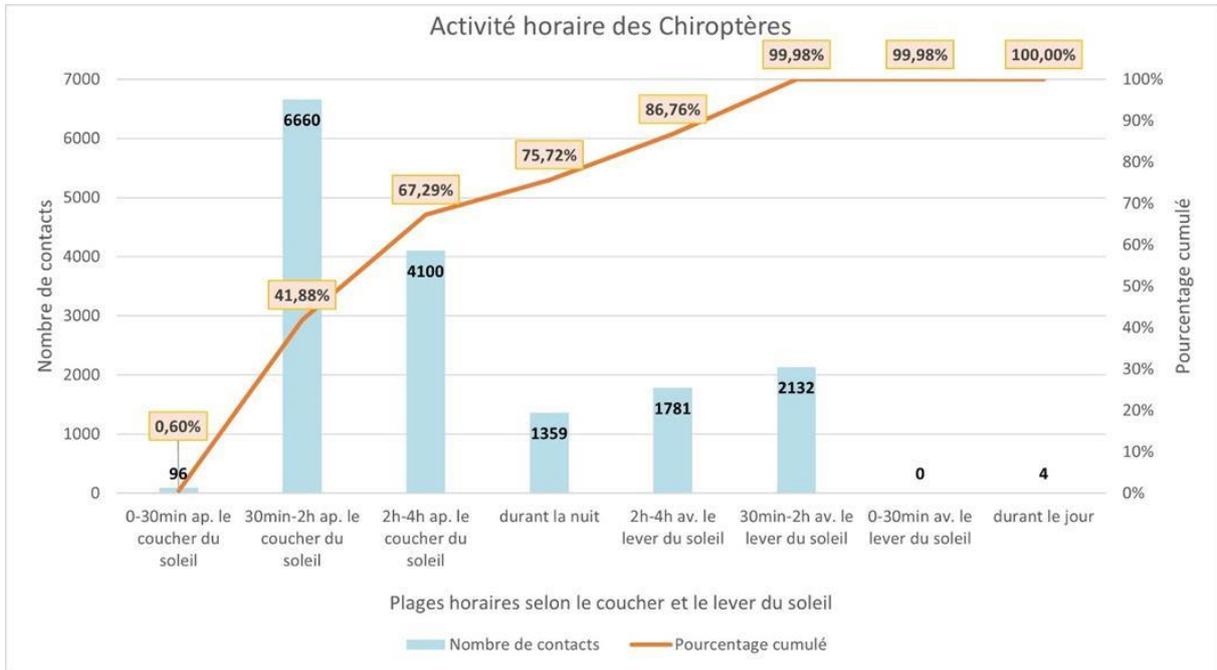
L'autorité environnementale recommande de revoir l'échelle des graphiques exprimant l'activité des chiroptères en fonction des heures de la journée et de la température afin de les rendre plus lisibles. (Page 9 de l'avis de la MRAe)

L'activité des Chiroptères en fonction des heures de la journée (et notamment des heures précédant et suivant le coucher du soleil) a été pris en compte dans les graphiques 78 et 79 page 242 du paragraphe « C.3.5.2.8 ÉTUDE DES HAUTEURS ET CONDITIONS DE VOLS DES CHIROPTÈRES » de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024.

Ce graphique a été ajouté pour synthétiser l'activité chiroptérologique selon le lever et coucher du soleil, au cours de l'année :

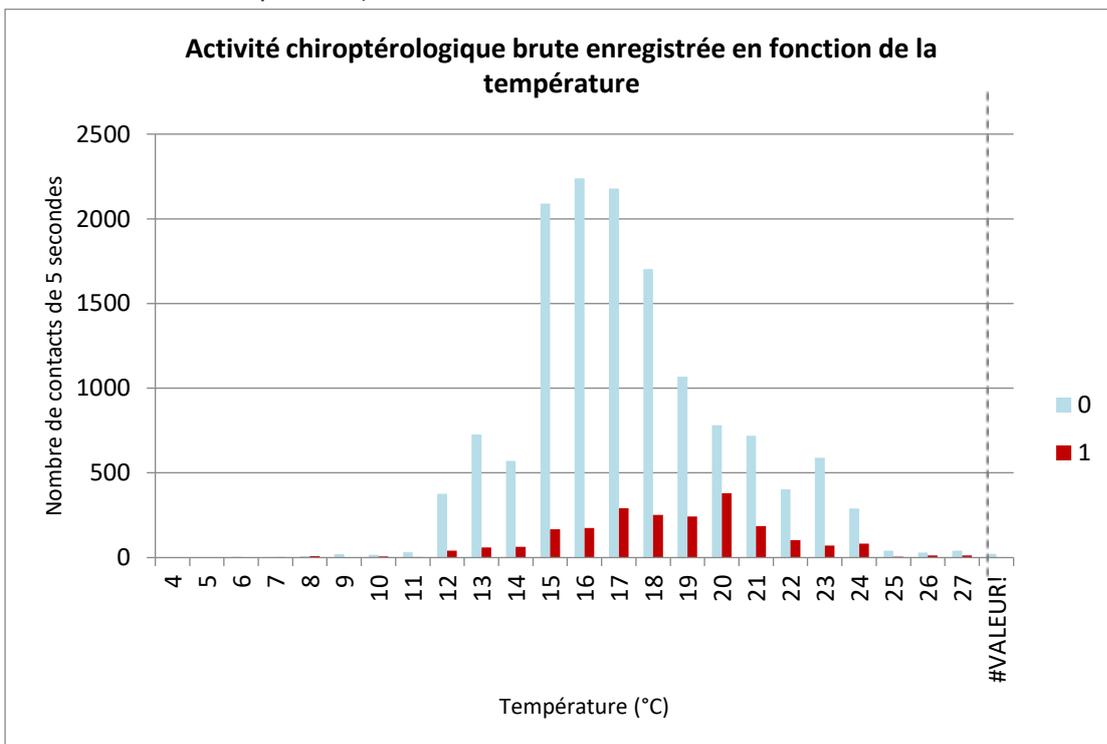


De même, la synthèse de l'activité des chiroptères, par plage horaire (selon le coucher et lever du soleil) est présentée sur le graphique ci-dessous :



Les conditions de températures des inventaires Chiroptérologique pour les écoutes actives sont indiquées dans le tableau 15 en page 63 et surtout l'activité en fonction de la température est représentée dans le graphique 82 en page 244 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024.

(0 : micro au sol situé à 4m et 1 : micro en hauteur situé à 73m ; la température a été mesurée à 115m selon les données disponibles)



Analyse des impacts sur l'avifaune

L'Autorité Environnementale recommande de revoir à la hausse les niveaux d'impacts attribués au projet pour les rapaces, en particulier le Busard Saint-Martin, le Busard des roseaux et la Buse variable, et de renforcer en conséquence les mesures d'évitement ou de réduction proposées. (Page 10 de l'avis de la MRAe)

S'agissant des niveaux d'impact attribués aux rapaces, Vensolair souhaite repartir des éléments présentés dans l'état initial pour les 3 espèces concernées.

- Busard Saint Martin (fiche espèce présentée p152 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024).

Le busard Saint Martin possède le statut LC (préoccupation mineure) sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France, ce qui ne lui confère pas de valeur patrimoniale. Cependant, il est noté EN (en danger) sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de Basse-Normandie et est inscrit à l'annexe I de la directive oiseaux, éléments qui lui confèrent une valeur patrimoniale.

Le Busard Saint Martin est présent à toutes les périodes de son cycle biologique, avec 3 contacts en période hivernale, 9 contacts en période prénuptiale, quelques contacts en période nuptiale et 1 contact en migration postnuptiale.

Le tableau 163 p.502 rappelle enfin le niveau de sensibilité générale de l'espèce à l'éolien et l'indice de vulnérabilité associé. La sensibilité aux collisions est qualifiée de moyenne, l'indice de vulnérabilité est noté 2 sur une échelle de 0 à 5.

Ainsi, l'espèce possède un enjeu patrimonial modéré pour les 4 périodes de son cycle biologique. Les effectifs recensés sont peu élevés, et aucun individu nicheur sur la ZIP n'a pu être relevé, même s'il reste nicheur possible au vu des habitats de la ZIP. Sa sensibilité à l'éolien est qualifiée de moyenne et sa vulnérabilité est notée 2. Le niveau d'impact brut a été retenu comme modéré pour le dérangement en phase travaux et pour la perte de territoire en phase exploitation. Effectivement, le risque de collisions avec les pales n'apparaît pas significatif au vu du faible effectif recensé quel que soit la période du cycle biologique de l'espèce et de sa sensibilité relative à cet effet.

En ce qui concerne la perte d'habitat et la perturbation des déplacements locaux, le projet ne comporte que 3 éoliennes et les emprises au sol nécessaires aux projets éoliens sont faibles. De plus, l'effet barrière sera réduit par les distances inter éoliennes prévues (602m entre EBOD 1 et EBOD 2 et 639m entre EBOD 2 et EBOD 3). Enfin, il existe un phénomène d'accoutumance des Busards notamment à l'éolien, et donc une perte d'habitats réduite pour ces espèces, d'autant plus qu'un parc éolien est déjà présent sur la zone et que les éoliennes du Bois Drouet viennent donc en extension de celui-ci. **Le niveau d'impact brut retenu dans l'étude d'impact paraît donc justifié.**

- Busard des roseaux (fiche espèce présentée p.153 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024).

Le busard des roseaux possède le statut NT (quasi-menacé) sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France, ce qui ne lui confère pas de valeur patrimoniale, habituellement établie à partir du statut VU (vulnérable). Cependant, il est noté CR (danger critique) sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de Basse-Normandie et est inscrit à l'annexe I de la directive oiseaux, éléments qui lui confèrent une valeur patrimoniale.

Le Busard des roseaux est présent en période de migration pré-nuptiale, avec 17 contacts d'individus sédentaires, et en migration post-nuptiale, avec 3 contacts dont 1 en migration active. Aucun individu n'a été repéré en hivernage ou en période nuptiale.

Le tableau 163 p.502 rappelle enfin le niveau de sensibilité générale de l'espèce à l'éolien et l'indice de vulnérabilité associé. Pour le Busard des Roseaux, la sensibilité aux collisions est qualifiée de moyenne, l'indice de vulnérabilité est noté 1 sur une échelle de 0 à 5.

Le niveau d'impact du projet sur l'espèce ne peut se baser uniquement sur le critère de patrimonialité d'une espèce. Ainsi, au vu des faibles effectifs recensés, de sa présence sur site à seulement deux périodes de l'année, hors période de reproduction, de sa sensibilité à l'éolien qualifiée de moyenne et de sa vulnérabilité notée 1, malgré un enjeu modéré lié à sa patrimonialité, **le niveau d'impact brut qualifié de faible (modéré uniquement pour le potentiel dérangement en période nuptiale) sur cette espèce au regard du projet apparaît justifié.**

- Buse variable

L'étude d'impact ne présente pas de fiche espèce dédiée puisque celle-ci a une valeur patrimoniale faible de par ses statuts de conservation LC (préoccupation mineure) sur les listes rouges des oiseaux nicheurs de France et de Basse-Normandie.

Le tableau 163 p.502 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024 nous indique que l'espèce a été repérée sur site en migration pré-nuptiale et post-nuptiale et période nuptiale, avec des effectifs considérés comme modérés au total.

Celui-ci nous indique également que la Buse Variable possède une sensibilité très élevée aux collisions, mais un indice de vulnérabilité de 2 sur une échelle de 0 à 5.

La Buse variable est probablement nicheuse au niveau des boisements de la ZIP ou sur l'aire d'étude immédiate et utilise également le site du projet comme zone de chasse. Compte tenu de l'implantation des 3 éoliennes du parc en milieu agricole, de leur interdistance permettant de limiter l'effet barrière, **le niveau d'impact brut qualifié de faible dans l'étude d'impact paraît donc justifié.**

Enfin, Vensolair rappelle ci-dessous les mesures proposées pour permettre de limiter au maximum l'impact potentiel du futur parc éolien et pouvoir qualifier de **non significatif les impacts résiduels sur ces espèces** :

- Mesure d'évitement E03 (p 635) : L'adaptation de la période de travaux sur l'année évitera les impacts sur les espèces en période de reproduction ;
- Mesure de réduction supplémentaire R01 (p 635) : Le dispositif de limitation des nuisances lumineuses envers la faune permettra de réduire l'attrait que pourraient comporter les éoliennes pour la faune en phase d'exploitation ;
- Mesure de réduction supplémentaire R02 (p 636) : L'absence d'enherbement des plateformes et des aménagements annexes permettra de réduire l'attrait que pourraient comporter les éoliennes pour la faune en phase d'exploitation et le revêtement par un substrat clair permettra de limiter les effets d'ascendance thermique.

L'autorité environnementale recommande d'évaluer les impacts potentiels du projet sur l'Œdicnème Criard et de proposer en conséquence des mesures de réduction de ces impacts.
(Page 10 de l'avis de la MRAe)

L'Œdicnème criard a été contacté uniquement en 2021 sur une parcelle en exploitation de la carrière de la Butte, il est nicheur possible sur celle-ci¹. Cette parcelle a été rendue favorable suite au broyage de la végétation en période hivernale et au substrat sec et relativement drainant. Ailleurs sur la ZIP, les milieux ne lui sont pas particulièrement favorables. Cette espèce s'installe sur les parcelles au substratum affleurant qui peuvent être attractives avant les semis printaniers. L'assolement est donc un facteur important de présence/absence de cette espèce dans les milieux d'agriculture intensive². L'Œdicnème criard est présent très localement (et temporairement ?) sur la ZIP mais il n'a pas été démontré sa reproduction. L'existence de rassemblement postnuptial pour cette espèce n'a pas été démontrée dans le cadre des prospections en 2020.

L'Œdicnème criard ne sera pas impacté par le projet éolien du Bois Drouet car ses aménagements sont situés dans un milieu de grandes cultures intensive qui n'est pas favorable à l'espèce. Les probabilités qu'un couple d'Œdicnème criard s'installe sur une des plateformes minérales d'éolienne restent faibles (ce cas de figure n'a pas été observé lors des différents suivis sur le parc en activité de Frénoville). Enfin, durant la phase d'exploitation, le mouvement des pales d'éoliennes peut constituer un facteur de dérangement, limitant l'installation de l'espèce.

Malgré l'impact direct faible³, Vensolair mettra en place cette mesure de réduction supplémentaire afin de répondre au risque de nidification de l'œdicnème criard sur les plateformes d'éoliennes projetées⁴ :

Si l'entretien des plateformes attribuait un quelconque attrait pour l'Œdicnème criard, et qu'une nidification était notée lors des suivis ornithologiques, alors une mise en défens du potentiel nid sera mise en place pour le préserver jusqu'au départ des jeunes.

Analyse des impacts sur les Chiroptères

L'autorité environnementale recommande d'actualiser, dans le dossier d'évaluation environnementale, les statuts de conservation régionaux des chiroptères et de revoir les niveaux d'impacts attribués aux espèces présentes sur le site d'étude au regard de ces nouveaux statuts.
(Page 10 de l'avis de la MRAe)

Les statuts de conservation régionaux des chiroptères présentés dans la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version initiale déposée le 19 mai 2023 étaient déjà issus de la liste rouge régionale 2022 des mammifères de Normandie et des données du Groupe Mammalogique Normand. Les niveaux d'impacts étaient donc évalués d'après les statuts de conservation à jour.

¹ *Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement – C.3.4.6.3 ANALYSE PAR CORTÈGE - L'avifaune des milieux ouverts- p 183.*

² *Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement – C.3.4.6.5 AVIFAUNE PATRIMONIALE - Présentation des espèces - p 186.*

³ *Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement – F.3.5.1 - Mesure locale de l'impact - F.3.5.1.2 Evaluation des impacts directs sur les oiseaux nicheurs- p 507*

⁴ *Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement - G.3.4.2 MESURES DE RÉDUCTION SUPPLÉMENTAIRES - p 636.*

Le référentiel « liste rouge régionale 2022 des mammifères de Normandie est à nouveau rappelée dans les paragraphes suivants de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024) :

- B.3.3.5.3 FAUNE - p 45 ;
- C.3.5.2.3 DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE ET ENJEUX DE PATRIMONIALITÉ – p 212 ;
- C.3.5.2.13 BILAN DES ENJEUX CHIROPTÉROLOGIQUES - p 278.

Mesures d'évitement, de réduction, d'accompagnement et de suivi des impacts sur la biodiversité

L'autorité environnementale recommande d'éloigner les éoliennes des éléments arborés favorables notamment aux chiroptères et de renforcer les mesures de réduction des impacts du projet sur les oiseaux ou, à défaut, pour les espèces protégées, de prévoir des mesures de compensation adaptées dans le cadre d'une demande de dérogation à l'interdiction de destruction des espèces protégées pour les chiroptères et les oiseaux. Elle recommande également de renforcer le bridage des éoliennes prévu et de proposer des mesures de compensation des impacts sur ces espèces.

(Page 11 de l'avis de la MRAe)

- Eloignement aux haies et renforcement des mesures

La MRAe indique dans son avis que « *L'emplacement des éoliennes E1, E2 et E3 est commun aux trois variantes examinées et le maître d'ouvrage a choisi d'implanter deux des trois éoliennes à proximité immédiate des haies, la troisième étant à moins de 200m, contrairement aux recommandations Eurobats, aux études scientifiques et à l'état initial de l'environnement qui montrent tout l'intérêt de ces structures arborées* »

Cependant, les données issues de l'étude d'impact nous indiquent qu'au printemps, 90% de l'activité des chiroptères se trouve entre 0 et 50m de distance à la lisière, qu'en période de parturition 64% de l'activité des chiroptères est dans le même cas, et qu'en transit automnal, 84% de l'activité l'est également. Le pourcentage d'activité entre 0 et 50m est moins élevé en période de parturition car une émergence de Pipistrelle commune à 125 et 200m de la lisière 1 a été enregistrée, sans qu'aucune hypothèse ne puisse être émise par le bureau d'étude quant à ce phénomène inhabituel. Dans tous les cas, il n'existe pas une réelle baisse d'activité une fois la distance des 50m passée sur ce site. Ainsi, placer les éoliennes à 200m des haies plutôt qu'à leur emplacement proposé dans le dossier d'étude d'impact n'est pas une position motivée ni corroborée par les études menées sur site. La bibliographie française et européenne disponible sur cette question (BRINKMANN, 2010 ; KELM *et al.*, 2014 ; JANTZEN et FENTON, 2013) est en accord avec les résultats mis en avant dans le dossier d'étude d'impact.

L'impact entre 50 et 200 m est non significatif. La CAA de Douai l'a d'ailleurs confirmé dans son jugement 21DA01303 du 25 janvier 2023 :

Cet arrêt concerne le recours d'un porteur de projet éolien pour un parc de 4 éoliennes avec un refus d'Autorisation Environnementale du préfet.

Ce qui ressort de cet avis, pour lesquels les 4 éoliennes étaient refusées, c'est que 3 éoliennes sont finalement jugées acceptables par la CAA de Douai et que l'instruction doit reprendre pour celles-ci. Seule une éolienne est refusée par cet avis sur le motif suivant :

« *S'agissant de l'éolienne E4 :*

21. Il résulte de l'instruction que la distance entre la canopée et le bout de pale de l'éolienne E4 n'est que de 47,20 mètres. Cette situation particulière a été pointée par l'étude écologique, aux

pages 369 et suivantes, qui a relevé également que " les impacts seront globalement plus intenses sur l'éolienne E4 qui est particulièrement ceinturée de boisements ". Il résulte aussi de l'instruction, ainsi qu'il a été dit, que l'activité des chiroptères ne diminue sensiblement qu'au-delà d'une distance de 50 mètres de la lisière. »

Pour précision, l'avis de la CAA de Douai indique pour les autres éoliennes que :

« 17. En l'espèce, d'une part, les mâts des éoliennes E1, E2 et E3 sont situés à une distance du sol de la lisière la plus proche de respectivement 140, 100 et 100 mètres et la distance entre les bouts de pales des éoliennes et la canopée atteint 92,85 mètres pour l'éolienne E1 et 58,9 mètres pour les deux autres éoliennes ».

C'est bien l'absence de recul à moins de 50 m de la canopée de la haie qui motive ce refus.

La MRAe indique également, à propos du possible phénomène d'accoutumance des oiseaux aux éoliennes « *Aucune source scientifique appuyant l'existence de ce phénomène d'accoutumance n'est citée.* ».

En ce qui concerne la littérature disponible permettant de parler d'accoutumance aux éoliennes pour certaines espèces, et notamment pour les espèces de rapaces, il est précisé p.507 de l'étude d'impact : Des suivis menés par Indre Nature (*INDRE NATURE (2013) - Deuxième programme de suivi éolien en région Centre - Recherches sur le comportement reproducteur des busards. 24 pages.*) ont montré que pour les Busards (sensibilité générale aux éoliennes qualifiée de moyenne à élevée selon les espèces) :

« Quelques années après leur mise en service, les éoliennes du site de Saint-Georges-sur-Arnon et Migny ne semblent pas avoir une influence néfaste sur l'occupation de la zone par les Busards. En 2013, Les Busards ont tenté de se reproduire et ont été observés à plusieurs reprises en chasse, en vol ou posés à proximité immédiate des éoliennes. A notre connaissance, aucune destruction d'individu n'a été constatée. Le site n'ayant pas été suivi avant l'année 2011, il est impossible d'analyser l'évolution du nombre de couples nicheurs dans la zone d'étude avant et après l'installation des éoliennes. Cependant, on note qu'à surface égale, et avec un même potentiel d'accueil, le nombre de couples nicheurs recensés sur la zone d'étude est très proche de celui de la zone témoin, bien que le ratio spécifique soit inversé entre Busard cendré et Busard Saint-Martin. De plus, les trois ans de suivi ont permis de constater que le nombre de couples fréquentant la zone est très proche d'une année sur l'autre. Pour la même raison, l'évolution de la répartition des nids n'a pas pu être clairement définie. Il a juste été remarqué qu'au moins un site de nidification utilisé avant l'implantation des machines a été réutilisé depuis ».

Ces informations permettent de penser que les éoliennes n'ont pas une grande influence sur le nombre ni sur la répartition des nids de busards.

Dans cette même étude, Indre Nature indique également que :

« L'observation des busards lors de ces trois années de suivi a permis de mettre en évidence que la proximité des éoliennes ne semble pas gêner la réalisation des comportements reproducteurs, ni les activités de chasse sur les parcs éoliens de Saint-Georges-sur-Arnon et Migny. Les conditions défavorables à la reproduction de cette année n'ont pas rendu possible l'étude du comportement des jeunes face aux éoliennes. Néanmoins, les observations de 2012 montrent que peu de temps après l'envol, les jeunes semblent éviter les éoliennes puis s'en approchent de plus en plus au cours de leur apprentissage.

Les jeunes comme les adultes paraissent adapter leurs comportements à la présence des éoliennes dans leur environnement ».

Les éoliennes n'influeraient donc pas sur le comportement des Busards (comportements reproducteurs et activités de chasse).

Pour la buse variable ou le Faucon crécerelle par exemple, d'autres études existent. Leurs caractères peu farouches n'en font pas des espèces particulièrement exposées au risque de perte d'habitat. C'est d'autant plus le cas qu'elles auront plus de facilités à prendre conscience d'obstacles dans leur

environnement proche qu'elles sont sédentaires. L'évolution des habitats et des comportements de la Buse variable et du Faucon crécerelle avant et après l'implantation de parcs éoliens a été également étudiée par une méthode de « scan-échantillonnage » (Altmann, 1974) en Allemagne. Les variables analysées n'ont pas montré d'évolution significative liée au fonctionnement d'éoliennes (Bergen, 2001). Le Faucon crécerelle a d'ailleurs été [...] observé plusieurs fois posé sur des pylônes de lignes électriques à proximité des éoliennes, et même à deux reprises en vol stationnaire (chasse) juste au-dessus des éoliennes [...] (Albouy et al., 2001). Les effets de dérangement ou de perte d'habitat sont donc faibles. Des cas d'installation de Buse variable ou de Faucon crécerelle au sein ou dans l'entourage très proche de parcs éoliens sont constatés régulièrement (Kelm comm pers, 2006 ; Beucher, 2007). Une liste non exhaustive est établie par Hermann Hötter et al. (2006) indiquant les espèces potentiellement les plus sensibles au dérangement provoqué par le fonctionnement des éoliennes. Ce risque concerne, par exemple, le Pigeon ramier, le Vanneau huppé qui, selon Hötter, s'éloignent de 160 à 260 mètres en moyenne des éoliennes en fonctionnement. Cependant, certaines espèces peuvent s'habituer et ainsi réduire les distances d'évitement des parcs éoliens. C'est pour cela que le risque collision existe pour ces espèces et que les abords des éoliennes ne doivent pas être favorable à l'accueil de ces espèces.

Enfin, lors des suivis réalisés en 2020-2021 sur le parc éolien contigu de Frénuville, aucun comportement d'évitement ou réaction particulière vis-à-vis des éoliennes n'a été observé pour cette espèce. Ce constat est également mentionné en conclusion du suivi réalisé en 2018 par ENVOL sur ce parc.

De plus, dans la version complétée du dossier déposée le 05 mars 2024, VENSOLAIR a retravaillé sur la mesure d'évitement E02 (p 634-Piece 4 Etude d'impact sur l'environnement) en ajoutant une 4^{ème} variante retenue comme variante finale. Ainsi **l'éolienne EBOD 2 qui était la plus proche des lisières du site (50 m de la canopée) dans la variante 3 initialement retenue, a pu être déplacée afin d'augmenter la distance d'éloignement du bout de pale à la haie relictuelle la plus proche (113 m de la canopée) et donc de réduire davantage l'impact sur les espèces de chiroptères.**

Ceci vient s'ajouter aux autres mesures d'évitement et de réduction pour le milieu naturel (p 634 et 635) :

- Mesure E01 : Evitement des sites à enjeux environnementaux ;
- Mesure E02 : Eloignement des survols de rotors au-delà de 50 m des haies et de 125 m des boisements, garde au sol (bas de pale de l'éolienne) supérieur ou égal à 30 m ;
- Mesure E03 : En phase chantier, aucuns travaux de génie civil entre mi-mars et mi-août ;
- Mesure R01 : Limitation de l'éclairage des éoliennes en pied de machine ;
- Mesure R02 : Absence d'enherbement des plateforme, utilisation d'un substrat clair pour limiter les ascendances thermiques et éventuelle mise en défens de nid d'œdicnème criard.
- Mesure R03 : Bridage des éoliennes

En tout état de cause, l'analyse menée par le bureau d'étude et les mesures proposées dans le dossier d'étude d'impact permettent bien de conclure à l'absence d'impact suffisamment caractérisé sur l'avifaune et les chiroptères, et aucune demande de dérogation espèce protégée n'est nécessaire. (cf. PIÈCE 4 : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT - G.3.5 IMPACTS RÉSIDUELS APRÈS ÉVITEMENT ET RÉDUCTION - Tableau 207 : Synthèse des impacts résiduels après mise en œuvre des mesures de réduction – p 639 à 641)

- Mesure de bridage des éoliennes

Vensolair a également retravaillé son plan de bridage chiroptère afin de s'approcher de celui attendu par la DREAL Normandie (Mesure R03 - p 636 -Piece 4 Etude d'impact sur l'environnement) : Durant la première année d'exploitation, les conditions de mise en drapeau (bridage) de toutes les éoliennes du parc permettront de couvrir 90% de l'activité des chiroptères (contre 80% dans la variante initiale). Les

paramètres pourront être revus à l'issue de la première année du suivi environnemental (suivi mortalité et suivi acoustique à hauteur de nacelle).

	Bridage Vensolair		Bridage DREAL		Nouveau Bridage proposé	
	01/05 au 31/07	01/08 au 31/10			01/05 au 31/07	01/08 au 31/10
Saison			Toute l'année			
Température	> 11°C	> 12°C	> 8°C		> 11°C	> 12°C
Vitesse de vent	< 6,5 m/s	< 6m/s	< 7 m/s		< 6,5 m/s	< 6m/s
Humidité	en l'absence de précipitation		en l'absence de précipitation		en l'absence de précipitation	
Durée	de 30 min avant le coucher du soleil à 4h après, puis 1h30 avant l'aube		de 1h avant le coucher du soleil à 1h après	➔	Toute la nuit	
Pourcentage d'activité couvert	80%		95%		90%	
Pourcentage de perte de production	1,79%		7,29%		2,20%	

L'autorité environnementale recommande au maître d'ouvrage de s'engager à ne pas réaliser les travaux à minima les plus impactant (création des chemins d'accès et terrassement) entre le 15 mars et le 15 août.

(Page 12 de l'avis de la MRAe)

Vensolair a pris la mesure d'évitement supplémentaire afin d'éviter les impacts pour les espèces qui pourraient utiliser les milieux ouverts en période de reproduction. Ainsi, les travaux les plus impactant (création des chemins d'accès et terrassement) **seront évités** entre mi-mars et mi-août. cette mesure est indiqué dans la partie G.3.4.1 « Mesure d'évitement supplémentaires » page 635 de la « PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024.

L'autorité environnementale recommande d'envisager des actions de restauration de la biodiversité sur le site Natura 2000 des marais de Chicheboville-Bellengreville, en partenariat avec le conservatoire d'espaces naturels (CEN) en tant que mesures de compensation, voire d'accompagnement, afin de permettre au projet de tendre vers un gain de biodiversité.

(Page 12 de l'avis de la MRAe)

Vensolair s'engage auprès du Conservatoire des Espaces Naturels de Normandie à mettre en place des mesures de conservation du Busard des Roseaux et plus largement des rapaces présents sur le secteur. Toutefois, si le Conservatoire estimait que l'appui de Vensolair pourrait être plus utile sur d'autres espèces ou d'autres territoires, il pourrait être décidé en concertation avec les acteurs concernés de fixer d'autres modalités d'actions encore plus utiles à la préservation de la biodiversité. (Cf. Mesure d'accompagnement A01, page 644 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024). **Cette proposition fait suite aux échanges entre VENSOLAIR et le Conservatoire des Espaces Naturels de Normandie lors du développement du projet de parc éolien.** Les compte rendus de ces échanges ainsi que le courrier d'engagement de VENSOLAIR figurent en annexe 2 pages 6 à 8 de la « *PIECE 5 : ANNEXES DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024 ».

L'autorité environnementale recommande de renforcer la fréquence de suivi au-delà des dix premières années d'exploitation du parc éolien en réalisant de manière simultanée le suivi de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle, ceux de l'activité des oiseaux et de la mortalité des chiroptères et des oiseaux au pied des éoliennes.

(Page 12 de l'avis de la MRAe)

Les mesures de suivis des chiroptères et des oiseaux sont précisées dans la partie « G.3.7 Mesures d'accompagnement et de suivi » p 642 de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024.

La mesure de suivi S01 permettra d'apprécier les impacts sur l'occupation de l'espace par les espèces de chiroptères fréquentant le secteur à **hauteur de nacelle**. Les analyses annuelles pourront permettre tout au long de l'étude de réévaluer les impacts. Ce suivi doit débiter dans les 12 mois qui suivent la mise en service du parc éolien afin d'assurer un suivi sur un cycle biologique complet et continu adapté aux enjeux avifaune et chiroptères susceptibles d'être présents. Le suivi est renouvelé dans les 12 mois si le précédent suivi a mis en évidence un impact significatif et qu'il est nécessaire de vérifier l'efficacité des mesures correctives. Ce suivi sera réalisé sur un cycle d'activité complet pour une analyse comparative avec l'activité enregistrée à l'état initial.

L'organisme en charge de ce suivi devra reprendre les mêmes outils (détecteurs automatiques) et le même paramétrage que ceux utilisés dans l'étude initiale (autant que possible). **Il est préconisé de coupler ce suivi d'activité en altitude avec le suivi de mortalité (cf. mesure S03)**. En effet, il est important de pouvoir corréliser l'activité en altitude au regard des cadavres découverts.

Il est retenu ici les années de suivis suivantes :

- Un suivi d'activité dans les 12 mois qui suivent la mise en service du parc éolien (n+1) (période de suivi à prévoir de la semaine 20 à la semaine 43).

- **Un suivi d'activité aux années n+2, n+3, n+8, n+13 et n+18 (période de suivi à prévoir de la semaine 20 à la semaine 43) en considérant une exploitation du parc éolien sur 20 ans.**

Le Coût de la mesure est estimé à environ 12 000 € HT par année de suivi soit 72 000 € HT (matériel type Batcorder ou Batmode compris) pour l'ensemble des suivis prévus sur l'ensemble de la durée d'exploitation du parc éolien.

La mesure S02 pour l'avifaune consistera à reconduire en période nuptiale les points d'écoute et transects lors de 2 passages sur cette période. Pour les autres périodes, la pression d'observation des suivis sera la suivante :

- Période hivernale : 2 passages
- Période pré-nuptiale : 2 passages
- Période post-nuptiale : 3 passages

Il est retenu ici les années de suivis suivantes :

- Un suivi annuel (9 passages) l'année suivant la mise en service des éoliennes (n+1).
- **Un suivi annuel (9 passages) n+2, n+3, n+8, n+13 et n+18 en considérant une exploitation du parc éolien sur 20 ans.**

Le coût de la mesure est estimé à environ 9 000 € HT par année de suivi soit 54 000 € HT pour l'ensemble des suivis prévus sur l'ensemble de la durée d'exploitation du parc éolien.

Enfin la mesure S03 visera le suivi de la mortalité des chiroptères et des oiseaux aux pieds des éoliennes. Ce suivi sera conjoint pour les deux groupes, avec utilisation de la même méthodologie.

La méthodologie décrite ci-après pour le suivi mortalité des Chiroptères est également valable pour le suivi mortalité des oiseaux. Ce suivi sera conjoint pour les deux groupes, avec utilisation de la même méthodologie. Le Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres dans sa version actualisée de 2018 indique que : « Le suivi de mortalité des oiseaux et Chiroptères sera constitué au minimum de 20 prospections, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre), en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site. (...) »

Période sur laquelle doit être effectué le suivi de mortalité de l'avifaune et le suivi d'activité des Chiroptères en hauteur en fonction des enjeux :

semaine n°	1 à 19	20 à 30	31 à 43	44 à 52
Le suivi de mortalité doit être réalisé ...	Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères spécifiques*	Dans tous les cas*		Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères*
Suivi d'activité en hauteur des chiroptères	Si enjeux sur les chiroptères	Si pas de suivi en hauteur dans l'étude d'impact	Dans tous les cas	Si enjeux sur les chiroptères

* Le suivi de mortalité des oiseaux et des chiroptères est mutualisé. Ainsi, tout suivi de mortalité devra conduire à rechercher à la fois les oiseaux et les chiroptères (y compris par exemple en cas de suivi étendu motivé par des enjeux avifaunistiques).

Vensolair propose pour chaque année de suivi, une série de 4 passages par éolienne par an à 3 jours d'intervalle en mai, juin, août, septembre et octobre. Pour chacun des mois pré-cités, les suivis seront concentrés sur une période d'au maximum 9 jours consécutifs (exemple : passage 1 à j+0, passage 2 à

j+3, passage 3 à j+6 et passage 4 à j+9). Le suivi sera conforme au protocole en vigueur avec réalisation de 20 passages répartis entre la semaine 20 et la semaine 43.

Les recommandations suivantes doivent être respectées pour s'assurer d'un suivi de mortalité limitant les biais :

- La surface de recherche ne doit pas être inférieure à 1 ha (= carré de 100 m de côté) en plaçant l'éolienne en son centre (surface standardisée nécessaire à l'application des formules de calcul du taux de mortalité). Mais la recherche peut se faire sur une surface plus importante notamment sous certains parcs sous lesquels on peut s'attendre à une forte dispersion des cadavres (taille d'éolienne très importante, activité des chauves-souris supposée de haut vol....) : idéalement, la recherche s'effectuera alors sur un rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne ;
- La zone de recherche peut être un carré (transects parallèles) ou un cercle (transects circulaires, méthode utilisant une corde, qui ne peut être utilisée qu'en terrain plat sans obstacle) ;
- Les transects de recherche doivent être espacés en fonction du couvert végétal (10 m pour les zones bien dégagées ; 5 m dans l'idéal) ;
- Si pour une raison qu'il conviendra de justifier, cette zone ne peut pas être prospectée entièrement, le pourcentage de la zone de recherche doit être calculé pour chaque éolienne afin de corriger l'estimation de la mortalité finale (coefficient surfacique) ;
- La zone de recherche doit être maintenue dans la mesure du possible, sans couvert végétal (ou couverte d'une végétation rase), pour favoriser la recherche de cadavres (on comprendra aisément que la recherche ne peut pas s'effectuer au sein d'une culture).

Le suivi doit prendre en compte les recommandations suivantes :

- Le chercheur doit marcher lentement et de manière régulière le long des transects ;
- La recherche doit débuter une heure après le lever du soleil, pour minimiser l'impact de la prédation diurne, et quand les conditions lumineuses sont suffisantes ;
- Quand un cadavre est trouvé, doivent être notés : l'espèce, la position du cadavre (coordonnées GPS, direction par rapport à l'éolienne, distance au mât, le numéro de l'éolienne), son état (frais, de quelques jours, pourris, ou restes), le type de blessure, l'évaluation de la date de décès, la hauteur de végétation ;
- Afin d'éviter les erreurs de suivi, les cadavres devront être retirés des zones contrôlées après chaque passage. Pour ce faire, l'organisme en charge du suivi devra se mettre en conformité avec la réglementation et demander une dérogation de détention et de transport d'espèces protégées (cadavres) auprès de l'autorité compétente. Il existe une relation entre les conditions météorologiques, les niveaux d'activité et la mortalité. C'est pourquoi ces informations doivent être collectées et apparaître dans le rapport.

Il appartiendra pendant l'étude de corriger la mortalité brute des différents biais, tels que :

- La disparition des cadavres (2 tests de persistance sont à faire conformément au protocole national en vigueur) ;
- L'efficacité de recherche (2 tests d'efficacité sont à faire conformément au protocole national en vigueur) ;
- Le pourcentage de la zone de recherche. Durée des prospections

Ces prospections seront réalisées :

- Un suivi de la mortalité dans les 12 mois qui suivent la mise en service du parc éolien (n+1) (période de suivi à prévoir de la semaine 20 à la semaine 43 à raison de 20 passages).
- **Un suivi de la mortalité aux années n+2, n+3, n+8, n+13 et n+18 (période de suivi à prévoir de la semaine 20 à la semaine 43) en considérant une exploitation du parc éolien sur 20 ans.**

A l'issue des prospections, les résultats obtenus permettront d'appréhender les impacts réels des différentes éoliennes par le suivi ultrasonore (mesure S01) et par le suivi de mortalité (mesure S02). Ces informations permettront de réajuster les mesures afin de réduire les impacts sur les chiroptères pour ce projet.

Le coût de la mesure est estimé à environ 15 000 € HT par année de suivi soit 90 000 € HT pour l'ensemble des suivis prévus sur l'ensemble de la durée d'exploitation du parc éolien.

Le paysage

Etat initial de l'environnement

L'autorité environnementale recommande de compléter l'étude paysagère par des précisions en ce qui concerne les enjeux du projet sur les sites inscrits et classés dans l'aire éloignée, les cônes de vue depuis les parcs éoliens existants et le viaduc de Calix, les photomontages des trois variantes sans feuillage, les cartographies des zones d'influence visuelle sur un périmètre de dix kilomètres et l'effet d'écran de la végétalisation entre Chicheboville et le projet.

(Page 13 de l'avis de la MRAe)

- Les enjeux du projet sur les sites inscrits et classés dans l'aire éloignée.

La méthodologie de la définition des enjeux et de leur évaluation est précisée dans la partie "B.3.5.3 ENJEUX ET SENSIBILITÉ POTENTIELLE" page 72 de la Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024. Cette méthodologie vaut pour l'ensemble des aires d'études et des éléments étudiés :

- « L'évaluation du niveau d'enjeux prend en compte de nombreux critères parmi lesquels l'importance de l'infrastructure ou du lieu de vie étudié ; la visibilité des silhouettes/marqueurs verticaux ; s'il s'agit d'un élément identitaire, reconnu, réputé, et à quelle échelle ; la présence d'un label ou d'une protection réglementaire ; l'attractivité touristique ou économique ; la présence d'un belvédère ou d'une vue remarquable... Il est mesuré sous la forme d'un gradient couvrant les valeurs allant de « nul ou négligeable » à « très fort ».

Ensuite, le classement et l'inscription des sites sont régis par les titres IV et V du livre III du Code de l'environnement. Les Sites classés sont des lieux dont le caractère exceptionnel justifie une protection de niveau national : éléments remarquables, lieux dont on souhaite conserver les vestiges ou la mémoire pour les événements qui s'y sont déroulés. L'inscription est une reconnaissance de la qualité d'un site justifiant une surveillance de son évolution, sous forme d'une consultation de l'architecte des Bâtiments de France sur les travaux qui y sont entrepris.

Le niveau d'enjeu pour chacun des 36 sites classés et des 8 sites inscrits dans l'aire éloignée est évalué dans le tableau 131 – p 355 et 356 de la Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement, partie " C.5.3.3 PATRIMOINE ET TOURISME".

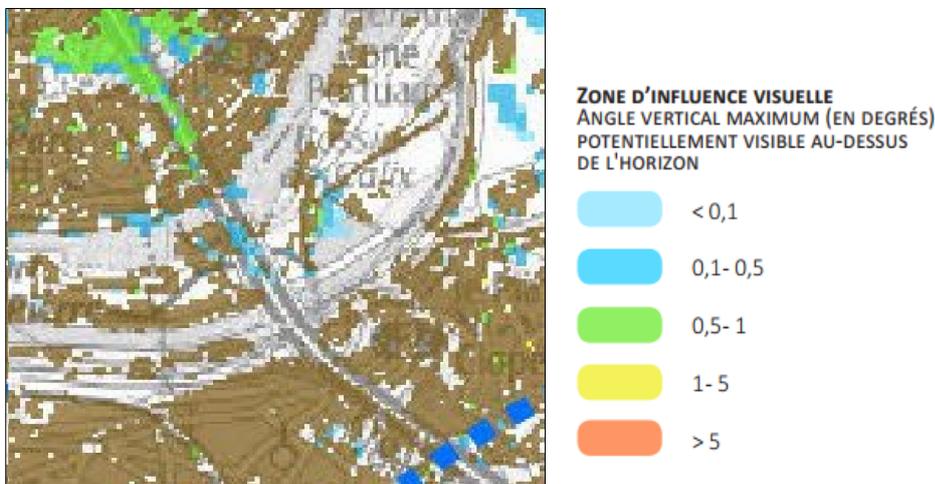
Le niveau d'enjeu des sites classés et inscrits est évalué en croisant les critères précités dans la partie "B.3.5.3 ENJEUX ET SENSIBILITÉ POTENTIELLE" page 72 avec leurs caractéristiques d'implantation et la présence de rideaux visuels intermédiaires (illustrés par la carte 91 : Sites protégés et zone d'influence visuelle dans l'emprise de l'aire d'étude éloignée et zone d'influence visuelle p 358).

- La vue des parcs éoliens existants et du projet depuis le viaduc de Calix.

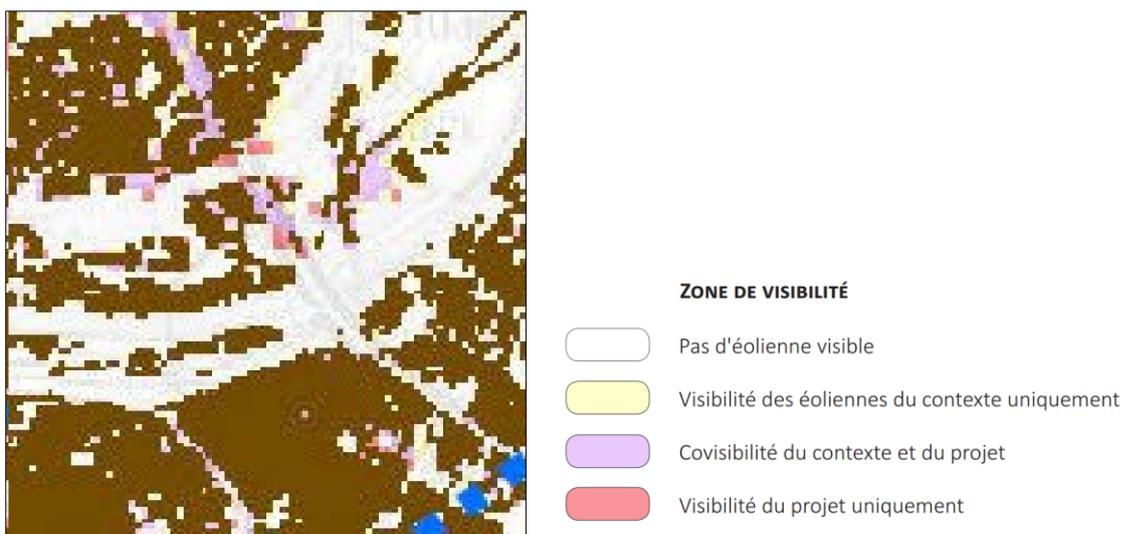
Le viaduc de Calix ne dispose d'aucun accès piéton. Il sert exclusivement au transport routier dont l'intensité de la circulation n'octroie pas un temps d'observation de l'horizon qui soit suffisant pour identifier distinctement le projet éolien du Bois Drouet parmi les parcs éoliens existants.

Dans l'Etude d'impact, la sensibilité depuis le Viaduc de Calix, en tant que belvédère ponctuel est qualifiée de nulle à très faible au regard des visibilitées ponctuelles et filtrées par la présence d'obstacles verticaux de l'horizons (p 347).

Également du fait de la distance, la prégnance visuelle des éoliennes en service est déjà très faible depuis le Viaduc comme le démontre l'extrait suivant des zones d'influence visuelle dans l'aire d'étude éloignée consultables en page 570 et 571 de l'étude d'impact.



Enfin, Depuis le Viaduc de Calix, les plages de visibilité du seul projet du Bois Drouet se superposent majoritairement sur des plages de visibilité du contexte éolien existant. Les nouvelles plages de visibilité engendrées par l'insertion du projet sont très limitées.



Extrait de la Zone d'influence visuelle comparée du projet et du contexte éolien – page 571 de l'Etude d'Impact Environnementale

- Les photomontages des trois variantes sans feuillage.

Afin de ne pas minimiser les visibilités du projet une partie de l'année (notamment l'hiver), la Mission Régionale de l'Autorité Environnementale a demandé à Vensolair de réaliser de nouveaux photomontages illustrant les trois variantes et les cas les plus sensibles (à minima PM2, PM17, PM25) avec une végétation sans feuillage.

Les prises de vue pour le projet du parc éolien du Bois Drouet ont été réalisées entre juillet 2021 et mars 2022. En réponse à la demande de la Mission Régionale de l'Autorité Environnementale, des prises de vue hivernales ont été réalisées en décembre 2023 pour les trois photomontages considérés comme les plus sensibles (n°2,17 et 25).

Vensolair souligne que parmi les photomontages illustrant les trois variantes, seul le photomontage n° 2 est concerné par l'effet de masqué végétatif.

Voici les extraits de ces nouveaux photomontages issus du carnet de photomontage « PIÈCE 5 : ANNEXES DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT » dans sa version complétée et déposée le 05 mars 2024 :

Photomontage n° 2 – Depuis la frange est de Four (Soliers) pages 188 à 191.



Extrait de l'analyse des variantes – Photomontage n° 2 depuis la frange est de Four (Soliers) – page 454 et 455 de la Pièce 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement dans sa version complétée et déposée le 05 mars 2024

Photomontage n° 17 – Depuis les abords de l'église de Bourguébus (D89) pages 252 à 255.



Photomontage n° 25 – Depuis la ferme du château d'Émiéville (MH) pages 284 à 287.



En plus des points 17 et 25 demandés par l'autorité environnementale, Vensolair a également mis à jour le photomontage n° 29 qui était aussi concerné par les masques végétatifs et le photomontage n° 11 car le nouveau lotissement du bas de Bellengreville est désormais quasiment achevé.

Photomontage n° 11 – Depuis le Bas de Bellengreville – page 224 à 227



Photomontage n° 29 – Depuis la sortie ouest d'Argences (D41) – page 300 à 303.

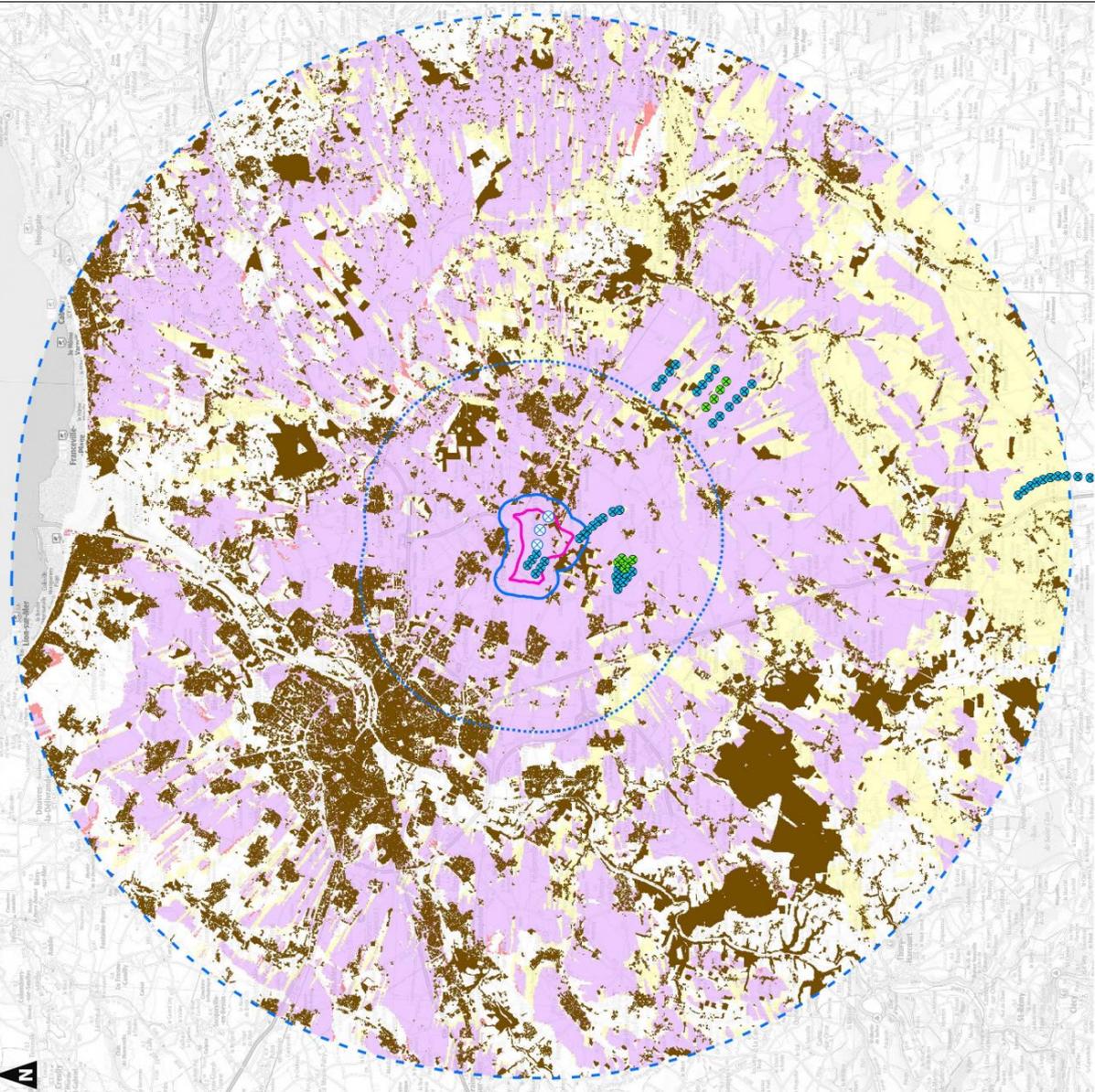


- Les cartographies des zones d'influence visuelle sur un périmètre de dix kilomètres.

La comparaison de l'impact visuel du projet et celui des autres parcs présents dans un rayon de 10 km est illustrée par l'ajout de la carte de la zone d'influence visuelle comparées et qui figurent en partie *F.5.2.3 ZONE D'INFLUENCE VISUELLE COMPARÉE DU PROJET ET DU CONTEXTE ÉOLIEN - p 569 à 572* de la « *PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT* » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024.

Cette zone d'influence visuelle comparée permet d'appréhender les zones de visibilité déjà couvertes pour le contexte éolien existants (en jaune pâle), les zones où le contexte éolien et le projet sont perceptibles en même temps (en violet) et d'analyser les nouvelles plages de visibilité générées par le projet du Bois Drouet (en rose). Elle figure sur les cartes en pages 571 et 572. À l'échelle de l'aire d'étude rapprochée (6 km autour du site du projet), les plages de visibilité du projet du Bois Drouet sont communes à celles du contexte éolien existant (plages violettes). Les nouvelles plages de visibilité (en rose), sont très limitées. Elles bordent, ponctuellement et sur des surfaces peu importantes, les plages de visibilité existantes.

Au-delà de l'aire d'étude rapprochée (6-20 km), la situation est globalement identique. Les plages de visibilité du projet du Bois Drouet se superposent majoritairement sur des plages de visibilité du contexte éolien existant. Les nouvelles plages de visibilité engendrées par l'insertion du projet sont limitées, et principalement situées au nord-est. Cela correspond aux paysages de l'escarpement du pays d'Auge et les marais de la Dives. Ces territoires sont accompagnés d'une trame bocagère, en particulier le pays d'Auge, que la simulation ne prend pas en compte. Il est fort probable que ces nouvelles visibilité soient en réalité filtrées par la végétation des premiers plans. L'impact du projet du parc éolien du Bois Drouet sur les visibilité du motif éolien dans le grand paysage est très faible.



vensolair
un projet CO2

Expertise paysagère, patrimoniale et touristique

Carte 43. Zone d'influence visuelle comparée du projet et du contexte éolien à l'échelle de l'aire d'étude éloignée
 Scénario « Bout de Pale, éoliennes à 150 m »

- Zone d'implantation potentielle
- Aire d'étude immédiate (600 m)
- Aire d'étude rapprochée (6 km)
- Aire d'étude éloignée (20 km)
- Principale zone urbaine ou boisée (niveau visuel)

CONTEXTE ÉOLIEN

- Éolienne exploitée
- Éolienne autorisée
- ⊗ Éolienne projetée

ZONE DE VISIBILITÉ

- Pas d'éolienne visible
- Visibilité des éoliennes du contexte uniquement
- Covisibilité du contexte et du projet
- Visibilité du projet uniquement

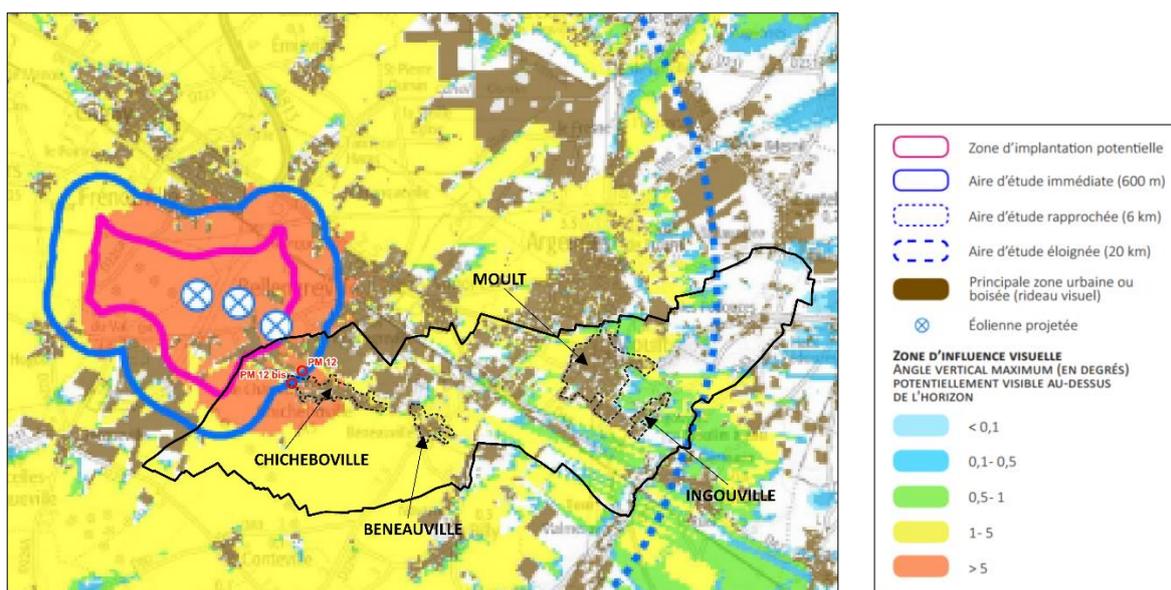
0 5 10
Kilomètres


 Réalisation : AUDDICE, février 2021
 Sources de données : IGN, IGN SCAN 100 et SCAN 1000
 Sources de données : IGN, ADMIN EXPRESS - VENSOLAIR - AUDDICE, 2021

- L'effet d'écran de la végétalisation entre Chicheboville et le projet.

L'extrait de la Carte 158 : Zone d'influence visuelle à l'échelle de l'aire d'étude éloignée Scénario « bout de Pale, éoliennes à 150 m », page 570 de la Piece 4 « Etude d'Impact sur l'Environnement » dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024, indique que depuis les bourgs de Chicheboville et de Moul, les éoliennes du projet sont masquées en tout ou en partie par le bâti.

Les deux points d'observations de Chicheboville les plus proches du projet illustrent cet « effet écran de la végétation entre Chicheboville et le projet ». Il s'agit du photomontage PM 12 en sortie du bourg de Chicheboville et du photomontage PM 12 bis depuis le lieu de vie de le plus proche du projet situé sur la frange ouest de Chicheboville. Également, deux coupes topographiques complètent ces photomontages (Cf Piece 5 : Annexes de l'étude d'impact sur l'Environnement » / « ANNEXE 38 : Carnet de Photomontages / Photomontage 12 – Depuis la sortie nord de Chicheboville, lieu-dit le Château et photomontage 12 bis – Depuis la frange ouest de Chicheboville » - p 228 à 235).



Photomontage 12- Depuis la sortie nord de Chicheboville, lieu-dit le château.



Photomontage 12 bis - Depuis la frange ouest de Chicheboville



Analyse des impacts du projet sur le paysage

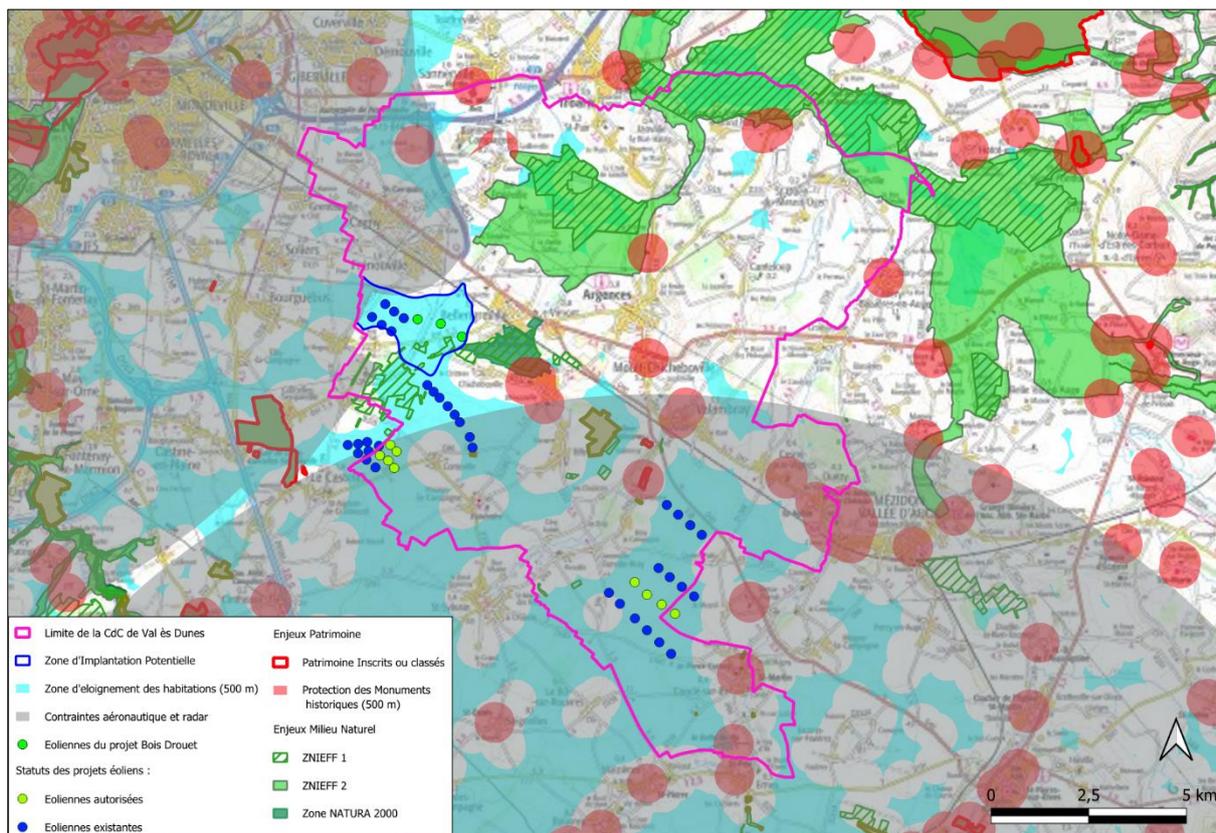
L'autorité environnementale recommande de compléter l'analyse paysagère afin de confirmer ou d'infirmer la lisibilité du projet et l'absence d'impacts paysagers cumulés notables. Elle recommande également de justifier le choix de distances irrégulières entre les éoliennes et d'expliquer pourquoi l'implantation du projet ne suit ni l'implantation du parc de Frénoville, ni la voie ferrée, ni la RD613, contrairement aux préconisations formulées à la fin de l'état initial de l'environnement en faveur de la cohérence paysagère.

(Page 14 de l'avis de la MRAe)

- La lisibilité du projet.

Tout d'abord, il convient de rappeler que le choix du site du parc éolien du Bois Drouet sur la commune de Bellengreville au sein du territoire de la communauté de communes Val à Dunes a été guidé par trois raisons majeures :

- Ne pas interférer avec les contraintes techniques quasi-réduites, à savoir la zone protégée du VOR et du PSA de l'aéroport de Caen Carpiquet ainsi que la zone protégée du radar Météo France implanté à Falaise (zone grisée sur la carte ci-dessous) ;
- S'éloigner des zones à enjeux du milieu naturel (ZNIEFF et sites Natura 2000, en vert) et du patrimoine (monuments historiques protégés et leurs périmètres de protection, en rouge) ;
- Et surtout Densifier les parcs éoliens en service



Au regard des contraintes illustrées sur la carte, la zone d'implantation potentielle sur la commune de Bellengreville se justifie parfaitement. Elle est la dernière zone de densification de parcs éoliens existants en dehors des contraintes techniques et naturelles majeures, avec celle de Moul Chicheboville.

Ensuite, le projet se situe dans une zone à faibles enjeux, définie dans le Schéma Régional Éolien (SRE) de Basse Normandie (annulé depuis par le tribunal administratif de Caen pour défaut d'évaluation environnementale le 9 juillet 2015), Il est en conformité avec les attentes du SRADDET de Normandie car il participe notamment à l'atteinte des objectifs de développement d'énergies renouvelables sur ce territoire (objectif 52) tout en conciliant la densification et les espaces de respiration afin d'accompagner les mutations paysagères (objectif 37).

Enfin, précisons que l'implantation des éoliennes du projet éolien du Bois Drouet suit les logiques d'implantation de la quasi-totalité des parcs éoliens autorisés ou en service dans la communauté de communes de Val à Dunes. C'est une courbe légère orientée sur un axe nord-ouest/sud-est. Seul le parc autorisé de Garcelle Secqueville présente une logique d'implantation en « grappe » qui diffère de tous les autres.

- L'absence d'impacts cumulés sur le paysage.

Le contexte éolien est concentré entre Frénoville et Fierville-Bray, le projet du parc éolien du Bois Drouet étant compris entre les parcs existants de Frénoville et Chicheboville. La proximité aux éoliennes et l'ouverture dominante des paysages permet des interactions visuelles régulières entre les éoliennes projetées et celles existantes. Ainsi, les effets de cumul éolien sont illustrés sur 30 photomontages, soit près de 3/4 du carnet.

Les impacts du projet sur les effets du cumul éolien varient de modéré (deux) à nul, aucun impact identifié de niveau fort ou très fort. Ils prennent globalement la forme :

- D'une extension latérale de l'angle horizontal intercepté par les parcs les plus proches, généralement celui de Frénoville, pouvant ponctuellement engager des effets de barrière visuelle (notamment au niveau du Bas de Bellengreville) ;
- D'un renforcement de la présence éolienne dans le paysage ;
- Ou d'une superposition des éoliennes projetées avec celles existantes.

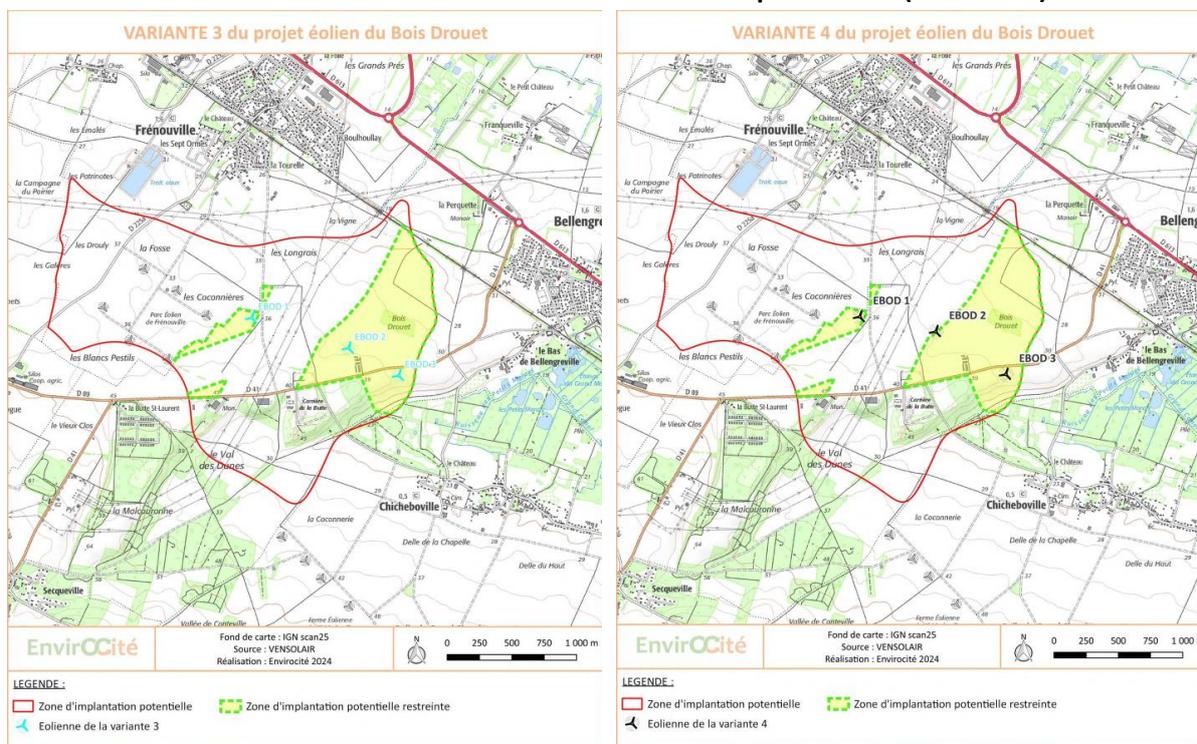
Cependant, dans la majeure partie des cas, le projet du parc éolien du Bois Drouet est visible de manière cohérente avec le contexte éolien, en termes de gabarit comme de logique spatiale. Il est d'ailleurs régulièrement perçu comme une extension du parc de Frénoville. **En cela, le projet répond aux recommandations paysagères.**

De plus, les éoliennes projetées sont régulièrement filtrées ou tronquées par les masques visuels, amoindrissant leur présence dans le paysage et leur impact sur les effets du cumul éolien.

L'analyse des impacts du projet sur les effets de cumul éolien est complétée par l'étude d'encerclement et de saturation visuelle (*partie F.5.5 page 587 à 610 de la pièce 4 de l'étude d'impact dans sa version complétée du 05 mars 2024*). Celle-ci conclue que « *L'impact théorique du projet du Bois Drouet sur les effets de saturation visuelle et d'encerclement des lieux de vie étudiés est globalement peu important, à l'exception de Chicheboville (fort) et Secqueville (modéré). Cependant, bien que certains indicateurs dépassent leur seuil d'alerte suite à la prise en compte du projet, les effets visuels sur le terrain sont réduits par l'éloignement, la superposition du projet à une partie du contexte éolien ou à la présence de masques visuels dans les plans intermédiaires. Ainsi, malgré les résultats théoriques de l'étude d'encerclement et de saturation visuelle, le projet du parc éolien du Bois Drouet ne génère pas d'impact réel notable sur les effets d'encerclement et de saturation visuelle sur les lieux de vie étudié. Une situation qu'illustrent les photomontages retenus.* »

- Distances irrégulières entre les éoliennes.

La modification apportée dans les compléments au dossier de demande d'autorisation environnementale propose une nouvelle variante finale (variante 4) qui améliore l'irrégularité des distances entre les éoliennes constatée dans la variante finale précédente (Variante 3).



Inter Distances	E1	E2	E3
E1	0	783 m	1 221 m
E2	783 m	0	443 m
E3	1 221 m	443 m	0

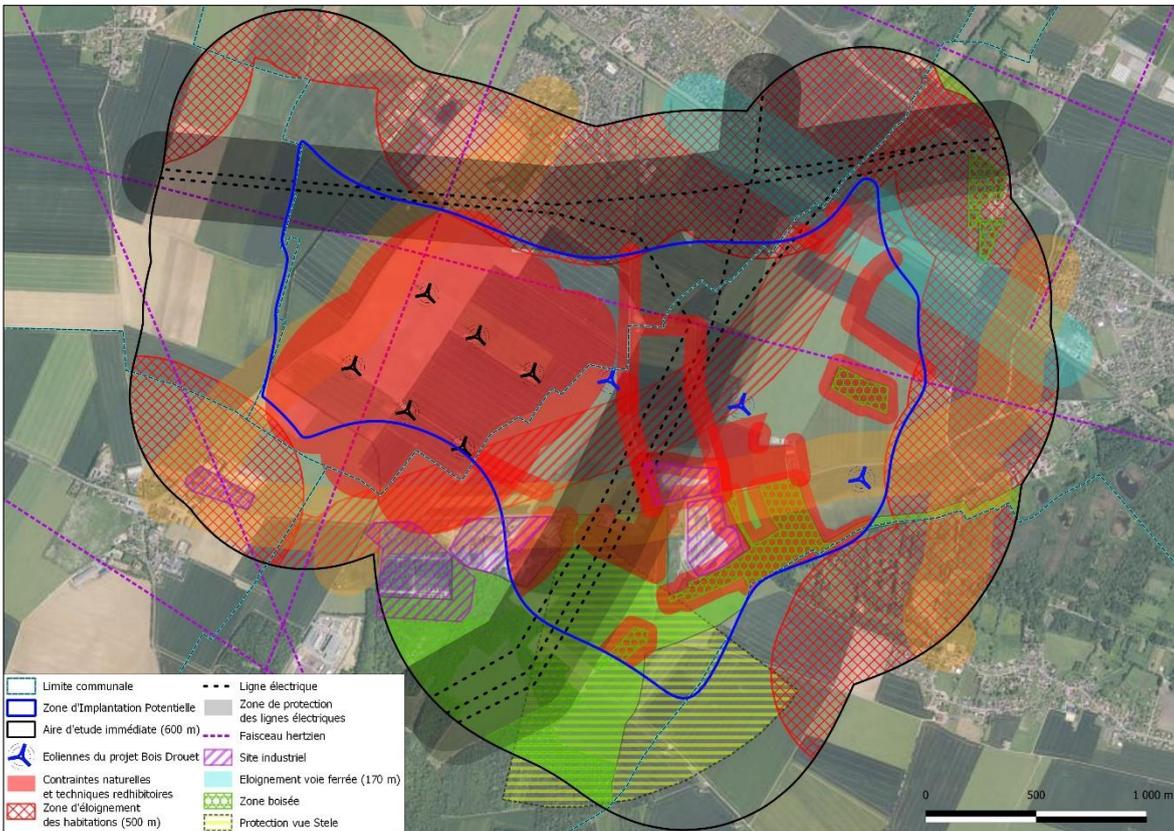
Inter Distances	E1	E2	E3
E1	0	602 m	1 221 m
E2	783 m	0	639 m
E3	1 221 m	443 m	0

- Non alignement avec les éléments structurants du site (parc éolien de Frénoville, voie SNCF, RD613)

Le cumul des contraintes foncières et des contraintes techniques réglementaires (en rouge sur l'extrait de la carte 113 page 428 de l'étude d'impact ci-dessous) n'offrait pas l'espace suffisant permettant d'aligner parfaitement les éoliennes du projet avec les éoliennes de Frénoville.

Malgré tout le projet final a cherché à répondre aux enjeux paysagers majeurs : Prolongement de la ligne formée par les éoliennes de Frénoville, éloignement des franges urbaines de Frénoville et de Bellengreville, limitation de la perception depuis les centres bourgs, limitation de l'extension de l'angle horizontal intercepté, évitement des cônes de vue identifiés depuis la Hogue, le château de Chicheboville (non protégé), le manoir de la Perquette (MH), le mémorial de la bataille de Val-es-Dunes, ainsi que l'entité archéologique 24, comme demandé par le Service régional de l'archéologie.

Cette légère courbe compose avec les contraintes du territoire. Elle s'inspire des orientations du parc éolien de Frénouville, de la D613 et de la voie ferrée. Cette implantation répond en grande partie aux recommandations paysagères et patrimoniales.



La santé humaine

Nuisances sonores

L'autorité environnementale recommande de préciser les émergences sonores estimées avant mise en œuvre des mesures de réduction, afin de caractériser l'impact brut potentiel du projet en termes de nuisances sonores et de démontrer que les plans de fonctionnement proposés permettront d'éviter le dépassement des seuils réglementaires.

(Page 15 de l'avis de la MRAe)

Comme présenté dans l'étude d'impact, l'état initial acoustique s'appuie sur une campagne de mesure menée en hiver, du 13 avril au 14 mai 2021, auprès de 12 positions de mesures et d'un mât de mesure météorologique de 120 mètres. Il a permis la description de l'ambiance sonore existante dans les deux directions principales des vents, de jour et de nuit, pour un panel de vitesse complet au regard des exigences pour ce type de dossier.

L'impact brut potentiel du projet a été estimé pour 2 types d'éoliennes (N117 et V117) à partir du calcul des émergences nocturnes brutes (avant mesures de réduction), pour chacun des points de mesures :

N117 - SO

Position d'étude	Émergences calculées - période NOCTURNE - dB(A)							
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
Rue de la Valette_M					1,8	0,7	0,3	0,2
Manoir de la Perquette_M					1,1	0,3	0,2	0,2
Rue des Tilleuls_M				3,7	2,1	1,1	0,4	0,2
Rue du Val ès Dunes_M				0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
Route de Chicheboville_M				3,9	3,1	1,9	1,4	1,2
Rue Eole_M				0,9	0,6	0,5	0,3	0,3
Route d'Evrecy_M				0,8	0,3	0,1	0,1	0,1
La Butte St-Laurent_M				0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Chemin du Four_M						0,0	0,0	0,0
Rue Bertin_M						0,3	0,2	0,1
Rue Federmeyer_M						0,1	0,1	0,0
Rue de la Resistance_M				1,8	1,2	0,9	0,7	0,3

N117 - NE

Position d'étude	Émergences calculées - période NOCTURNE - dB(A)							
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
Rue de la Valette_M				0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
Manoir de la Perquette_M								0,3
Rue des Tilleuls_M								0,5
Rue du Val ès Dunes_M						0,1	0,1	0,0
Route de Chicheboville_M					0,8	0,6	0,4	0,3
Rue Eole_M					3,5	2,3	1,7	1,3
Route d'Evrecy_M				7,3	5,7	4,4	3,4	2,8
La Butte St-Laurent_M					1,4	0,9	0,7	0,5
Chemin du Four_M						0,3	0,2	0,1
Rue Bertin_M								0,1
Rue Federmeyer_M								0,1
Rue de la Resistance_M								0,5

V117 - SO

Position d'étude	Émergences calculées - période NOCTURNE - dB(A)							
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	>10 m/s
Rue de la Valette_M				4,5	3,7	1,7	0,8	0,5
Manoir de la Perquette_M				3,4	2,4	0,7	0,4	0,4
Rue des Tilleuls_M				5,6	4,4	2,7	1,1	0,6
Rue du Val ès Dunes_M				0,6	0,5	0,3	0,2	0,2
Route de Chicheboville_M				5,6	5,6	3,9	3,0	2,6
Rue Eole_M				1,7	1,5	1,2	0,9	0,8
Route d'Evrecy_M				1,4	0,6	0,3	0,3	0,3
La Butte St-Laurent_M				0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Chemin du Four_M						0,1	0,1	0,0
Rue Bertin_M						0,8	0,5	0,4
Rue Federmeyer_M						0,3	0,2	0,1
Rue de la Resistance_M				3,0	2,7	2,2	1,7	0,9

V117 - NE								
Position d'étude	Émergences calculées - période NOCTURNE - dB(A)							
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	>10 m/s
Rue de la Valette_M				0,5	0,5	0,3	0,2	0,2
Manoir de la Perquette_M							1,0	0,7
Rue des Tilleuls_M								1,3
Rue du Val ès Dunes_M						0,2	0,2	0,1
Route de Chicheboville_M					1,8	1,3	1,0	0,7
Rue Eole_M				5,7	6,2	4,5	3,5	2,9
Route d'Evrecy_M			7,7	9,5	9,0	7,4	6,1	5,2
La Butte St-Laurent_M				4,1	3,1	2,1	1,6	1,2
Chemin du Four_M						0,7	0,5	0,3
Rue Bertin_M								0,3
Rue Federmeier_M							0,3	0,2
Rue de la Resistance_M							1,7	1,3

NB : Lorsque le bruit ambiant est inférieur à 35 dB(A) – cases bleues- et conformément à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, l'émergence n'est pas calculée.

NB2 : Le point « route d'Evrecy_M » est un point situé dans la zone d'activité

Ces émergences impliquent, pour ces deux modèles d'éoliennes, la mise en place d'un fonctionnement normal ou optimisé la nuit, selon les conditions météorologiques (vitesse et direction des vents). Les émergences résiduelles résultantes sont présentées dans l'étude d'impact et montrent un projet capable de respecter les émergences réglementaires qui lui seront fixées.

Nous rappelons ici que, étant donné que le modèle d'éolienne qui sera installé n'est pas encore défini d'une part, et que les caractéristiques des machines et des modes de fonctionnement optimisés évoluent régulièrement d'autre part, le plan d'optimisation acoustique approprié sera planifié une fois le modèle d'éolienne définitivement retenu et appliqué dès la mise en exploitation du parc éolien. Ce plan sera tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

Les résultats des mesures acoustiques réalisées après la mise en service industrielle permettront le cas échéant d'ajuster, à la hausse ou à la baisse, le plan d'optimisation acoustique. En tout état de cause, **le parc respectera la réglementation acoustique en vigueur.**

Nuisances lumineuses

L'autorité environnementale recommande de synchroniser les éclats des feux des éoliennes du projet avec ceux des parcs éoliens existants de Frénoville et de Moul-Chicheboville situés à proximité immédiate du site du projet. (Page 15 de l'avis de la MRAe)

Les éoliennes seront équipées de feux lumineux conformes aux dispositions de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne. Ce texte introduit la possibilité de mettre en œuvre un balisage à l'échelle d'un champ éolien. **Ce cadre permettra d'organiser le balisage du parc éolien du BOIS DROUET et des éoliennes existantes proches de Frénoville dans une même logique**, permettant notamment d'éviter la présence de signal lumineux sur certaines éoliennes. **Les éclats des feux des éoliennes balisées seront synchronisés de jour comme de nuit.**

Ainsi, les émissions lumineuses du projet éolien du Bois Drouet liées au balisage pour la navigation aérienne fera l'objet d'une mesure de réduction des impacts visuels et notamment ceux induits de nuit (cf. partie G.4.4.2, page 649 de la Piece 4 : Etude d'Impact sur l'Environnement dans sa version complétée et qui a été déposée le 05 mars 2024). D'abord, l'intensité lumineuse des éclairages sera différente entre les périodes diurnes (type A de couleur blanche) et nocturnes (type B de couleur rouge), respectivement 20 000 candelas (unité de mesure de l'intensité lumineuse) et 2 000 candelas. L'intensité lumineuse du balisage nocturne sera donc 10 fois moindre que celle du balisage diurne. Des feux de moyenne intensité, dits "à faisceaux modifiés", pourront être utilisés en lieu et place des feux de moyenne intensité de type B. Ces feux MI à faisceaux modifiés sont des feux rouges à éclats utilisables pour le balisage de nuit, dont l'intensité effective à 4° de site au-dessus du plan horizontal est de 2 000 cd et qui respectent la répartition lumineuse décrite dans le tableau ci-après :

	ANGLE DE SITE PAR RAPPORT À L'HORIZONTALE				
	+ 4°	Entre + 1° et + 3° inclus	0°	-1°	+ 4°
Intensité de référence (cd)	Intensité moyenne minimale (cd)	Intensité minimale (cd)	Intensité minimale (cd)	Intensité minimale (cd)	Intensité minimale (cd)
2 000	2 000	1 500	750	200	32

Enfin et surtout, les feux de balisage des éoliennes seront synchronisés grâce à un pilotage programmé par GPS ou fibre optique. Cette disposition permettra d'éviter une illumination anarchique d'une ou plusieurs éoliennes par rapport aux autres.

Eau potable

L'autorité environnementale recommande de compléter le dossier d'évaluation environnementale sur les impacts sur la ressource en eau et la santé humaine, associés aux travaux de raccordement électrique du projet de parc éolien au poste source, au regard de la proximité de périmètres de protection de captages d'eau potable, même si le tracé du raccordement n'est pas encore précisément défini.

(Page 16 de l'avis de la MRAe)

Le parc éolien du BOIS DROUET est localisé en dehors de tout périmètre de protection de captage d'eau potable. Les incidences sur les eaux souterraines seront très faibles et n'induiront donc aucun risque notable sur la qualité de l'eau souterraine.

Le raccordement électrique externe pressenti du parc éolien au poste source de Percy-en-Auge sera précisément défini par le gestionnaire de réseau. A ce stade, seul un tracé informatif peut être proposé. **Le tracé précis final évitera tout périmètre de protection immédiat de captage (PPI d'Ouézy notamment). En cas de passage dans un périmètre rapproché de captage (PPR d'Ouézy ou de Mézidon-Vallée d'Auge notamment), des mesures spécifiques pourront être mises en œuvre pour être conforme à l'arrêté de déclaration d'utilité publique des captages concernés.** Ces mesures ne peuvent être définies à ce stade, le porteur du projet éolien n'étant pas responsable du raccordement électrique externe. Rappelons que ce raccordement s'inscrira en bordure de voirie et nécessitera la réalisation d'une tranchée d'une largeur de l'ordre de 50 cm sur une profondeur d'environ 1 m qui sera rebouchée dès la mise en place du câblage. L'impact est donc temporaire et limité.

**ANNEXE 1 : Avis technique de l'ADEME
« Terres rares, énergies renouvelables et stockage
d'énergie » - octobre 2020**

AVIS TECHNIQUE

Oct
2020

Terres rares, énergies renouvelables et stockage d'énergie

Ce qu'il faut retenir

Les terres rares constituent un ensemble d'éléments métalliques du tableau périodique des éléments, aux propriétés chimiques très voisines. Contrairement à ce que leur nom peut laisser supposer, ces éléments ne sont pas rares et leur criticité est principalement liée au quasi-monopole actuel de la Chine pour leur extraction et leur transformation. La Chine réalisait environ 86 % de la production mondiale de terres rares en 2017.

L'extraction des terres rares présente, comme toute extraction minière et procédé de transformation métallurgique, des impacts environnementaux. La spécificité environnementale de l'extraction des terres rares par rapport à d'autres métaux vient de la présence de thorium et d'uranium dans les gisements dits « de roches » qui induisent une pollution radioactive des différents rejets.

En raison de leurs propriétés, les applications des terres rares sont multiples ; on les retrouve notamment dans les aimants permanents utilisés pour réduire le volume et le poids de certains moteurs et générateurs électriques. La consommation de terres rares dans le secteur de la production d'énergies renouvelables réside essentiellement dans l'utilisation d'aimants permanents pour l'éolien en mer. Seule une faible part d'éoliennes terrestre en utilise, environ 6 % en France. A un horizon de 10 ans, selon une capacité éolienne en mer projeté à 120 GW dans le monde, et au regard de la production annuelle mondiale de terres rares, le besoin représente moins de 6 % de la production annuelle en néodyme et plus de 30 % de la production de dysprosium. Dans ce contexte, un manufacturier propose déjà des éoliennes n'utilisant pas d'aimants permanents pour une implantation en mer, sachant que des solutions de substitutions existent déjà : générateurs asynchrones ou synchrones sans aimant permanent, par exemple.

Les technologies solaires photovoltaïques actuellement commercialisées n'utilisent pas de terres rares. Parmi les batteries couramment utilisées, seules les batteries nickel-hydrure métallique (NiMH) comprennent un alliage de terres rares à la cathode, mais leur utilisation restera très marginale dans la transition énergétique.

A notre connaissance, aucune autre technologie de conversion des énergies renouvelables n'utilise les terres rares de manière significative.

1. Introduction : Contexte & Enjeux

1.1. Les terres rares d'un point de vue chimique

Les terres rares constituent un ensemble de **15 à 17 éléments métalliques** du tableau périodique des éléments, aux **propriétés chimiques très voisines**, qui se trouvent pratiquement toujours associés dans leurs gisements dans la nature, et qui regroupent :

- le groupe des **lanthanides** (les 15 éléments de numéros atomiques compris entre 57 et 71, du lanthane au lutécium),
- **l'yttrium** (Y, numéro atomique 39), dont les propriétés (atomiques et chimiques) sont proches de ceux des lanthanides et qui s'y trouve toujours associé dans leurs différents gisements.

Certains auteurs ajoutent le **scandium** (Sc, numéro atomique 21) au groupe des terres rares. Toutefois, le scandium ne se concentre pas dans les mêmes gisements, sa problématique d'approvisionnement est distincte de celle des autres terres rares.

1.2. Les gisements de terres rares

Malgré leur nom, les éléments constituant les terres rares ne sont pas rares. Ce sont des éléments relativement abondants dans la croûte terrestre pour certains (lanthane, néodyme, cérium qui représentent 90 % de la production de terres rares dans le monde) avec la même présence que le cuivre, le plomb ou le zinc, mais un faible nombre de minéraux sont constitués de ces éléments et leurs gisements (concentrations naturelles à des niveaux économiquement exploitables) sont très localisés. Par ailleurs, la séparation de ces éléments entre eux est difficile du fait de propriétés chimiques proches.

Tableau 1 : Production minière par oxyde de terres rares (OTR) estimée pour 2012, à +/-15 %, publiée par l'Ad-Hoc Working Groupe sur les métaux critiques de la Commission Européenne en mai 2014, citant Roskill et IMCOA (2013) et USGS pour l'Australie

OTR	Chine	Etats-Unis	Inde	Russie	Australie	Total	%
La ₂ O ₃	29.32 kt	2.66 kt	0.17 kt	0.70 kt	1.04 kt	33.89 kt	25.9%
CeO ₂	41.88 kt	3.93 kt	0.36 kt	1.44 kt	2.04 kt	49.65 kt	37.9%
Pr ₆ O ₁₁	5.70 kt	0.35 kt	0.04 kt	0.10 kt	0.16 kt	6.34 kt	4.8%
Nd ₂ O ₃	19.75 kt	0.96 kt	0.14 kt	0.22 kt	0.60 kt	21.67 kt	16.5%
Sm ₂ O ₃	2.47 kt	0.064 kt	0.020 kt	0.024 kt	0.072 kt	2.65 kt	2.0%
Eu ₂ O ₃	0.34 kt	0.008 kt		0.003 kt	0.016 kt	0.37 kt	0.3%
Gd ₂ O ₃	2.22 kt	0.014 kt	0.009 kt	0.005 kt	0.040 kt	2.28 kt	1.7%
Tb ₄ O ₇	0.34 kt	0.002 kt		0.002 kt	0.004 kt	0.35 kt	0.3%
Dy ₂ O ₃	1.35 kt	0.002 kt		0.002 kt	0.008 kt	1.36 kt	1.0%
Er ₂ O ₃	0.86 kt			0.002 kt	0.008 kt	0.87 kt	0.7%
Ho ₂ O ₃ , Tm ₂ O ₃ , Yb ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃	1.72 kt		0.008 kt	0.011 kt	0.010 kt	1.74 kt	1.3%
Y ₂ O ₃	9.92 kt	0.008 kt			0.002 kt	9.93 kt	7.6%
Total	115.85 kt	8.00 kt	0.75 kt	2.50 kt	4.00 kt	131.10 kt	

En 2017, les réserves étaient estimées à 120 millions de tonnes¹ tous oxydes de terres rares confondus. Il est difficile de d'évaluer les ressources connues car les principales données concernées proviennent de pays dont les systèmes d'évaluation

minières et statistiques ne sont pas fiables. Cependant, il est possible d'estimer les ressources à plus de 350 millions de tonnes selon plusieurs références².

Les terres rares sont divisées en deux groupes : les terres rares légères³ (dont le néodyme qui entre dans la composition des aimants permanents de type NdFeB – Néodyme-Fer-Bore) et les terres rares lourdes (dont le dysprosium qui vient du grec dus-prósitos, « difficile à obtenir » et se trouve également dans l'aimant permanent NdFeB). L'ensemble des différentes terres rares se retrouve généralement dans les différents minerais, mais les terres rares lourdes sont toujours en teneurs plus faibles que les légères (en général, les terres rares lourdes représentent chacune moins de 1 % du total des terres rares contenues dans les minerais, alors que 3 des terres rares légères sont en général présentes entre 18 et 50 % chacune), excepté dans certains gisements caractérisés par des teneurs en terres rares lourdes plus fortes (mais au maximum 7 %).

Les terres rares lourdes sont ainsi plus critiques que les terres rares légères.

Les terres rares sont extraites conjointement dans les minerais puis séparées par des procédés chimiques en fonction des usages. L'équilibre économique de la chaîne d'extraction s'appuie sur la valorisation de chacune des terres rares, ce qui induit le fait que chaque terre rare constitue un co-produit des autres. Le tiers de la valeur des terres rares extraites dans le monde provient du néodyme, essentiellement utilisé dans les aimants.

Dans certaines exploitations, les terres rares peuvent être un sous-produit (du fer notamment, pour le plus grand gisement mondial en exploitation en Chine) mais cela reste une exception géologique. Dans tous les cas, la criticité des terres rares n'est pas liée à leur rareté physique dans la croûte terrestre ou à leurs modalités d'exploitation. Elle est essentiellement due à la mauvaise répartition géographique des extractions actuelles, qui se trouvent majoritairement en Chine, ce qui induit un risque d'approvisionnement.

La Chine est le premier pays producteur de terres rares, avec environ 86 % de la production mondiale en 2017 (source : Roskill, 2018). Les autres pays producteurs sont principalement l'Australie (dont les minerais sont traités en Malaisie et en Chine) et les Etats-Unis⁴ qui ont été le premier producteur mondial jusqu'au début des années 1990. La Chine compte globalement entre un tiers et la moitié des réserves mondiales mais certains de ses gisements sont plus riches en terres rares lourdes. L'un des grands gisements mondiaux potentiel se situe au Groenland, dans l'exploitation duquel les Chinois ont pris des participations. A noter que des études estiment que jusqu'en 2013, environ la moitié de la production chinoise de certaines terres rares (notamment le dysprosium) faisait l'objet d'exploitations illégales non contrôlées. Cette production aurait baissé de plus de 30 % depuis, la Chine ayant pour objectif d'éradiquer ce type d'exploitation non contrôlée qui induit une importante dégradation des sols. La lutte de l'Etat chinois contre ces pratiques aurait fait baisser la production de dysprosium de 34 % entre 2013 et 2017.

² Adamas Intelligence. (2019). Rare Earth Elements: Small Market, Big Necessity ; Geoscience Australia. (2019). *Australia's identified mineral resources 2018*.

³ Le classement entre terre rare légère ou lourde varie selon les auteurs. Pour tous, les lanthanides de faible numéro atomique (lanthane, cérium, praséodyme, néodyme) sont généralement classés dans les terres rares légères, et ceux de numéro atomique élevé (terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutécium) dans les terres rares lourdes.

⁴ Aux Etats-Unis, on compte une seule mine exploitée par Molycorp, dont l'exploitation a repris en 2012 après 10 ans d'arrêt. La production a été suspendue en août 2015, puis mi-2016 les activités nord-américaines de la société étaient en faillite. L'extraction du minerai a repris en janvier 2018, avec pour partie des capitaux chinois, pour un traitement des minerais en Chine.

1.3. Les applications

En raison de leurs propriétés, les applications des terres rares sont multiples ; voici les principales :

- Aimants permanents (utilisés pour réduire le volume et le poids des moteurs et générateurs électriques)
- Catalyse (pots catalytiques des voitures, craquage pétrolier...)
- Polissage du verre (notamment pour les écrans)
- Certaines batteries
- Certains alliages métallurgiques
- Industries du verre et des céramiques (coloration, décoloration...)
- Des luminophores (lampes, écrans...)
- Les lasers de puissance
- Mais aussi l'imagerie médicale, l'énergie nucléaire, la défense...

1.4. Le contexte économique et politique

Le contexte politique lié aux terres rares s'est tendu au début de la décennie 2010, suite à la mise en place par la Chine de contraintes et de restrictions à l'exportation (quotas d'exportation, taxes à l'exportation etc.), engendrant également une envolée des prix. En 2012, l'UE, les États-Unis et le Japon ont déposé une plainte auprès de l'OMC sur ces pratiques : ils ont obtenu gain de cause en mars 2014, et la Chine a supprimé ses quotas et taxes à l'exportation en 2015. De 3 000 \$/kg en 2011, les prix de l'oxyde de dysprosium sont rapidement redescendus pour se stabiliser autour de 250 \$/kg depuis mi-2016. Cependant, la Chine maintient un quota de production. Cette situation a déclenché de nombreuses recherches minières, augmentant les ressources connues, mais au cours actuel des terres rares, la concrétisation des projets est très aléatoire.

Aujourd'hui, le **recyclage des terres rares est estimé à moins de 1 % des déchets produits et concerne essentiellement les déchets de fabrication**. Le recyclage de produits en fin de vie est rendu difficile par des quantités souvent très faibles ou intimement mélangées à des impuretés dans les produits finaux. L'équilibre économique des filières de recyclage est difficile aux prix actuels du marché des terres rares. Par exemple Rhodia, qui avait démarré un recyclage industriel, de dimension mondiale, des luminophores (phosphates de terres rares utilisés dans les lampes fluorescentes) en France en 2011, l'a arrêté début 2016.

1.5. Terres rares et criticité

Les terres rares sont à distinguer des matériaux et métaux critiques.

Ces premières constituent un ensemble d'éléments chimiques, dont le nom leur avait été donné à l'époque de leur découverte où l'on pensait que ces éléments étaient en effet rares.

Les matières premières critiques sont toutes les substances ou matières répondant à un ensemble de critères de criticité, dont la liste peut varier dans le temps et suivant le pays. Les terres rares ne sont donc pas rares, toutefois elles sont critiques pour l'Europe par exemple mais pas pour la Chine qui applique depuis les années 80 une politique stratégique de long terme pour l'ensemble des matières premières dont les terres rares.

La liste des matières critiques de la Commission européenne comprend 27 matières premières⁵, dont les terres rares lourdes (très critiques), les terres rares légères (moins critiques), mais aussi l'indium ou encore l'antimoine. Les critères d'élaboration de cette liste sont, entre autres, l'intérêt stratégique pour l'économie, la concentration de la production ou encore la substituabilité des matières. Pour certains matériaux, comme le silicium métal, l'appréciation de la criticité par la

Commission européenne diffère de celle d'experts français⁶.

1.6. Terres rares et impacts environnementaux

L'extraction des terres rares présente comme toute extraction minière et procédé de transformation métallurgique des impacts environnementaux. L'extraction, actuellement toujours à ciel ouvert pour les terres rares, modifie le paysage, les sols et le régime hydrographique local. Les impacts diffèrent suivant les types de gisement. Pour les gisements dits « de roches dures » (exploitant des minerais de monazite, de bastnäsité ou de xénotime), plutôt concentrés en terres rares légères, les poussières issues de la mine et du broyage des minerais sont susceptibles de disperser des polluants à plus ou moins longue distance. L'extraction et la séparation des métaux s'appuyant sur des traitements pyro/hydro métallurgiques conduisent à rejeter des résidus de traitement polluants, soit dans l'air (du fluor notamment), soit dans des lagunes affectant les eaux souterraines (avec des effluents chimiques). Ces gisements ont la particularité de contenir du thorium et de l'uranium induisant une pollution radioactive des différents rejets. Pour les gisements dits « d'argiles ioniques », exclusivement présents en Chine, les mines sont de tailles plus faibles. Cependant, s'agissant de concentrations de surface, elles dégradent des surfaces importantes mais ne rejettent pas de poussières ni de thorium ou d'uranium. L'extraction du minerai et la séparation des terres rares génèrent elles aussi des effluents chimiques. Par ailleurs les effets des terres rares et de leurs composants sur la santé humaine sont assez peu étudiés, même si des effets neurotoxiques de certains composants chimiques ont été signalés.

2. Les terres rares et les énergies renouvelables

2.1. L'utilisation des terres rares dans les filières de production d'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables n'utilisent, pour la plupart, pas de terres rares. La consommation de terres rares dans ce secteur réside essentiellement dans l'utilisation **d'aimants permanents pour certains segments de marchés de l'éolien (essentiellement pour l'éolien en mer), de faible taille actuellement, mais en forte croissance.** A notre connaissance, aucune autre technologie de conversion des énergies renouvelables n'utilise les terres rares de manière significative.

Les technologies solaires photovoltaïques actuellement commercialisées n'utilisent pas de terres rares. Certaines utilisent des métaux qui peuvent être critiques - comme le tellure, l'indium et l'argent pour les couches minces et l'antimoine et l'argent pour la filière silicium - mais il ne s'agit pas de terres rares. Le silicium est considéré comme critique par l'Union européenne, mais pas par la France qui en est le 5^e producteur mondial ; les réserves mondiales de silicium sont importantes, s'agissant du deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre. L'ADEME estime l'utilisation d'argent et d'antimoine moins critique, ces éléments étant substituables.

Les éoliennes produisent du courant via un alternateur, qui peut être un générateur synchrone ou asynchrone. Les générateurs synchrones à aimants permanents (*permanent magnet generator*, PMG) sont apparus dans les années 2000 pour, entre autres, améliorer les rendements de conversion, réduire le poids et les besoins de maintenance, et allonger la durée de vie des systèmes. Seules les éoliennes à aimants permanents utilisent des terres rares. Cependant, tous les générateurs synchrones ne contiennent pas des aimants permanents (c'est le cas des générateurs bobinés d'Enercon). Les

⁶ BRGM : http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Fiches_criticite/fichecriticitesiliciummetal-publique20190729.pdf

quantités d'aimants permanents intégrées dans les générateurs synchrones varient en fonction du mode de transmission de la chaîne cinématique :

- Entraînement direct sans multiplicateur (*direct-drive* PMG-DD)
- Semi-rapide avec un étage de multiplication (*medium speed* PMG-MS) ;
- Rapide avec un multiplicateur comprenant plusieurs étages de multiplication (*high-speed* PMG-HS).

Une étude de la Commission Européenne⁷ aboutit aux chiffres suivants :

Tableau 2 : Masse d'aimants permanents selon le type de générateur (Pavel et al. 2017)

Typologie de générateurs à aimants permanents	Masse d'aimants permanents [kg/MW]
Entraînement direct (PMG-DD)	650
Semi-rapide (PMG-MS)	160
Rapide (PMG-HS)	80

Ces aimants contiennent principalement du néodyme, mais aussi du dysprosium, qui sont des terres rares. Le dysprosium étant beaucoup plus rare dans les gisements que le néodyme⁸. Or, le dysprosium est également l'élément fondamental car c'est lui qui garantit aux aimants permanents de bonnes performances électromagnétiques lorsque les températures sont élevées.

Cette même étude propose la composition typique des aimants permanents en terres rares :

Tableau 3 Composition typique des aimants permanents en terres rares (Pavel et al. 2017)

Élément	Pour 1 kg d'aimants permanents
Néodyme – Praséodyme (< 1 %)	29 – 32 %
Dysprosium	3 – 6 %

Les éoliennes à aimants permanents sont toutefois très peu répandues dans l'éolien terrestre en France. D'après les données des éoliennes raccordées au réseau électrique français au 31 décembre 2019, 387 aérogénérateurs totalisant une capacité installée de 1 020 MW contiennent des aimants permanents, ce qui représente 6,2% de la capacité installée totale du parc éolien français. Parmi celles-ci, les éoliennes embarquant des générateurs à aimants permanents à entraînement direct (soit celles qui contiennent le plus de terres rares) représentent 510 MW soit 3,1% du parc éolien français fin 2019.

La masse d'aimants permanents nécessaires à tout le parc éolien français installé fin 2019 (16,5 GW, terrestre), selon la composition indiquée ci-avant, est estimée à 372 tonnes, ce qui représente environ 112 tonnes de néodyme et 17 tonnes de dysprosium, soit au total moins de 2 % du marché annuel mondial de chacun de ces éléments⁹ (2 % pour le dysprosium et moins de 0,5 % pour le néodyme).

⁷ Claudiu C. Pavel, et al, 2017, Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines, Resources Policy, DOI 10.1016.

⁸ La part d'oxydes de dysprosium consommée dans le monde est de 1,0 % du total des oxydes de terres rares tandis que la part de l'oxyde de néodyme est de 16,5 % (Tableau 1).

⁹ Demande mondiale annuelle Nd : 25 700 tonnes (2015). Demande mondiale annuelle Dy : environ 854 tonnes en 2014 (fiche criticité BRGM 2016 citant Roskill 2015).

L'analyse du marché des turbines à venir pour l'éolien terrestre, qui va présenter des rotors de diamètres supérieurs à 130 m et des capacités unitaires supérieures à 4 MW, ne montre pas un besoin nettement plus important en aimants permanents. En effet, les constructeurs ont anticipé la problématique suite à la flambée des prix du dysprosium en 2011 en proposant des technologies plutôt classiques même sur les machines les plus puissantes (Nordex). Les constructeurs qui développent des technologies à aimants permanents des éoliennes de nouvelles générations proposent aussi des technologies asynchrones (Siemens Gamesa) ou sans dysprosium (Enercon) ou associées à un multiplicateur de vitesse pour limiter les quantités d'aimants (Vestas). **La problématique de l'utilisation des aimants permanents a donc été bien prise en compte par les constructeurs. Ce n'est donc pas un sujet critique pour les éoliennes terrestres.**

Le marché de l'éolien en mer est en forte croissance mais devrait rester minoritaire dans les années et décennies à venir (moins de 20 % du marché global de l'éolien à l'horizon 2030¹⁰) ; toutefois, les derniers modèles d'éoliennes en mer (pour des puissances par machine de 6 à 12 MW) utilisent pour beaucoup des aimants permanents : ceci leur permet de réduire les coûts des opérations de maintenance, mais également de réduire la masse et l'encombrement des nacelles, permettant ainsi de diminuer le dimensionnement global du mât et des fondations. Cependant, d'autres technologies utilisant moins d'aimants permanents sont déjà développées pour l'éolien en mer (par exemple par MHI Vestas).

La capacité des premiers parcs d'éoliennes en mer à installer en France avant 2026 est de 3 623 MW. Ceci comprend les 4 parcs attribués lors du 1^{er} appel d'offres (Courseulles, Fécamp, Saint Nazaire, Saint Brieuc), les 2 parcs attribués lors du 2^{ème} appel d'offres (Dieppe Le Tréport, Yeu et Noirmoutier), les quatre fermes pilotes éoliennes flottantes et le parc de Dunkerque attribué en 2019.

La masse totale d'aimants permanents nécessaire, selon la composition proposée dans le tableau 2, et sous l'hypothèse que tout le parc français utilise une technologie à aimants permanents à attaque directe (pour le parc français, le ratio est d'environ 638 kg/MW d'aimants permanents), est d'environ **2 312 tonnes** dont **705 tonnes de néodyme** et **104 tonnes de dysprosium**.

Si on se réfère aux prospectives de la PPE, on peut estimer que la capacité totale installée en mer à l'horizon 2028 s'établira autour de 5,7 GW, ce qui correspond à un besoin annuel d'aimants permanents de 463 t/an (sous l'hypothèse que tout le parc français utilise une technologie à aimants permanents à attaque directe). Ce besoin annuel se décline en 141 t/an en néodyme et 21 t/an en dysprosium.

Cette demande totale pour le marché français couvrant 8 années doit être mise en parallèle de la demande mondiale annuelle qui s'établit actuellement à 25 700 tonnes en 2015¹¹ pour le néodyme (l'élément et non sous forme d'oxyde) et à 854 tonnes en 2014¹² pour le dysprosium (l'élément et non sous forme d'oxyde). Elle représente moins de 1 % de la demande annuelle en néodyme et un peu moins de 4 % de la demande annuelle en dysprosium.

Concernant le besoin mondial en terres rares pour le développement de l'éolien en mer, nous prenons comme hypothèse :

- 80 % de part de marché à 650 t/GW d'aimants permanents (PMG-DD)
- 20 % de part de marché à environ 150 t/GW d'aimants permanents (PMG-MS)
- 120 GW d'éolien en mer à installer dans le monde en 12 ans (à l'horizon 2030) or 23 GW ont déjà été installés en date de 2018.

Ceci aboutit à un besoin annuel en aimants permanents de 4 462 t/an se déclinant en 1 428 t/an en néodyme et 268 t/an en dysprosium. Au regard de la production annuelle mondiale de terres rares, ce besoin représente moins de 6 % de la production annuelle en néodyme et plus de 30 % de la production annuelle en dysprosium.

¹⁰ IRENA (2014), REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap, Summary of Findings, June 2014. IRENA, Abu Dhabi. www.irena.org/remap

¹¹ BRGM Panorama du marché des terres rares 2016, citant Kingsnorth 2016.

¹² BRGM, Fiche de synthèse sur la criticité des métaux - Le dysprosium, 2016 citant Roskill 2015.

2.2. L'utilisation des terres rares dans les dispositifs de stockage de l'énergie renouvelable

L'usage du stockage stationnaire d'énergie en France réside essentiellement dans les lacs d'éclusés, barrages avec réservoirs et stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) pour le stockage massif et les batteries au plomb pour les usages de secours. Pour autant, dans une perspective à long terme de forte pénétration des énergies renouvelables sur le réseau et de l'élimination du recours aux moyens thermiques, le déploiement de capacités de stockage d'énergie de masse ne semble nécessaire avant 2030 que pour les zones non interconnectées¹³ et plutôt après 2040-2045 pour la France métropolitaine.¹⁴ Cette nécessité s'appuie essentiellement sur un besoin de stockage journalier, mais aussi pour contribuer aux services systèmes dans l'objectif de stabilité du réseau.

Le stockage électrochimique (ou batteries) constitue le deuxième moyen de stockage d'électricité le plus répandu dans le monde. Sur le territoire français seuls sont déployés à titre expérimental quelques batteries de l'ordre du MW/MWh. Malgré un déploiement tardif par rapport à d'autres pays, le stockage d'énergie en réseau commence à se développer en France, notamment dans les zones non-interconnectées où sa généralisation devrait débuter au début des années 2020 dans le contexte des objectifs d'autonomie énergétique fixés par ces territoires à l'horizon 2030. A l'étranger, des projets de grande ampleur sont déjà déployés, et le plus important en développement porte sur 4 GWh en Australie (technologie Lithium-ion).

Les technologies les plus déployées dans l'usage du stockage d'énergie renouvelable sont aujourd'hui les batteries Lithium-ion (Li-ion), sodium-soufre (NaS) et plomb-acide (PbA). Les terres rares n'entrent pas, ou qu'en très faibles quantités (éventuellement comme additif), dans la composition de ces batteries. Parmi les batteries couramment utilisées, seules les batteries nickel-hydrure métallique (NiMH) comprennent un alliage de terres rares à la cathode. Ces batteries ont surtout été utilisées dans les véhicules hybrides et dans les équipements électroportatifs, mais leur utilisation à des fins de stockage d'énergie renouvelable restera très marginale, en raison notamment de leur coût élevé par rapport aux batteries Li-ion, dont les caractéristiques et performances sont plus adaptées à cet usage.

Ainsi, l'utilisation de métaux critiques ou stratégiques (tels le Cobalt dans les batteries Lithium-ion) apparaît nettement plus problématique que celle des terres rares dans le stockage d'énergie renouvelable où elles sont très marginales. Les industriels poursuivent les recherches pour réduire la consommation ou substituer ces éléments dans les batteries.

3. Quelles conséquences pour le développement des énergies renouvelables ?

Les aimants permanents sont l'application principale des terres rares au niveau mondial. Ils représentent 89 % des applications pour le néodyme et 98,5 % pour le dysprosium¹⁵.

Comme la production annuelle d'aimants pour les éoliennes est actuellement faible¹⁶ (voir section 2.1) au regard de l'ensemble de la production pour les autres usages industriels, le risque d'approvisionnement peut être important pour

¹³ Vers l'autonomie énergétique des ZNI : <https://www.ademe.fr/vers-lautonomie-energetique-zni-zones-non-interconnectees>, ADEME, 2019.

¹⁴ Trajectoires d'évolution du mix électrique à horizon 2020-2060 : <https://www.ademe.fr/trajec-toires-devolution-mix-electrique-a-horizon-2020-2060>, ADEME, 2018.

¹⁵ BRGM, Fiche de synthèse sur la criticité des métaux – Le néodyme, 2015.
BRGM, Fiche de synthèse sur la criticité des métaux – Le dysprosium, 2016.

¹⁶ Permanent magnet materials and current challenges : 9,6 % du marché mondial des aimants aux terres rares lesquels sont fabriqués à 80 % en Chine, 17 % au Japon et 3 % en Europe – Allemagne. Steve Constantinides et John De Leon de Arnold, Magnetic Technologies (2014).

l'industrie éolienne qui ne possèdent pas la capacité pour négocier des accords commerciaux favorables avec les pays producteurs.

Dans le secteur des aimants permanents, les technologies sans terres rares restent moins performantes à coût comparable. Des recherches et projets sont toutefois menés, notamment suite à la hausse des prix des années 2010-2011, pour **diminuer les quantités de dysprosium nécessaires voire le supprimer¹⁷, ou pour réduire fortement ou supprimer le recours aux aimants permanents** sans réduction des performances¹⁸.

Les facteurs influençant l'utilisation des terres rares pour l'éolien sont multiples : évolution des technologies d'aimants permanents, niveau d'utilisation de ces aimants, remplacement par de nouvelles technologies, concurrence d'usage au niveau mondial, évolution de l'approvisionnement à horizon 20 à 30 ans...

Dans ce contexte, une éventuelle tension forte sur les terres rares ne semble pas devoir compromettre le développement de l'éolien, en raison notamment de technologies alternatives pour les générateurs électriques (générateurs asynchrones ou générateurs synchrones sans aimant permanent) :

- En terrestre, aucune modification majeure de la structure du parc éolien n'est prévue pour les années à venir, et les aimants permanents devraient rester très largement minoritaires.
- En mer, étant donné la faible masse des aimants permanents par rapport à l'ensemble des matériaux utilisés dans les machines¹⁹, le coût des machines dépend peu de celui des terres rares. Les solutions de substitution actuelles auraient surtout un effet sur la masse de la turbine qui conduirait à un renchérissement des coûts de structure (mât, fondation ou flotteur). Pour les très fortes puissances, d'autres innovations technologiques (bobinages supraconducteurs) sont attendues en relais des technologies actuelles.

Les industriels consommateurs de terres rares peuvent craindre davantage la **dépendance à la Chine en situation de quasi-monopole** car elle réalisait en 2017 plus de 86 % de la production mondiale annuelle de terres rares²⁰ et d'aimants permanents, qu'une pénurie physique des ressources.

En ce qui concerne le **recyclage des terres rares**, au-delà des contraintes d'équilibre économique, il connaît des contraintes technologiques, et surtout un manque de gisement concentré de taille industrielle disponible à l'heure actuelle et sur au moins les deux décennies à venir qui permettrait d'envisager un déploiement économique des infrastructures de recyclage.

4. Pour en savoir plus

1. Bru K., Christmann P., Labbé J.F., Lefebvre G. (2015) - Panorama mondial 2014 du marché des Terres Rares. Rapport public. BRGM/RP-65330-FR.
2. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. *Les enjeux des métaux stratégiques : Le cas des terres rares*. Compte rendu de l'audition publique du 8 mars 2011 et de la présentation des conclusions, le 21 juin 2011 par MM. Claude Birraux et Christian Kert, députés.

¹⁷ K.P. Skokov and O. Gutfleish, Heavy rare earth free, free rare earth and rare earth free magnet – vision and reality, *Scr Mater*, 154 (2018) ; J. Mohapatra and J.P. Liu, Rare-earth-free permanent magnet : the past and future, *Handbook of Magnetic Materials*, Editions E. Bruck, Elsevier, 2018.

¹⁸ Projet JEOLIS (financé par l'ADEME dans le cadre des Investissements d'Avenir coordonné par Jeumont Electric).

¹⁹ Le coût des aimants permanents est estimé à moins de 5 % du coût total d'une éolienne de 6 MW à attaque directe : *Improved Cost of Energy Comparison of Permanent Magnet Generators For Large Wind Turbines*, Université de Strathclyde, 2014.

²⁰ Roskill, *Rare Earths: Global Industry, Markets & Outlook 2018*.

3. <http://www.senat.fr/rap/r10-782/r10-782.html>
4. <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mine/tera/textera.htm>
5. <http://decrypterleenergie.org/la-rarete-de-certains-metaux-peut-elle-freiner-le-developpement-des-energies-renouvelables>
6. *Terres rares : enjeux stratégiques pour le développement durable*. Conférence donnée par Patrice Christmann, directeur adjoint à la Stratégie du BRGM, dans le cadre des Grands Séminaires de l'Observatoire Midi-Pyrénées du CNRS, le 17 septembre 2013.
7. <http://www.brgm.fr/video/terres-rares-enjeux-strategiques-developpement-durable>
8. <http://www.ewea.org/news/detail/2011/10/31/rare-earths-wind-power-industry-not-a-major-user/>
9. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-599_fr.htm
10. N. Goudarzi · W. D. Zhu, 2013, A review on the development of wind turbine generators across the world, *Int. J. Dynam. Control*, DOI 10.1007/s40435-013-0016-y.
11. Claudiu C. Pavel, et al, 2017, Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines, *Resources Policy*, DOI 10.1016.
12. Xu Yang et al, 2012, Permanent Magnet Generator Design and Control for Large Wind Turbines, IEEE, 978-1-4673- 1130-4/