



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

Rapport d'étude



Climatologie de visibilité Façade SA



Version Numéro v3 du 13/02/2024

<p>Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de la Transition Énergétique</p>	<p>@Guillaume l.poirier@developpement- durable.gouv.fr 01 40 81 20 98</p>	 MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE <small>Liberté Égalité Fraternité</small>
---	---	--

<p>Chargé d'affaires : M. Christophe Jacolin</p>	<p>[Redacted]</p>	
<p>Responsable technique : M. Raphaël Legrand</p>	<p>[Redacted]</p>	

- page laissée intentionnellement vide -

Documents de référence antérieurs

	Intitulé	Référence	Date	Version
DR1	DGEC_AO7_Oleron_Rapport_Visibilit é_V3_20210618_contractuelle	om du document de référence	18/06/2021	V3

Évolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
DGEC-Lot7_Visibilité_SA_v1,0_20231218	15/12/2023	V1	Création
DGEC-Lot7_Visibilité_SA_v2_20240116	16/01/2024	V2	Mise à jour pour prise en compte premières remarques de la DGEC
DGEC- Lot7_Visibilite_SA_Rapport_v3_20240213	13/02/2024	V3	Mise à jour pour prise en compte remarques du Cerema et de la DGEC

Signatures

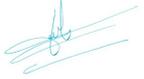
	Nom	Service	Signature
Rédacteur(s)	Martine Baillon Jean-Marc Minet	DSM/CS/DC	
Relecteur(s)	Raphaël Legrand	DSM/CS/DC	
Approbateur(s)	Christophe Jacolin	D2C/DV/PRO	

Table des matières

1	Contexte	1
2	Méthodologie	2
2.1	Définition et calcul de la visibilité	2
2.2	Calcul de la visibilité modélisée avec AROME	5
2.3	Ajustement statistique de la climatologie modélisée	7
3	Résultats sur la façade SA	7
3.1	Présentation pour la façade SA	7
3.2	Cas d'étude du parc d'Oléron	10
4	Conclusions	13
	Annexe 1 : Méthode de calcul de la visibilité ajustée élaborée à partir de travaux effectués sur la façade MEMN	14
	Annexe 2 : Résultats graphiques	17

Liste des illustrations

Illustration 1: Façade SA : points de vue à étudier (en rouge).	2
Illustration 2: Champ de visibilité (m) modélisée Arome sur la situation du 01/11/2019 à 12h00 (à gauche), à 18h00 (à droite)	6
Illustration 3: Pourcentage de temps où un point est visible selon sa distance à la côte depuis chacun des 5 sites et pour l'échantillon global (en rouge)	8
Illustration 4: Pourcentage de temps où un point est visible selon sa distance à la côte	9
Illustration 5: Pourcentage de temps de visibilité des points de grille depuis le point de vue (AROME brut à gauche, après correction à droite),	10
Illustration 6: Situation du parc fictif relativement au point de vue d'Oléron (Anse des pins)	11
Illustration 7: Pourcentage de temps où le parc est visible d'Oléron selon AROME corrigé.	11
Illustration 8: Pourcentages de temps où un objet est visible sur le plan d'eau en fonction de la distance à la côte	14
Illustration 9: Pourcentage de temps où un point est visible en fonction de sa distance à la côte (échantillon global, site de la Hague, étude DREAL, données AROME brut)	15
Illustration 10: Rapport α (en rouge) et ajustement à une fonction polynomiale (en vert)	16

Liste des tableaux

Tableau 1: Liste des points de vue étudiés sur la façade SA	1
Tableau 2: Sites retenus pour la constitution de l'échantillon global SA	8
Tableau 3: Sites retenus pour la constitution de l'échantillon global MEMN	15

Glossaire

Abréviation	Signification
DJF	Décembre-Janvier-Février
MAM	Mars-Avril-Mai
JJA	Juin-Juillet-Aout
SON	Septembre-October-Novembre
CLWC	Contenu en eau liquide du nuage en kg kg-1
CIWC	Contenu en glace du nuage en kg kg-1
RC	Contenu en eau de pluie du nuage en kg kg-1
SC	Contenu en eau sous forme de neige du nuage en kg kg-1
GC	Contenu en eau sous forme de grapel (toutes les espèces fortement givrées depuis le grésil jusqu'à la grêle) du nuage en kg kg-1

Limitations

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est négligée.
- En prenant en compte uniquement le masquage dû à la rotondité de la terre, depuis la côte, un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes), peut être vu aux distances maximales suivantes : pour un observateur 1) au niveau de la mer : ~50 km, 2) à 1,70 m de hauteur : ~55 km, 3) à 20m de hauteur : ~66 km, 4) à 60m de hauteur : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km. Une procédure d'extrapolation jusqu'à 80 km a néanmoins été convenue avec la DGEC,
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées avec AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

1 Contexte

Dans le cadre de la préparation du débat public pour les projets éoliens en mer, la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du Ministère de la Transition Énergétique a commandé à Météo-France une étude de climatologie de visibilité de parcs éoliens fictifs (statistiques de vue) sur la façade sud Atlantique (SA). À la différence du précédent rapport préliminaire produit dans le cadre de l'AO7 Oléron, les calculs doivent être étendus à tous les points de grille de la façade SA.

Par conséquent, au lieu de calculer des statistiques de visibilité entre un point de vue et un UNIQUE point en mer, les statistiques sont calculées pour plusieurs points de vue et vers TOUS les points de grille de la zone traitée.

La DGEC a retenu pour cette étude les 5 points de vue côtiers indiqués au tableau 1. Pour chacun d'eux, sera traité l'ensemble du domaine maritime inclus dans un rayon de 40 km. Cette valeur est un compromis entre d'une part 1) le coût calcul très important de ces simulations et 2) la diminution de l'intérêt de calculer des visibilitées en se rapprochant d'une limite géométrique¹.

Point de vue	Coordonnées géographiques du point de vue	
	Longitude (° Est)	Latitude (° Nord)
Phare de Cordouan	-1,1735	45,5864
Pointe Espagnol	-1,2417	45,7841
Île d'Oléron – Anse des pins	-1,3904	45,9723
Île de Ré – Phare des baleines	-1,5614	46,2443
Jard sur mer	-1,6284	46,4172

Tableau 1: Liste des points de vue étudiés sur la façade SA

La carte ci après illustre pour la façade SA les points de vue pour lesquels les statistiques de visibilitées sont étudiées.

¹ Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de hauteur : ~66 km, à 60m de hauteur : ~78 km.

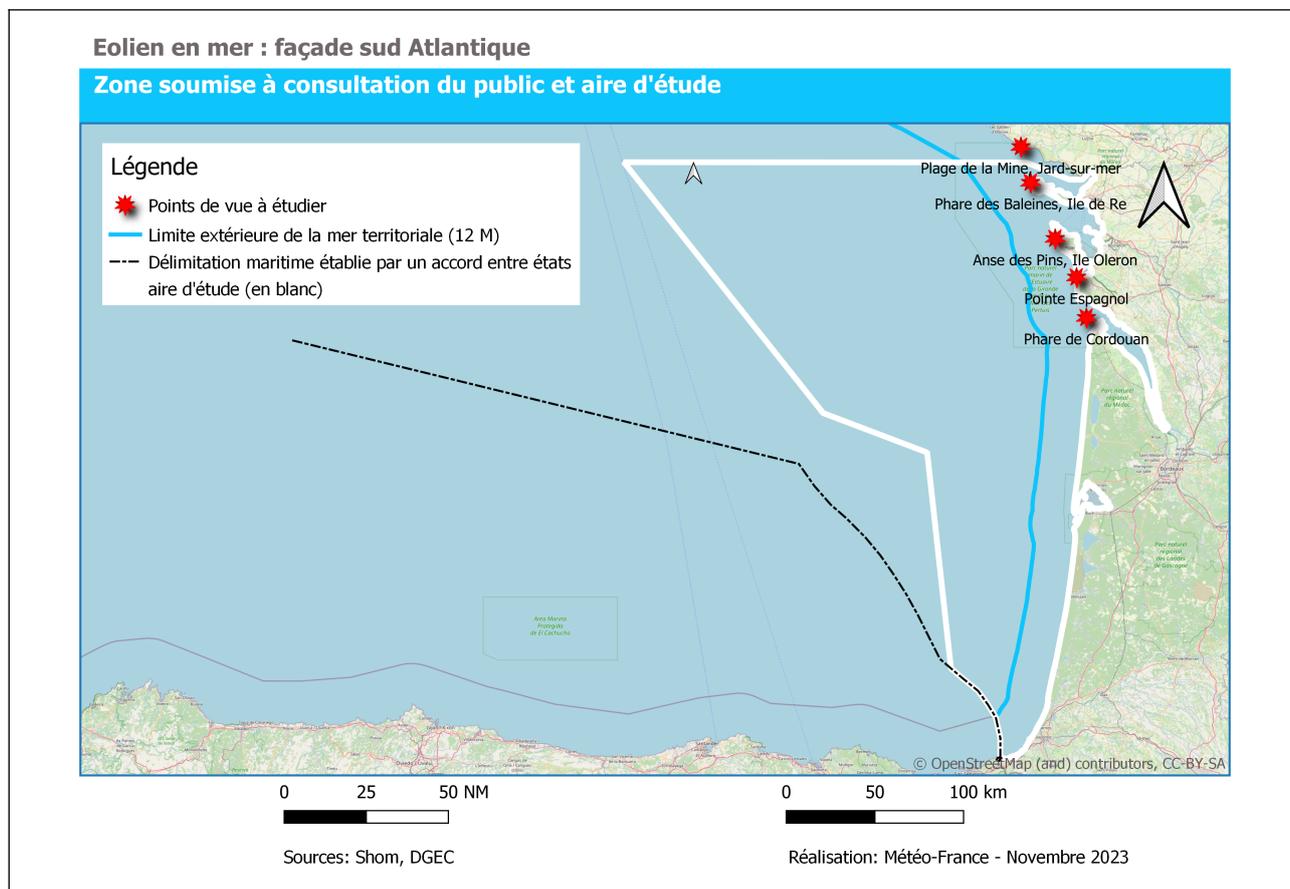


Illustration 1: Façade SA : points de vue à étudier (en rouge).

2 Méthodologie

Afin de répondre à la demande de la DGEC, Météo-France a établi une climatologie des conditions de visibilité depuis la côte grâce à la construction d'un indicateur de visibilité d'un point sur mer (section 2.1). Cette climatologie est basée en première approche sur un indicateur de visibilité modélisée à partir du modèle AROME pour chacun des points de calcul sur mer (section 2.2). Une correction statistique des résultats de cette première approche, apprise sur les observations humaines de visibilité disponibles aux alentours, est ensuite appliquée (section 2.3).

2.1 Définition et calcul de la visibilité

La définition de la visibilité peut varier en fonction des usages. En aéronautique par exemple, la portée visuelle d'un bout à l'autre des pistes est privilégiée. **Dans cette étude, nous nous intéresserons plutôt à la visibilité météorologique telle que définie par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM – Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques).**

La visibilité météorologique de jour est définie comme la plus grande distance à laquelle un objet noir, de dimensions appropriées², situé au sol, peut être vu et identifié sur le fond du ciel à l'horizon.

La visibilité météorologique de nuit est définie comme la plus grande distance à laquelle un objet noir, de dimensions appropriées, situé au sol pourrait être vu et identifié si l'éclairement général augmentait jusqu'à atteindre l'intensité normale en lumière du jour (OMM, 1992a; 2003).

Quand elle n'est pas mesurée directement, la visibilité peut se calculer à partir du type, de la taille et de la concentration des gaz et particules présents dans l'atmosphère. Ceux-ci impactent la transparence des couches traversées.

La visibilité peut être vue comme la transparence de l'air. Plus la transparence de l'air est importante, plus la visibilité sera élevée. À l'inverse, plus l'air est opaque, plus la visibilité sera faible. La lumière est soit absorbée soit diffusée par les particules au cours de son trajet. Cette perte d'énergie du rayonnement traversant l'atmosphère est caractérisée par le coefficient d'extinction (β) par type de particule (gouttelettes, neige, aérosol...).

La définition de la visibilité est la suivante :

$$V_{\text{totale}} = \frac{-\ln(\varepsilon)}{\beta_{\text{total}}}$$

avec $\varepsilon = 0,05$ seuil de contraste selon l'OMM, l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) et la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage).

Il en découle la notion d'épaisseur optique (T) définie comme étant le produit du coefficient d'extinction par la distance (d) qui sépare l'observateur de la source lumineuse ou d'un objet.

$$T = \beta_{\text{total}} \times d$$

d étant la distance totale entre le point de vue et la cible, elle est égale à :

$d = \Delta Z_i \times n$ avec ΔZ_i qui correspond à l'écartement entre 2 points et n le nombre de points de grille sur la trajectoire.

d'où
$$T = \beta_{\text{total}} \times \Delta Z_i \times n$$

Par ailleurs l'épaisseur optique totale peut être définie comme la somme des épaisseurs optiques en chaque point de grille i d'où :

$$T = \sum \beta_i \times \Delta Z_i = \Delta Z_i \times \sum \beta_i$$

En rapprochant les deux équations, on peut donc écrire :

$$T = \Delta Z_i \times \sum \beta_i = \beta_{\text{total}} \times \Delta Z_i \times n$$

Par simplification

$$\beta_{\text{total}} = \frac{(\sum \beta_i)}{n}$$

² Il s'agit de la taille qui permet de distinguer un objet à l'œil nu en l'absence de phénomènes particuliers affectant la visibilité (brouillard, pluie, neige, etc.). Cette taille doit être suffisamment grande pour permettre de distinguer cet objet s'il est situé au-delà de l'horizon. En effet, en raison de la rotondité de la terre, tout objet de dimensions trop faibles, situé à plus de 4789 mètres (au-delà de l'horizon), sera masqué pour un observateur de 1,80 m.

Par ailleurs la visibilité V_i en un point de grille est définie de la façon suivante :

$$V_i = \frac{-\ln(\varepsilon)}{\beta_i} \quad \text{où} \quad \beta_i = \frac{-\ln(\varepsilon)}{V_i} \quad \text{donc} \quad \sum \beta_i = \sum \frac{-\ln(\varepsilon)}{V_i}$$

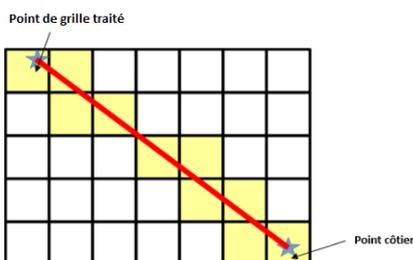
Dans le cas où l'on dispose de plusieurs points de mesure (n) sur un axe, il est possible de calculer une visibilité totale sur cet axe, à partir de la somme horizontale des épaisseurs optiques, ce qui équivaut à définir la visibilité totale par la relation suivante :

$$V_{\text{totale}} = \frac{-\ln(\varepsilon)}{\beta_{\text{total}}} = \frac{-\ln(\varepsilon)}{\sum \frac{\beta_i}{n}} = \frac{-\ln(\varepsilon) \times n}{\sum \frac{-\ln(\varepsilon)}{V_i}} = \frac{n}{\sum \frac{1}{V_i}}$$

Dans les précédents lots préliminaires, l'étude de visibilité, pour un ou plusieurs point de vue, ne considérait qu'une trajectoire entre le point de vue étudié et un des points (position de l'éolienne la plus proche) du contour du futur parc en question. Ici l'étude est plus exhaustive et ne s'attache pas à la description de la visibilité d'un parc en particulier. Autour d'un point de vue donné, la visibilité, depuis ce point de vue, de chacun des points de grille en mer compris dans un cercle de rayon 40 km est estimée. Comme dans cette étude nous travaillons avec les données AROME et donc sur une grille de calcul de 2,5km, pour chacun des rayons optiques « point de vue - point de grille observé », on détermine tous les points de grille AROME (espacés de 2,5 km) qui sont traversés. L'intégration de la visibilité en chaque point de grille du segment permet l'obtention de la valeur de la visibilité du point de grille de l'extrémité du segment depuis le point de vue. Cette méthodologie est appliquée **pour chaque heure dans le créneau 6h - 21h UTC** et chaque jour de l'année de la période [02/07/2019 - 02/10/2023].

La méthodologie est décrite selon les étapes suivantes :

1. Pour un point de vue (PDV), la visibilité en chaque point de grille du domaine maritime à l'intérieur d'un disque de rayon 40 km centré sur le PDV, est extraite.
2. Au sein de cette portion de disque, chaque binôme « PDV – Point de grille observé » est considéré comme une trajectoire. La visibilité de chacun des points de grille observés est évaluée en fonction de la visibilité de tous les points de grille de la trajectoire, comme le montre la figure suivante. Une hypothèse d'isotropie de la visibilité au sein de la maille est appliquée.



Le point de grille sera dit visible si la visibilité calculée est supérieure à la distance « PDV – Point de Grille observé ». Une climatologie de la visibilité pourra alors être constituée pour chaque binôme « point de grille

observé- PDV ». Les distributions climatologiques de la visibilité peuvent alors être analysées par année, mois, saison, heure pour chaque couple « point de vue - point de grille observé ».

Le paramètre d'intérêt pour cette étude est le pourcentage de temps où le Point de Grille observé est visible depuis le PDV.

2.2 Calcul de la visibilité modélisée avec AROME

En première approche, une climatologie de visibilité a été calculée à partir de données horaires de visibilités modélisées sur les différents points de la grille de calcul du modèle atmosphérique AROME.

Le modèle AROME est un modèle régional à maille fine (2,5 km) qui fournit des prévisions atmosphériques détaillées sur la France tout en couvrant le domaine complet de la ZEE et permet de prendre en compte des phénomènes de petite échelle tels que les orages ou les brouillards de basses couches.

Les données horaires de visibilités modélisées pour chacun des points de grille sont obtenues à l'aide d'un indicateur de visibilité estimé à partir d'un modèle statistique de visibilité à 5m de hauteur qui 1) est ajusté sur des observations de visibilimètres (instrument de mesure de la visibilité) et 2) dont les prédicteurs sont les paramètres décrivant la pluie, la neige ainsi que la présence de brouillard. De manière plus détaillée, l'indicateur de visibilité est estimé comme le minimum de deux composantes:

- un indicateur de réduction de visibilité liée aux hydrométéores (précipitations) : VISIHYDRO ;
- un indicateur de réduction de visibilité liée aux nuages (brouillard) : VISICLD.

Ci-dessous sont présentées les équations qui servent de base au calcul de VISICLD et de VISIHYDRO. La première visibilité dépend du contenu liquide nuageux (CLWC, kg.kg-1) et de l'eau glacée (CIWC, kg.kg-1), la seconde de la pluie (RC, kg.kg-1), de la neige (SC, kg.kg-1) et du graupel (GC, , kg.kg-1).

VISICLD est définie selon l'équation ci dessous :

$$VISICLD = \frac{-\ln 0.05}{\beta_{cld} + \beta_{ice}}$$

avec

$$\beta_{ice} = 163,9 \cdot CIWC^{1,0}$$

$$\beta_{cld} = A \cdot CLWC^B \cdot \exp^{C \cdot \log(CLWC)^2} \cdot \exp^{D \cdot \log(CLWC)^3}$$

où A,B,C,D sont des coefficients dépendants de la force du vent, établis par régression statistique.

VISIHYD est définie selon l'équation ci-dessous :

$$VISIHYD = \frac{-\ln 0.05}{\beta_{rain} + \beta_{snow} + \beta_{graupel}}$$

avec

$$\beta_{rain} = 2,5 \cdot RC^{0,75}$$

$$\beta_{snow} = 10,4 \cdot SC^{0,78}$$

$$\beta_{graupel} = 2,4 \cdot GC^{0,78}$$

L'illustration 2 ci-après présente avec une palette de 0 à 40000 m la visibilité brute issue d'Arome (champ VISI) pour les échéances de 12h00 et 18h00 de la situation du 1^{er} novembre 2019. Les points de grille de la façade étudiée ainsi que les points de vue y sont superposés en noir.

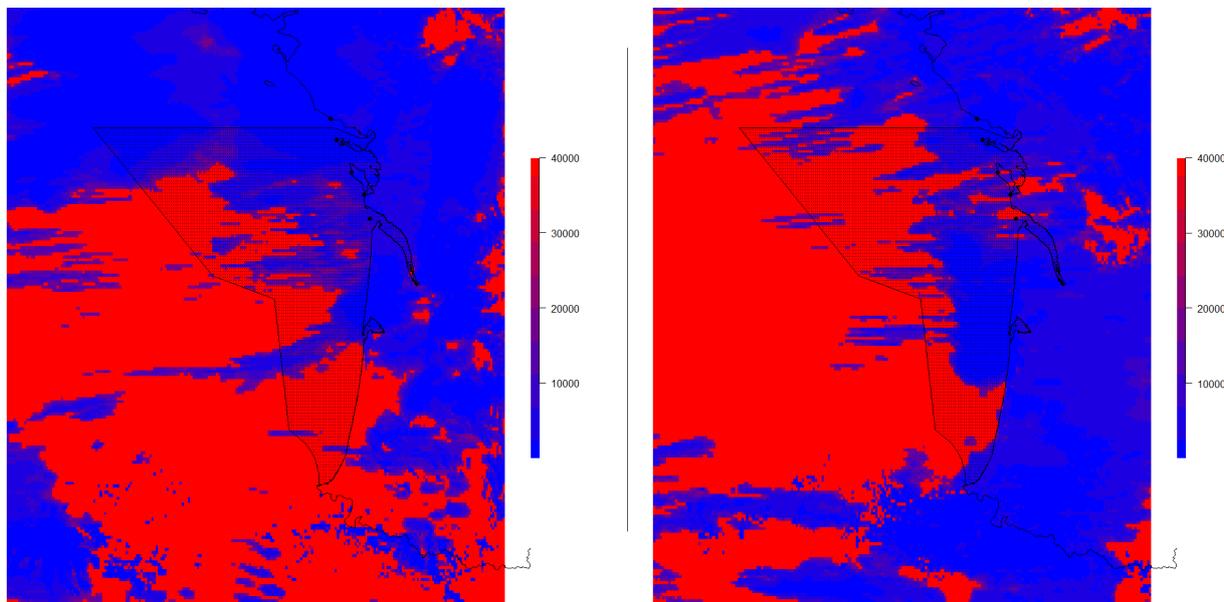


Illustration 2: Champ de visibilité (m) modélisée Arome sur la situation du 01/11/2019 à 12h00 (à gauche), à 18h00 (à droite)

On note une variabilité temporelle bien visible par exemple sur le pays basque.

La variabilité spatiale est elle-même importante, toute l'étendue de la palette étant utilisée. Elle peut paraître brutale localement.

A l'heure actuelle, la présence d'aérosols n'est pas prise en compte dans la modélisation AROME, même si la relation entre la présence d'aérosols dans les basses couches de l'atmosphère et la réduction de visibilité est clairement démontrée. Dans la présente étude, ce sont surtout les aérosols d'origine marine et les particules de sels, qui sont concernés. Les embruns sont en effet à l'origine de baisses de visibilités sur mer. Le modèle statistique utilisé pour estimer VISIHYD et VISICLD ainsi que la correction statistique explicitée en section 2.3 prennent en compte implicitement les effets des aérosols, mais il reste possible dans certains cas (présence d'embruns et d'aérosols marins) que les visibilités restent surestimées.

De même les effets de courbure de rayons optiques selon la stratification de l'atmosphère dans certaines conditions météorologiques ne sont pas prises en compte. Pour ce phénomène, les résultats modélisés sous-estimerait la visibilité pour certaines situations. Là aussi la correction statistique explicitée en section 2.3 prendra en compte implicitement au moins en partie ce phénomène.

Pour cette étude les données utilisées du modèle AROME sont les données de visibilité (VISICLD et VISIHYD) sur quatre années de données [02/07/2019 – 02/10/2022] et avec un pas de temps horaire. La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.

2.3 Ajustement statistique de la climatologie modélisée

L'estimation de la visibilité décrite dans la section précédente est une modélisation qui a ses imperfections et qui peut être considérée comme une fourchette haute des statistiques de visibilité. Cette estimation sera dénommée « AROME brut » dans la suite du document.

Afin de raffiner l'estimation « AROME brut », une méthode d'ajustement a été proposée. Elle est détaillée en Annexe 1 et résumée ci après. Pour cela, deux sources d'information ont été prises en compte.

La première est une étude menée par la DREAL Normandie dans le cadre de l'étude d'implantation d'un futur parc en Normandie ([DREAL Normandie, 2022](#)). Basée sur une campagne de mesure DREAL sur les sites de Barfleur et Saint-Vaast la Hougue sur une période de un an [15/03/2021 – 15/03/2022], elle ne comptabilise pas les visibilités au-delà de 20 km³.

La deuxième est l'ensemble des données d'observation humaine de visibilité archivées par Météo-France dans sa Base de Données Climatologiques (BDCLIM). 7 sites côtiers de la façade, disposant de longues chroniques d'observation humaine de visibilité ont été sélectionnés et leurs données rassemblées en un même échantillon dit « global ».

Une comparaison des pourcentages de visibilité obtenus à partir de l'échantillon « global », des résultats DREAL et des estimations « AROME brut » a été menée. Puis une fonction multiplicative a été établie à partir de l'ajustement du rapport entre le pourcentage de visibilité issu de l'échantillon « global » et celui issu de « AROME brut ».

Le choix d'une fonction multiplicative permet un ajustement aux observations tout en gardant une possibilité aux données « AROME brut » de visualiser des hétérogénéités des différentes situations météorologiques couvertes sur la période d'étude et entre les différents sites.

Considérant l'étude comparative élaborée pour la façade MEMN satisfaisante quant à l'utilisation des données d'un panel de stations pour recalibrer la visibilité d'AROME brut, nous avons procédé de façon similaire sur les autres façades, avec une sélection de sites appropriée.

3 Résultats sur la façade SA

3.1 Présentation pour la façade SA

La sélection des 5 sites utilisés sur la façade SA est présentée au tableau 2.

3 Lorsqu'une mesure est donnée à 20 km, cela doit être compris comme 20 km ou plus.

Identifiant	Nom usuel	Début de la mesure de visibilité
17225001	Mathes	01/01/1949
17323001	Chassiron	01/01/1949
33236002	Cap Ferret	01/01/1949
40046001	Biscarrosse	01/01/1975
64189001	Socoa	01/01/1949

Tableau 2: Sites retenus pour la constitution de l'échantillon global SA

On remarque que les chroniques de visibilité sont longues et réparties sur l'ensemble de la côte.

Pour chacun de ces sites, l'illustration 3 montre la répartition en pourcentage des visibilitées par classe kilométrique. Le tracé rouge représente l'échantillon global mixant les 5 sites.

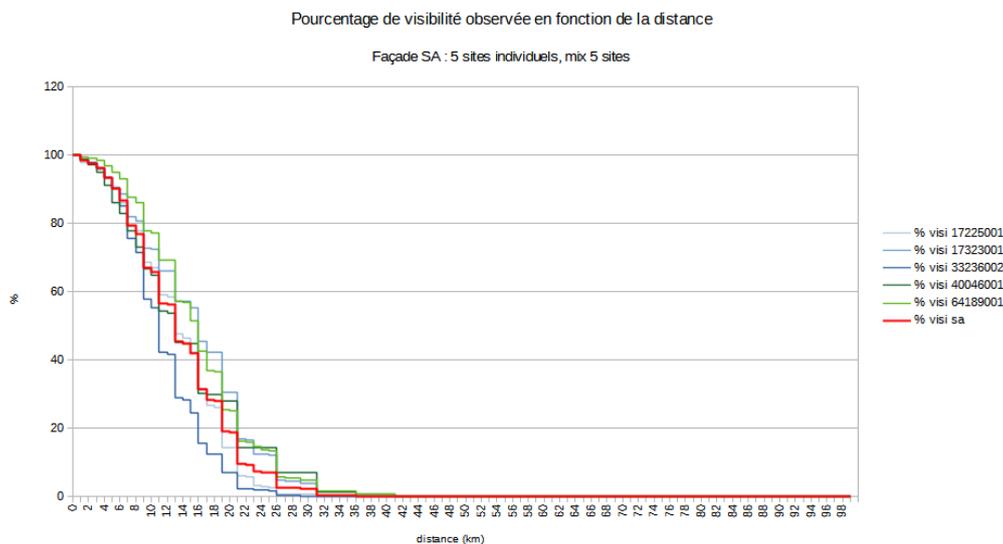


Illustration 3: Pourcentage de temps où un point est visible selon sa distance à la côte depuis chacun des 5 sites et pour l'échantillon global (en rouge)

La bonne cohérence générale entre les répartitions individuelles de visibilité observée nous autorise à utiliser l'échantillon global issu des 5 sites pour caractériser la visibilité de la façade SA.

L'extraction des visibilitées brutes en vue du calcul du rapport α (entre le pourcentage de visibilité issu de l'échantillon « global » et celui issu de « AROME brut ») a été réalisée sur un axe Est-Ouest à partir d'Oléron et l'ajustement du rapport a conduit à la fonction multiplicative que nous avons appliquée pour chaque point de grille selon sa distance à un point de vue de la façade SA.

La figure 4 montre le pourcentage de temps où un point est visible selon sa distance à la côte à partir de l'échantillon global d'observations (vert foncé), des observations de la station de référence de Mathes (vert clair), et de la visibilité AROME corrigée (rouge).

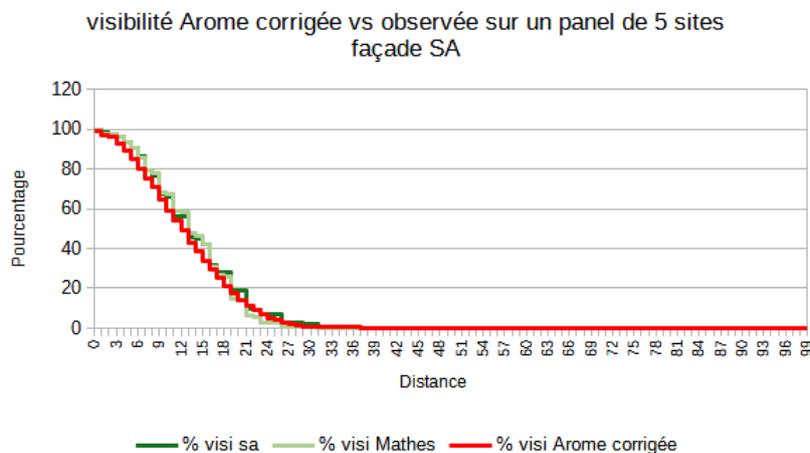


Illustration 4: Pourcentage de temps où un point est visible selon sa distance à la côte

À partir de l'échantillon de données observées issu des 5 sites sélectionnés, le pourcentage de visibilité est inférieur à 1 % au-delà de 30 km. Il en est de même du pourcentage corrigé issu des données AROME.

Selon la méthodologie décrite précédemment, les statistiques de visibilité sont calculées pour chacun des points de vue de la façade SA. À titre d'exemple, les résultats sont présentés pour le point de vue d'Oléron. Les résultats pour les autres points de vue sont explicités en Annexe 2.

La figure de gauche de l'illustration 5 ci-après montre le pourcentage de temps où chaque point de grille dans un rayon de 40 km est visible depuis Oléron, à partir des visibilités modélisées d'AROME brut.

Le rapport α (entre pourcentage issu de l'échantillon global et d'AROME brut) est ensuite calculé en chaque point de grille de l'axe Est-Ouest partant d'Oléron sur une distance de 40 km. Une fois le polynôme d'ajustement du rapport α déterminé pour un rayon R inférieur ou égal à 40 km, la fonction est appliquée aux valeurs de visibilité modélisées, de manière à obtenir des visibilités corrigées en tout point de grille d'un rayon de 80 km autour du point de vue.

Après correction, le pourcentage de temps où chaque point de grille est visible depuis Oléron est donné par la figure de droite de l'illustration 5. On précise la similarité de la palette de couleurs entre les deux figures.

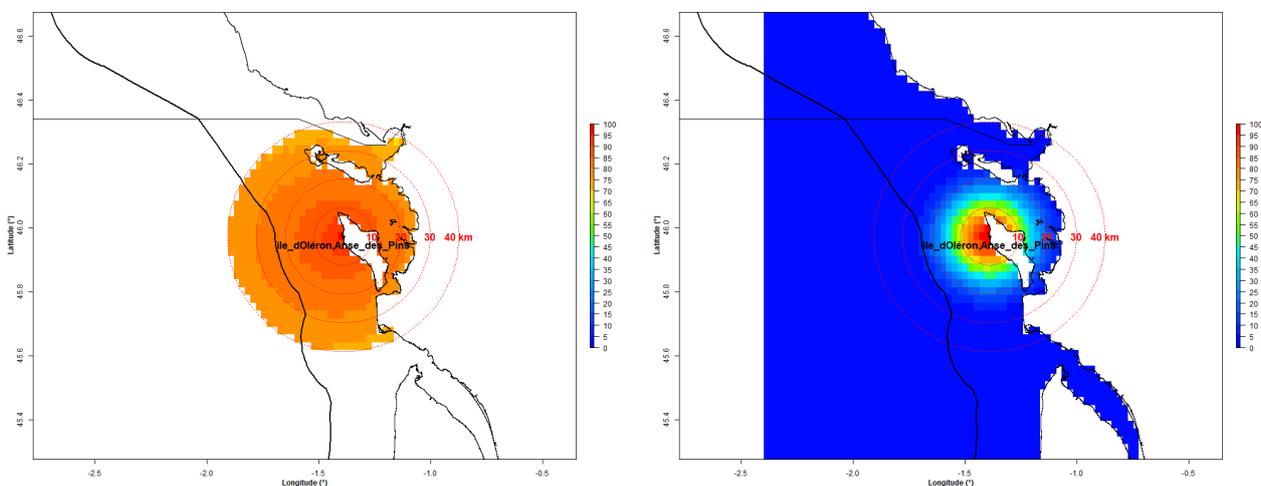


Illustration 5: Pourcentage de temps de visibilité des points de grille depuis le point de vue (AROME brut à gauche, après correction à droite),

Une fois corrigées les données de visibilité relatives à un point de vue donné, des statistiques climatologiques par année, mois, saison, heure... peuvent être calculées, de façon à déterminer le pourcentage de temps où le point de grille est visible depuis le point de vue pour chaque heure dans le créneau 6h - 21h UTC et chaque jour de l'année de la période 2019-2023.

Les résultats sont présentés en annexe 2 sous forme de cartes annuelles et par trimestre. Elles représentent le pourcentage de temps où chaque point de grille **est visible** depuis le point de vue étudié.

De façon à présenter tous les éléments disponibles et à faciliter l'aide à la décision, les résultats issus de données AROME brutes et corrigées sont présentés en vis-à-vis pour chaque point de vue.

La variabilité annuelle de la visibilité corrigée semble faible, cependant, on note généralement des valeurs brutes plus faibles au printemps.

3.2 Cas d'étude du parc d'Oléron

La méthode peut aussi être confrontée à un cas réel comme le parc fictif au large d'Oléron, représenté par la carte 6 ci-après, vu d'Oléron (Anse des Pins). La visibilité AROME brut est extraite ici selon un axe de visée pertinent, représenté sur la carte par une flèche. L'angle associé est indiqué près de celle-ci.

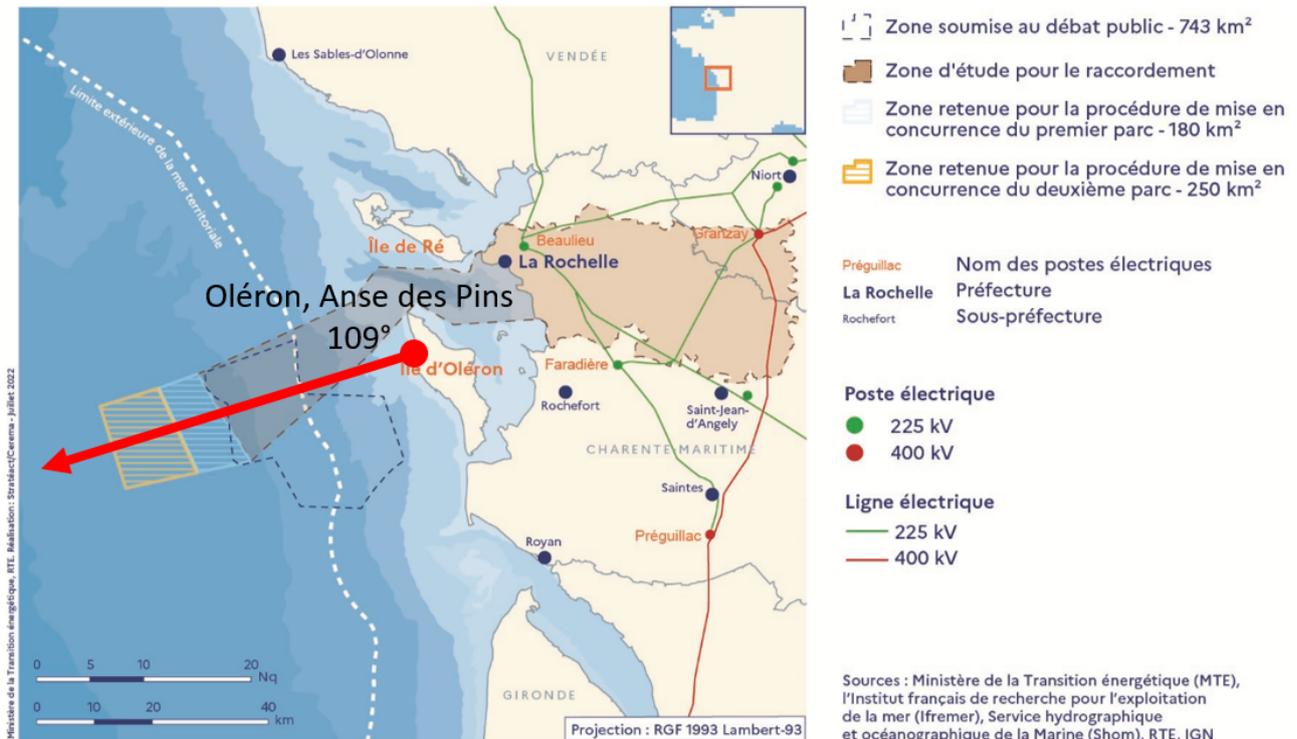


Illustration 6: Situation du parc fictif relativement au point de vue d'Oléron (Anse des pins)

La figure 7 ci-dessous représente le pourcentage de temps où ce parc est visible depuis l'Anse des Pins selon AROME corrigé. On considère l'angle de vue approprié (109° depuis le nord, en sens inverse des aiguilles d'une montre) et les distances aux points le plus proche et le plus éloigné du parc selon cet angle de vue.

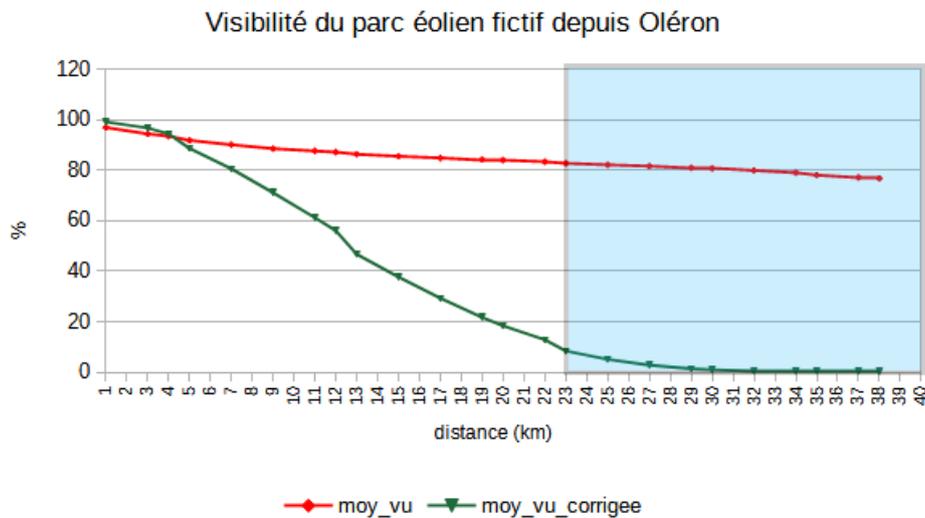


Illustration 7: Pourcentage de temps où le parc est visible d'Oléron selon AROME corrigé.



Climatologie de visibilité

Façade SA

Sur l'axe de visée choisi, le point du parc le plus proche de l'Anse des Pins est à 23 km. Selon AROME corrigé, il devrait être visible environ 10% du temps. Le point le plus éloigné est à 62 km. Selon AROME corrigé, il ne devrait jamais être visible.

4 Conclusions

La visibilité a été estimée sur cinq points de vue côtiers de la façade SA à partir de modélisation AROME et des observations de visibilité disponibles.

Uniquement avec les données modélisées, la visibilité au large décroît quasi linéairement et a un comportement proche entre les différents points de vue. Une visibilité inférieure à 75 % est atteinte à des distances aux alentours de 30km.

Avec les données corrigées par les observations humaines alentours, une visibilité inférieure à 5 % est atteinte à des distances aux alentours de 30km.

Une variabilité saisonnière existe. Elle dépend des points de vue et n'excède pas une dizaine de pourcents.

Annexe 1 : Méthode de calcul de la visibilité ajustée élaborée à partir de travaux effectués sur la façade MEMN

L'estimation de la visibilité décrite dans le paragraphe 2.2 est une modélisation qui a ses imperfections et qui peut être considérée comme une fourchette haute des statistiques de visibilité. Cette estimation sera dénommée « AROME brut » dans la suite du document. Afin de raffiner cette estimation, deux sources d'information ont été prises en compte.

La première source d'information est une étude menée par la DREAL Normandie dans le cadre de l'étude d'implantation d'un futur parc en Normandie ([DREAL Normandie, 2022](#)). L'étude est basée sur une campagne de mesure DREAL qui s'est déroulée sur les sites de Barfleur et Saint-Vaast la Hougue, au nord-est de la péninsule du Cotentin sur une période de un an [15/03/2021 – 15/03/2022]. Elle ne comptabilise pas les visibilités au-delà de 20 km (limite de visibilité communément appréciée par les observateurs professionnels).

L'illustration 8 ci après rappelle un des résultats principaux :

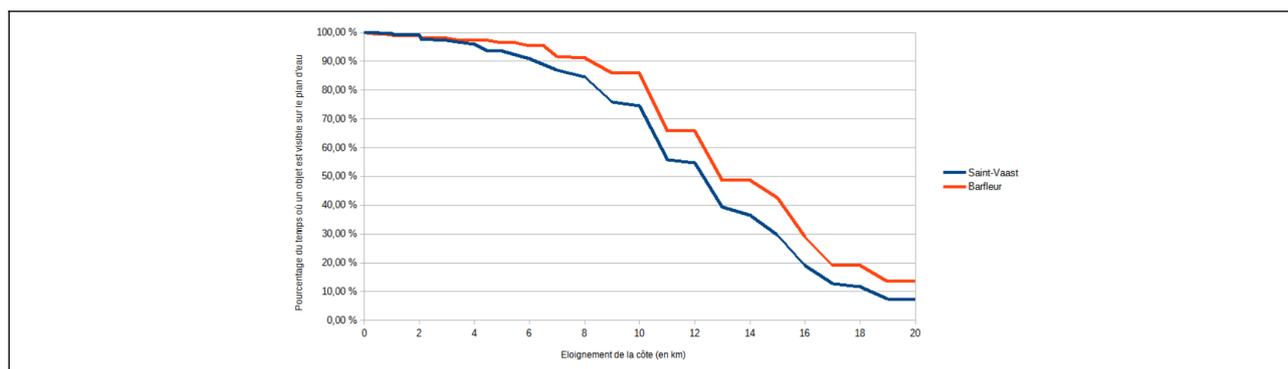


Illustration 8: Pourcentages de temps où un objet est visible sur le plan d'eau en fonction de la distance à la côte

En plus de la cohérence de comportement entre les deux postes d'observations, on note une décroissance rapide du pourcentage de temps de visibilité au-delà de 10 km. A 20 km de distance, le pourcentage d'heures où un point est visible est de l'ordre de 10 %. Cette première source d'information est intéressante mais a au moins trois défauts : 1) période d'observation trop courte (1 an) pour avoir des statistiques robustes, 2) pas de valeurs au-delà de 20 km et 3) deux points d'observations très proches et ne permettant pas de comprendre le comportement de la visibilité sur toutes les côtes de la façade MEMN.

Pour compléter l'étude de la DREAL, la deuxième source d'information utilisée est l'ensemble des données d'observation humaine de visibilité concentrées par Météo-France. En effet Météo-France dispose dans sa Base de Données Climatologiques (BDCLIM), d'une archive d'observations de visibilités pour de nombreux sites (exploités par Météo-France ou par d'autres acteurs ayant des observateurs professionnels tels que les sémaphores), notamment en bord de mer. Contrairement à l'étude DREAL 1) la profondeur d'archive est parfois de plusieurs dizaines d'années (avec un début en milieu du vingtième siècle), 2) les observations sont données sans la limite des 20 km (certaines observations vont jusqu'à 100 km), 3) plusieurs points de mesure pour chaque façade métropolitaine sont disponibles.

Il a été procédé à une comparaison des résultats de l'étude DREAL (sur un an) à ceux issus d'une période plus longue d'un échantillon mixant un panel de 7 sites pouvant être considérés comme représentatifs de la façade MEMN. Pour que les données de visibilité soient comparables, seuls des sites de bord de mer ont été sélectionnés (atmosphère humide). Enfin, compte tenu de l'automatisation de certaines stations, seules les chroniques antérieures à 1993 ont été retenues, ce qui garantit des données issues d'observation humaine. Sur ce dernier point, la raison de discriminer les observations automatiques est que c'est une mesure de la visibilité locale, à l'emplacement du capteur, et qui ne donne pas d'estimation de la visibilité sur tout le parcours optique.

Les stations retenues pour la façade MEMN sont présentées au tableau 3 :

Identifiant	Nom usuel	Début de la mesure de visibilité
59183001	Dunkerque	01/01/1949
62160001	Boulogne	01/01/1949
76217001	Dieppe	01/01/1949
14515001	Port en Bessin	01/01/1991
50020001	Pointe de la Hague	01/01/1949
50031001	Barneville Carteret	01/11/1986
50218001	Granville	01/01/1949

Tableau 3: Sites retenus pour la constitution de l'échantillon global MEMN

On note une répartition des sites sur l'entièreté de la façade ainsi que de longues chroniques (plus de 40 ans) sur la majorité d'entre elles.

La figure 9 présente le pourcentage de temps où un point est visible en fonction de sa distance à la côte selon l'échantillon global issu des 7 sites d'une part (vert foncé) et selon l'étude DREAL (bleu). Y sont superposés les résultats d'AROME brut (issus d'une coupe sur l'axe optique Ouest-Est partant du sémaphore de Gatteville (Barfleur) sur une distance de 40 km, en pointillé rouge) et d'AROME corrigé (trait plein rouge).

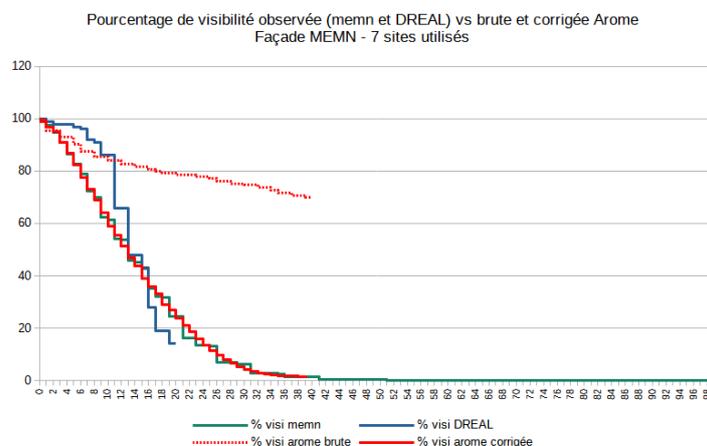


Illustration 9: Pourcentage de temps où un point est visible en fonction de sa distance à la côte (échantillon global, site de la Hague, étude DREAL, données AROME brut)

- Les pourcentages issus de l'échantillon global (vert foncé) et de référence de la Hague (vert clair) sont très proches.
- Au-delà de **40 km** les pourcentages issus de l'échantillon global sont nuls. (35 km pour l'échantillon de référence de La Hague).
- En deçà de 15 km, les résultats DREAL surestiment les pourcentages issus de l'échantillon global. (13 km pour l'échantillon de référence de La Hague), ils n'ont pas de donnée au-delà de 20 km.
- Les résultats AROME brut surestiment ceux de l'échantillon global et ceux de l'échantillon de référence à partir de 2 km, et ceux de la DREAL à partir de 11 km.

À partir du croisement de ces données, le rapport α du pourcentage issu d'AROME brut et de l'échantillon global évolue en fonction de la distance selon la figure 10.

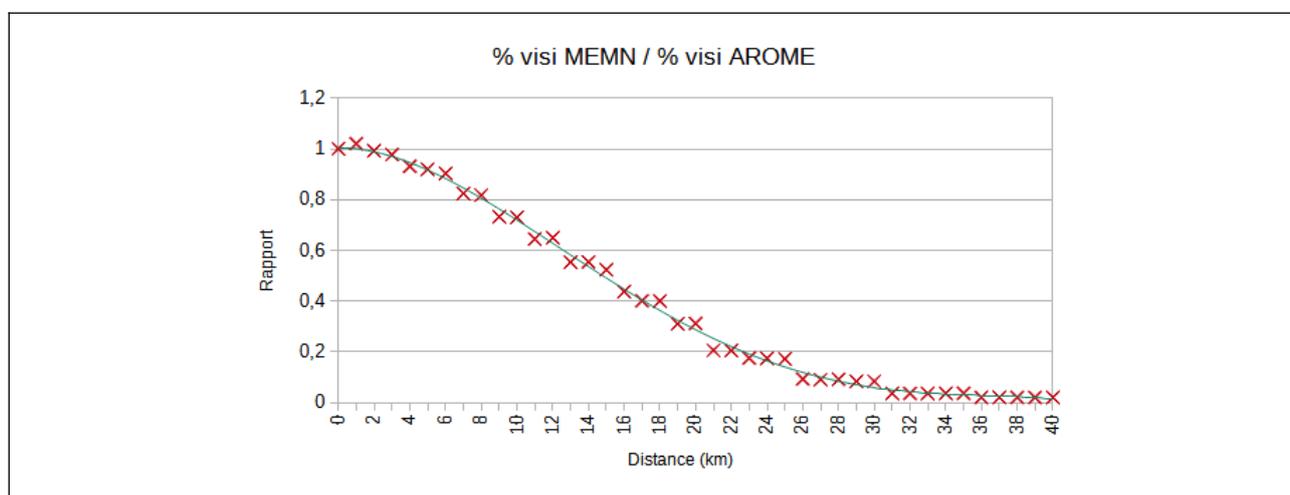


Illustration 10: Rapport α (en rouge) et ajustement à une fonction polynomiale (en vert)

Afin de raffiner les valeurs de visibilité obtenues avec AROME brut, un recalage des pourcentages issus d'AROME brut est appliqué via la fonction multiplicative donnée comme le rapport α explicité ci-dessus. Le coefficient multiplicatif appliqué ne vaut dans ce cas que pour la façade MEMN.

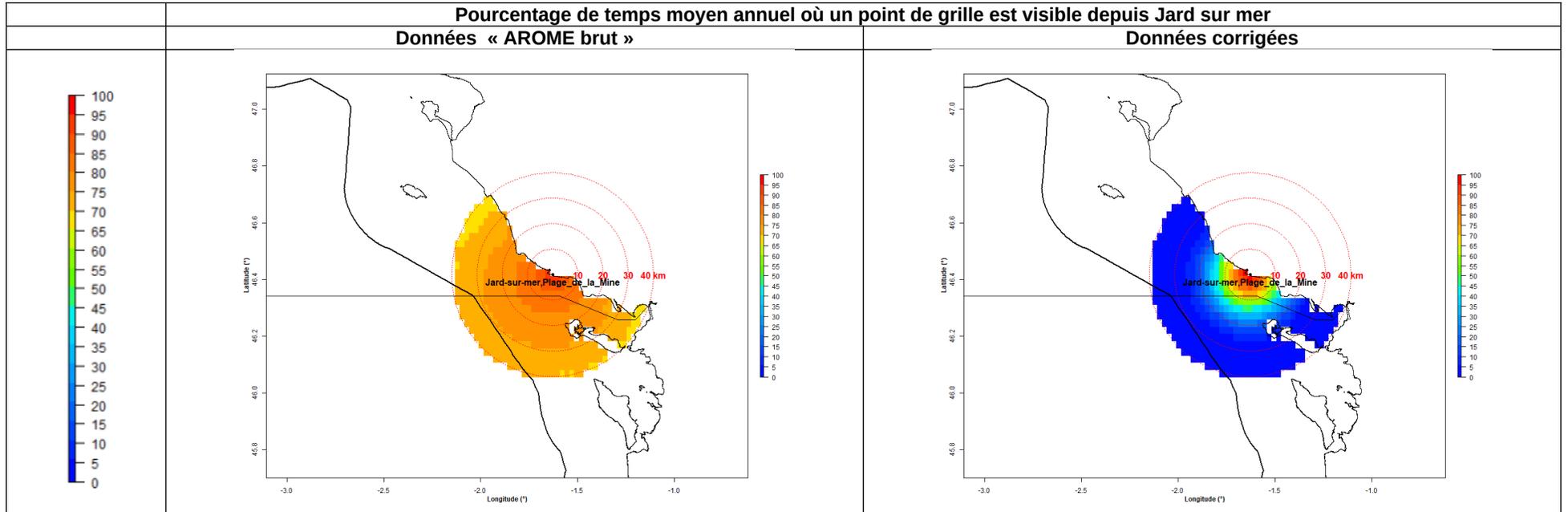
- Jusqu'à 40 km, la fonction multiplicative appliquée aux pourcentages AROME brut est une fonction polynomiale. Cette fonction est identiquement appliquée pour tous les points de vue d'une même façade. On fait pour cela l'hypothèse d'homogénéité de comportement des visibilités AROME brut par rapport à des mesures observées.
- Au-delà de 40 km, la visibilité AROME brut n'a pas été calculée pour ces points pour des raisons de temps et coût calcul. Il a été observé que le rapport α tendait de toute façon vers 0.

Le choix d'une fonction multiplicative permet un ajustement aux observations tout en gardant une possibilité aux données AROME brut de visualiser des hétérogénéités des différentes situations météorologiques couvertes sur la période d'étude et entre les différents sites.

Annexe 2 : Résultats graphiques

Les résultats sont présentés sous forme de deux pages par point de vue. Chacune d'elles présentera :

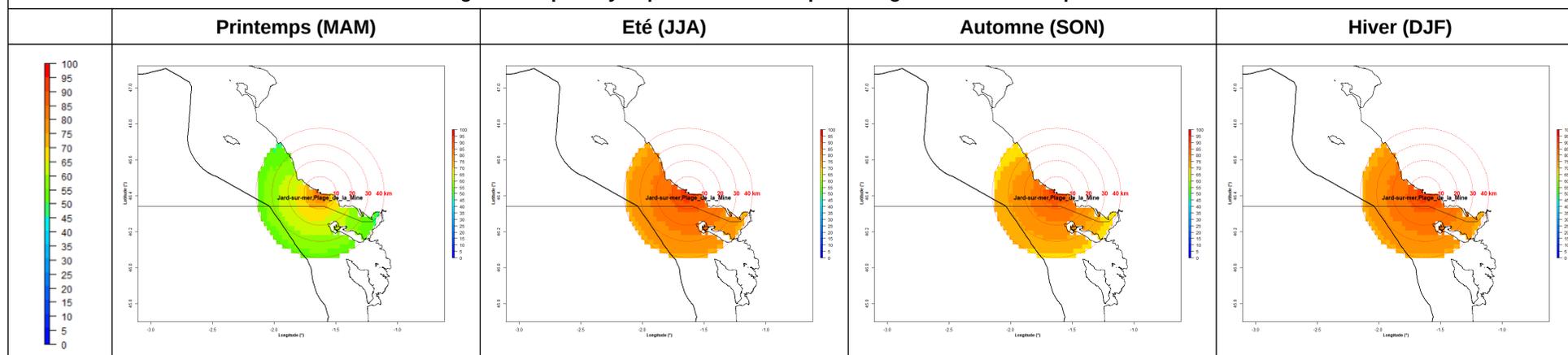
- les cartes de pourcentages moyens annuels de temps de visibilité des points de grille depuis le point de vue issues d'AROME brut et des données corrigées.,
- les cartes de pourcentages moyens saisonniers de temps de visibilité des points de grille depuis le point de vue issues d'AROME brut. La variabilité saisonnière à partir des données corrigées n'est pas représentée. En effet, 1) la correction statistique appliquée est homogène sur l'année et 2) les résultats pour les données corrigées et aux distances auxquelles les parcs seront implantés sont très faiblement influencés par le cycle saisonnier.



Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixtes de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen par saison où un point de grille est visible depuis Jard sur mer

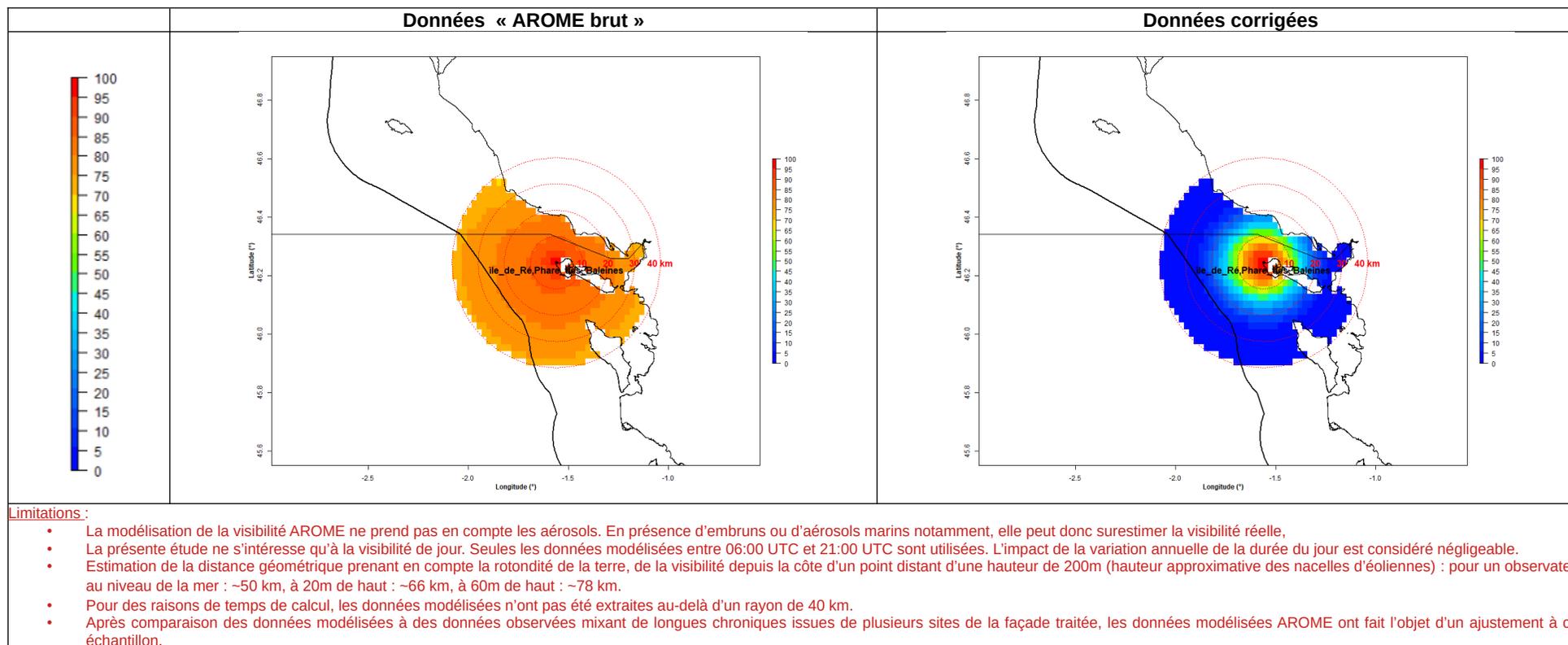


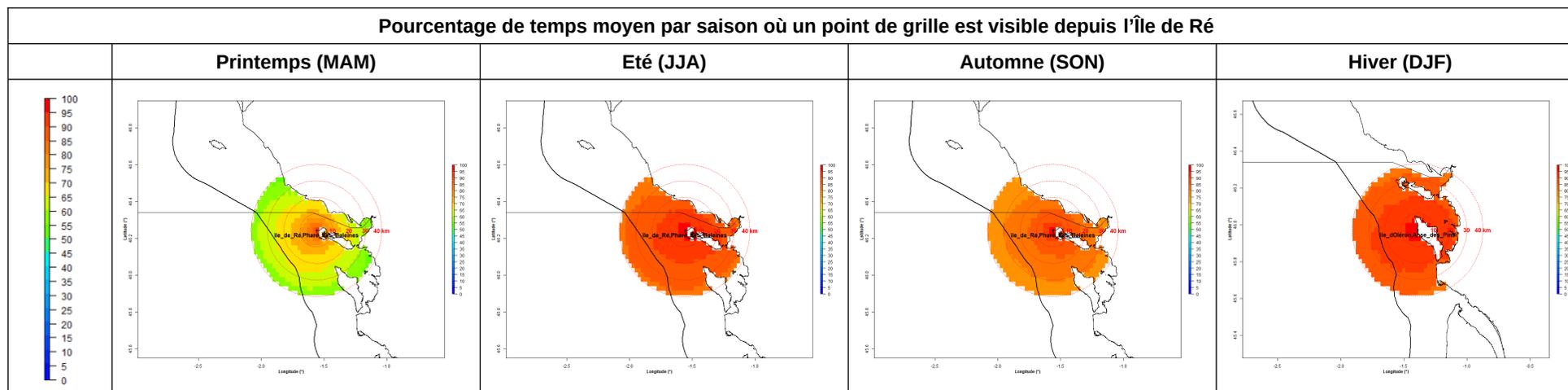
Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen annuel où un point de grille est visible depuis l'Île de Ré

Résultats graphiques



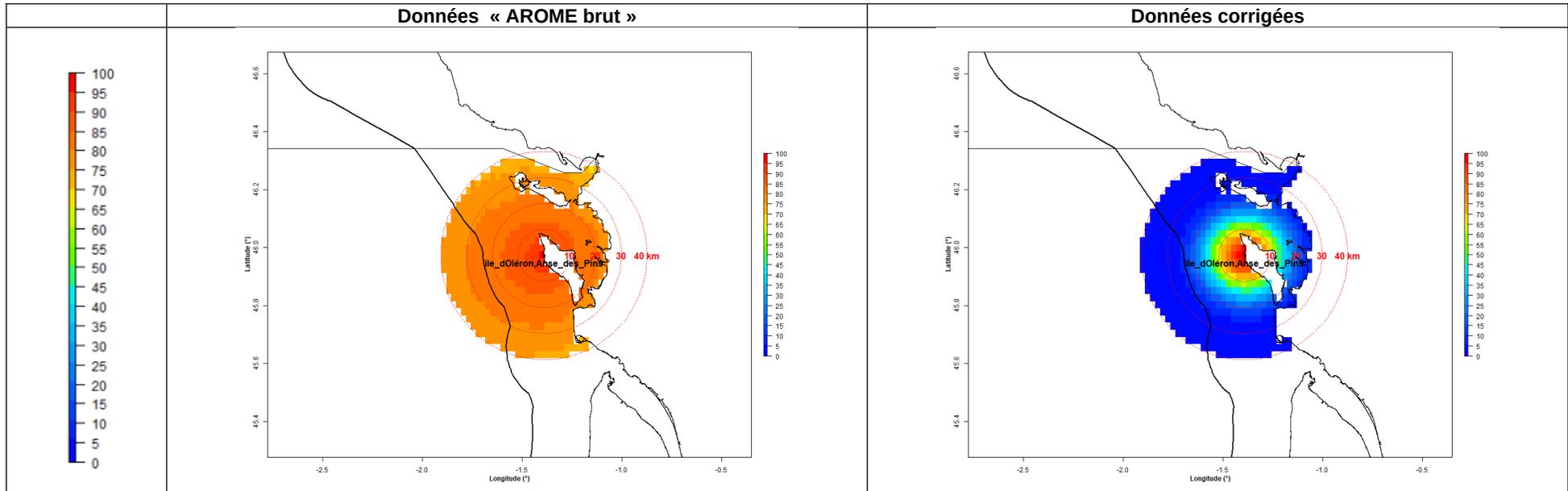


Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen annuel où un point de grille est visible depuis l'Île d'Oléron

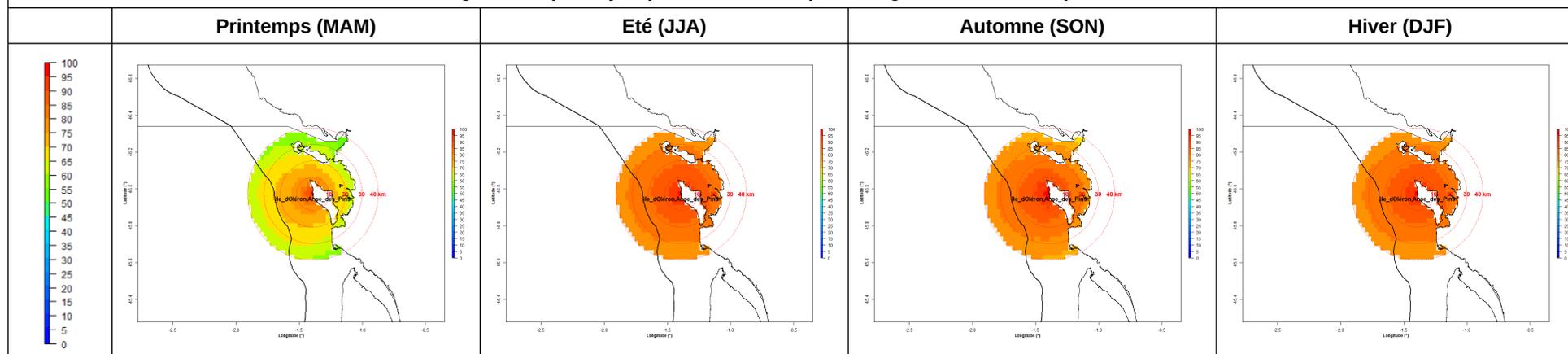
Résultats graphiques



Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen par saison où un point de grille est visible depuis l'Île d'Oléron

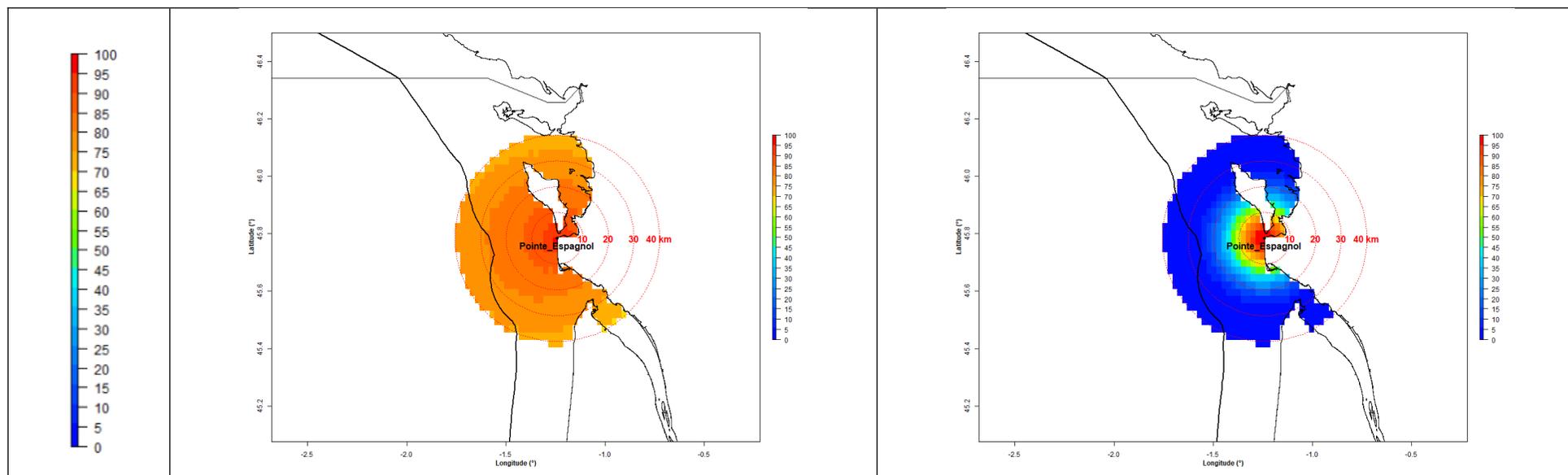


Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen annuel où un point de grille est visible depuis la Pointe Espagnol	
Données « AROME brut »	Données corrigées

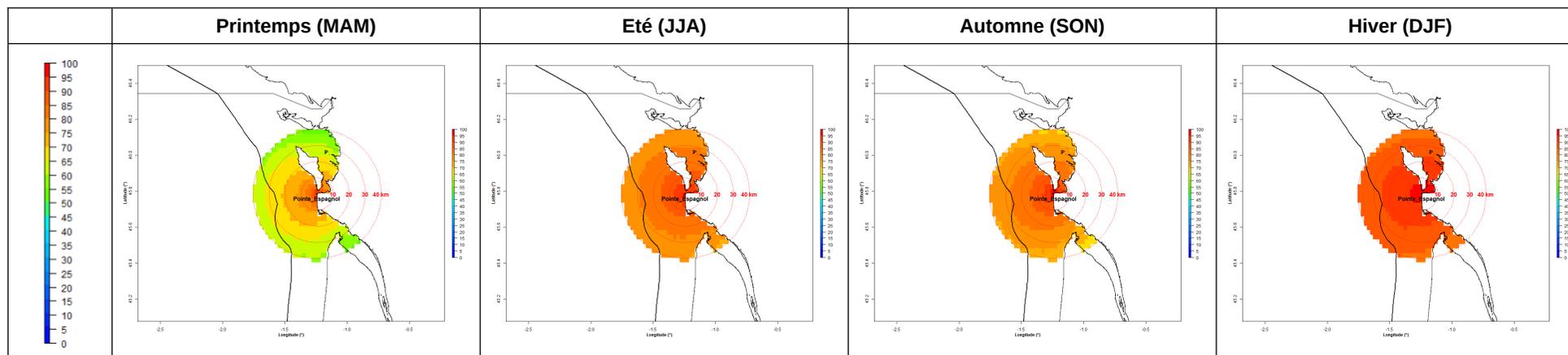
Résultats graphiques



Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen par saison où un point de grille est visible depuis la Pointe Espagnol

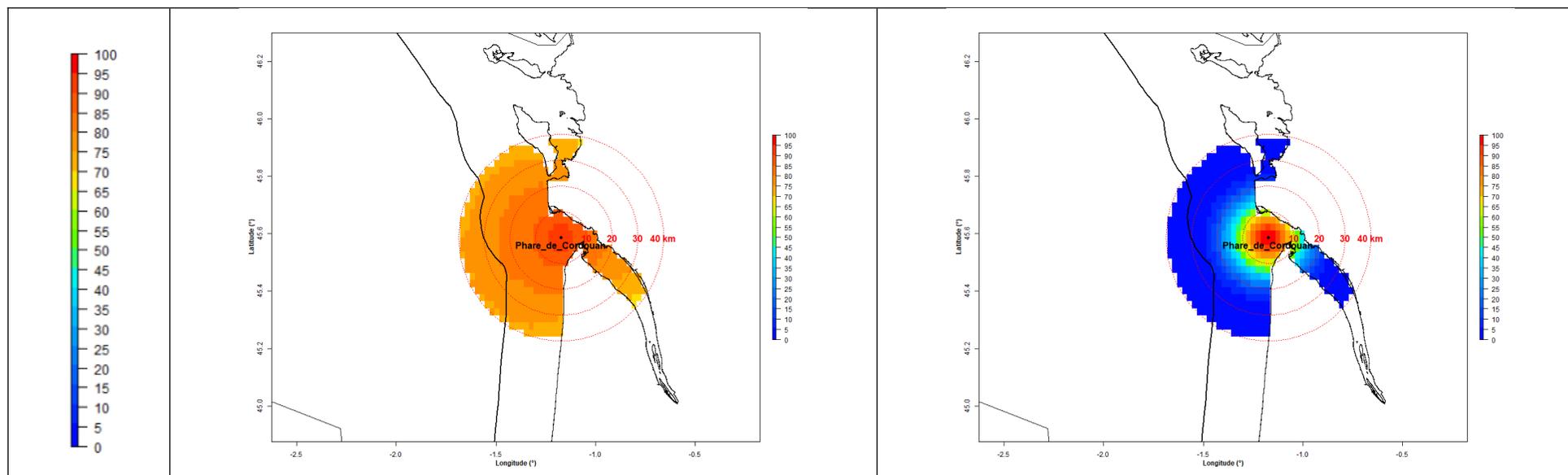


Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen annuel où un point de grille est visible depuis le phare de Cordouan	
Données « AROME brut »	Données corrigées

Résultats graphiques

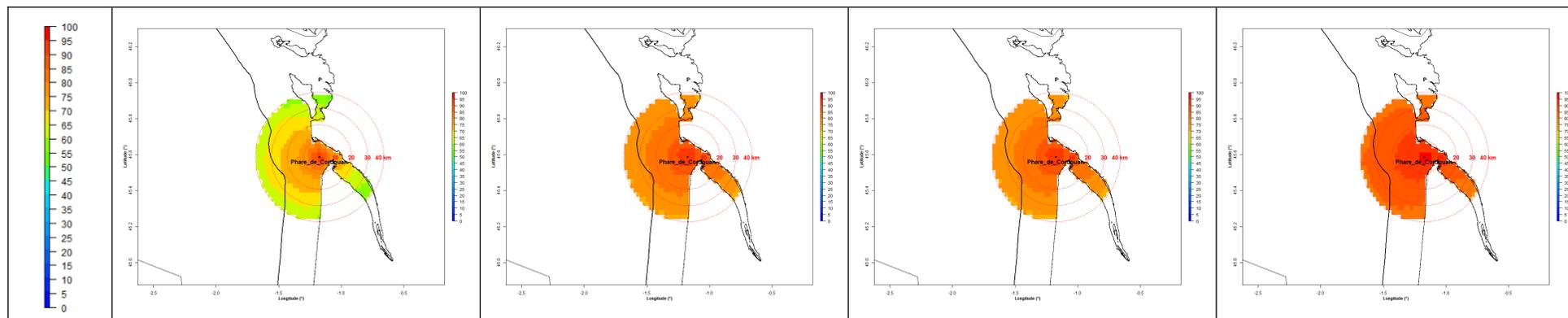


Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Pourcentage de temps moyen par saison où un point de grille est visible depuis le phare de Cordouan

	Printemps (MAM)	Été (JJA)	Automne (SON)	Hiver (DJF)
--	-----------------	-----------	---------------	-------------



Limitations :

- La modélisation de la visibilité AROME ne prend pas en compte les aérosols. En présence d'embruns ou d'aérosols marins notamment, elle peut donc surestimer la visibilité réelle,
- La présente étude ne s'intéresse qu'à la visibilité de jour. Seules les données modélisées entre 06:00 UTC et 21:00 UTC sont utilisées. L'impact de la variation annuelle de la durée du jour est considéré négligeable.
- Estimation de la distance géométrique prenant en compte la rotondité de la terre, de la visibilité depuis la côte d'un point distant d'une hauteur de 200m (hauteur approximative des nacelles d'éoliennes) : pour un observateur au niveau de la mer : ~50 km, à 20m de haut : ~66 km, à 60m de haut : ~78 km.
- Pour des raisons de temps de calcul, les données modélisées n'ont pas été extraites au-delà d'un rayon de 40 km.
- Après comparaison des données modélisées à des données observées mixant de longues chroniques issues de plusieurs sites de la façade traitée, les données modélisées AROME ont fait l'objet d'un ajustement à cet échantillon.

Bibliographie

- CUXART, Joan, BOUGEAULT, Philippe, et REDELSPERGER, J.-L. A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2000, vol. 126, no 562, p. 1-30.
- BOUGEAULT, Philippe et LACARRERE, Pierre. Parameterization of orography-induced turbulence in a mesobeta--scale model. *Monthly weather review*, 1989, vol. 117, no 8, p. 1872-1890.
- SEITY, Yann, BROUSSEAU, Pierre, MALARDEL, Sophie, *et al.* The AROME-France convective-scale operational model. *Monthly Weather Review*, 2011, vol. 139, no 3, p. 976-991.
- OMM. Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques. 1983.
- Mesures de visibilité en mer, 2022, Concertation « CENTRE MANCHE », DREAL Normandie https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2023/04/Visibilit%C3%A9%20en%20mer_note-01042022.pdf

FIN DE DOCUMENT
