

Effets du paramétrage du bridage chiroptérolgique sur la production des éoliennes

RETOUR D'EXPERIENCES

PROGRAMME DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT N°13

Équipe de chiroptérologue

Maggie BONMORT, Emmeline FAUCHER, Thomas GIRARD, Julien HERVÉ, Marie LABOURÉ, Benoit LESAGE, Floriane MEREL et Quentin SUREAU.

Pôle ENR de Toulouse

Mathieu BRUNEAU, Valerian CANTEGRIL et Felix PIANA

Rédacteurs

Marie LABOURÉ, chiroptérologue
Responsable d'études et de développement

Coordinateur

Marie LABOURÉ, chiroptérologue
Responsable d'études et de développement

Supervision/approbation :

Pierre PAPON, Docteur en Géographie
Directeur du pôle écologie

Sylvain LE ROUX
Géographe, Docteur en Géographie
Directeur

Date : 20/06/2022

Sommaire

1	INTRODUCTION	5
2	MATERIELS ET METHODES.....	7
2.1	Jeu de données.....	8
2.2	Importance des différents facteurs	8
2.3	Création de scénarios de programmation	9
2.4	Calcul des pertes de production.....	9
2.5	Amélioration d'un outil de détermination des modalités de programmation	10
2.6	Limite de l'étude.....	12
3	RESULTATS	13
3.1	Importance des différents facteurs influençant l'activité des chiroptères	14
3.2	Scénarios de programmation et calculs des pertes de production.....	15
3.2.1	Influence des variables des arrêts programmés sur la perte de production	15
3.2.1	Influence de la méthode d'inventaire sur les résultats de perte de production	16
3.2.1	Influence du contexte environnemental sur les résultats de perte de production	16
3.2.1	Influence du type de base de données utilisé pour le calcul de la perte de productibles	17
3.3	Intégration de la perte de productible à la calculatrice de bridage.....	21
4	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	22
5	BIBLIOGRAPHIE.....	24
6	ANNEXES	27

RÉSUMÉ

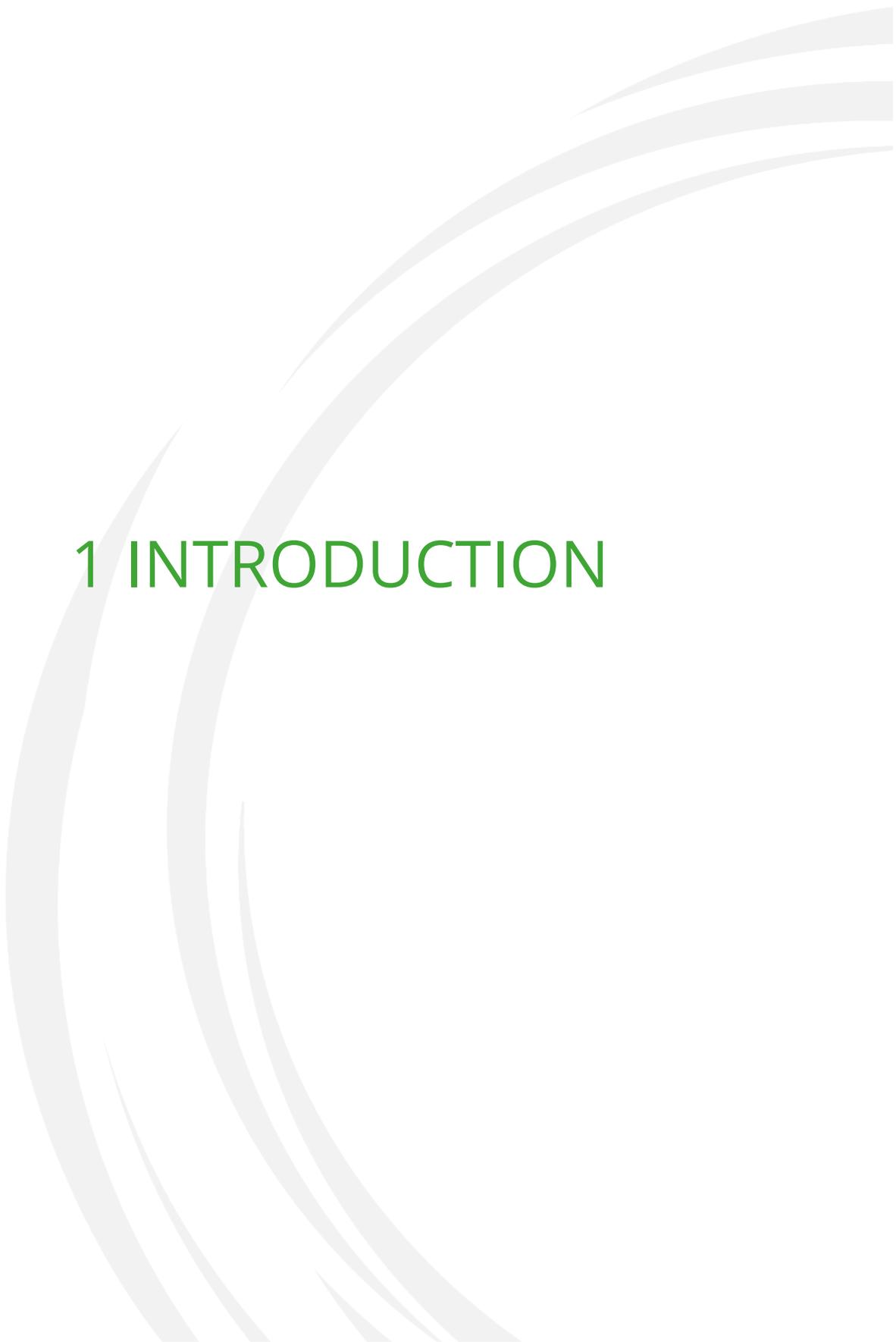
La mise en place de programmation préventive des éoliennes en fonction de l'activité de chauves-souris, souvent rendu obligatoire par l'administration, est définie selon l'activité des chauves-souris constatée sur le site, en fonction du cycle circadien, des saisons, des températures et des vitesses de vent. Il peut ainsi être décidé par l'exploitant ou les services ICPE d'arrêter les éoliennes lors des pics d'activité des chauves-souris qui ont généralement été définis préalablement selon des conditions favorables à leur sortie sur le site en question. Cet arrêt programmé peut être plus ou moins fréquent, et entraîne des diminutions de production et de chiffre d'affaires plus ou moins importantes pour les exploitants.

Ce programme de recherche a pour vocation de préciser et d'optimiser notre méthode pour définir les plans de programmation préventive. Il a aussi pour but d'estimer les pertes possibles de production d'électricité selon le scénario d'arrêt programmé. Ce rapport présente la création d'un outil de calcul de plan d'arrêt programmé des éoliennes et des premiers retours d'expérience sur les pertes de productibles engendrées par ces arrêts programmés.

MOTS CLÉS : chiroptères, température, vitesse de vent, cycle circadien, acoustique, bridage, arrêt programmé, perte de productibles



1 INTRODUCTION



Différentes variables influencent l'activité chiroptérologique : les conditions météorologiques, l'altitude et l'heure de la nuit conditionnent la présence de chauves-souris.

L'influence de la température sur la présence de chiroptères est particulièrement controversée dans la bibliographie. Des articles concluent à une corrélation positive de ces deux variables (Redell et al. 2006, Arnett et al. 2007, Baerwald and Barclay 2011), alors que d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant sur les chauves-souris (Kerns et al. 2005, Horn et al. 2008). Arnett et al. en 2006 démontrent que l'activité des chiroptères au-dessus de 44 m du sol n'apparaît pas comme affectée par les températures. Sur les conditions de vitesses de vent, la validation de l'influence de cette variable semble aussi complexe. Certaines espèces, à l'exemple des noctules, robustes de par leur taille et leur vol puissant, apparaissent comme peu influencées par des conditions telles que la vitesse de vent (Arthur et Lemaire 2015). Enfin, des articles présentent des répartitions différentes au cours de la nuit en fonction du groupe d'espèces voire de l'espèce. Les pipistrelles, noctules et sérotines sont considérées comme des espèces crépusculaires et sont remplacées peu à peu au cours de la nuit par des espèces plus nocturnes à l'instar des barbastelles, murins et oreillard (Barataud 2012).

L'ensemble des facteurs qui régissent l'activité des chiroptères ne sont pas indépendant les uns des autres mais bien souvent concomitant pour permettre des conditions optimales de vol et de chasse pour les chauves-souris.

Dans le cadre de installations classées de protection de l'environnement comme les parcs éoliens, la doctrine ERC (Éviter, Réduire, Compenser) est appliquée. L'une des mesures les plus efficace pour réduire l'impact de mortalité directe sur les chiroptères est la mise en place de plan d'arrêt programmé des éoliennes (« bridage ») en faveur chiroptères en fonction de leur activité. Dans le but de réduire cet impact, une couverture de 90 % de l'activité des chiroptères par le plan d'arrêt programmé est généralement demandée. Afin de couvrir cette activité, il est important de réaliser des calculs sur les différents facteurs l'influençant de manière concomitante. Parallèlement, la viabilité des projets est également à prendre en compte. En effet, ce type de mesure induit une réduction du fonctionnement des éoliennes et ainsi une perte de leur productivité. Il est alors nécessaire de définir les facteurs impactant le plus la production pour limiter cette perte tout en préservant de façon optimale les chiroptères.

C'est dans ce contexte de recherche d'un équilibre entre la préservation des chauves-souris et la productivité des parcs éoliens que s'insère la présente étude.

Un premier retour d'expérience sur cette thématique a été réalisé en 2020 en étudiant l'influence des arrêts programmés sur la perte de productible de deux sites. Le présent rapport vise à affiner et approfondir les premiers résultats obtenus.



2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Jeu de données

Afin de récolter les données nécessaires, des dispositifs d'écoutes ultrasoniques en hauteur sont installés sur les sites d'études. Ces dispositifs permettent d'enregistrer automatiquement les cris d'écholocation des chauves-souris lorsque ces dernières passent à proximité du microphone ultrasonique. L'ensemble des données récoltées permettent d'apprécier la richesse spécifique du site, le comportement des chauves-souris et de corrélérer des facteurs abiotiques tels que les conditions météorologiques (vents, température) ou astronomiques (heure du lever du soleil, période de l'année) présents au moment des enregistrements.

Deux dispositifs d'inventaires sont possibles :

- enregistreur automatique d'ultrason sur mât de mesure météorologique à hauteur de pale (servant de base à l'évaluation du potentiel éolien sur le site) ;
- enregistreur automatique d'ultrason en nacelle d'éolienne (si des éoliennes sont présentes sur ou à proximité du site d'étude).

Notons que les conditions météorologiques servant aux analyses sont celles récoltées par les mâts de mesures météorologiques et celles récoltées par les éoliennes.

Afin de pouvoir étudier différentes situations plusieurs sites concrets ont été analysés dans le cadre de ce projet. Ces sites ont été sélectionnés en fonction de différentes variables comme le potentiel de vent théorique, le matériel d'écoute et le contexte environnemental du site. Les caractéristiques des différents sites étudiés sont présentées dans le tableau suivant.

	Potentiel de vent théorique (En vitesse de vent moyen sur la base de Global wind atlas)	Méthode d'écoute	Contexte environnemental
Site 1	3,61 m/s	Mât de mesure météorologique	Forestier
Site 2	7,10 m/s	Mât de mesure météorologique	Bocage dégradé
Site 3	7,6 m/s	Nacelle d'éolienne	Bocage dense
Site 4	6,5 m/s	Mât de mesure météorologique	Bocage
Site 5	8,1 m/s	Mât de mesure météorologique	Culture avec bosquets
Site 6	6,8 m/s	Nacelle d'éolienne	Culture

Tableau 1 : Détails du jeu de données

2.2 Importance des différents facteurs

Suite à la création en 2020 d'un outil permettant d'ajuster chacun des facteurs abiotiques disponibles pour que le bridage soit le plus efficient en termes de conservation des populations locales de chauves-souris. En outre, cet outil permet de pouvoir adapter les seuils des facteurs abiotiques disponibles pour pouvoir étudier plus finement l'influence des facteurs et les effets sur la perte de production d'énergie. Afin,

de mieux prendre en compte la perte de productible et de pouvoir optimiser les arrêts programmés en fonction des couts engendrés tout en préservant les chiroptères au mieux, l'intégration de la perte de productible dans la calculatrice actuelle est mise en place dans le cadre de la présente étude.

Afin de mieux appréhender les différents facteurs et leur influence sur les chiroptères, des tests statistiques ont été menés. Ces tests sont des modèles de régressions linéaires multiples, avec la mise en place d'anova et une comparaison deux à deux via des tests de Tukey. Ces tests permettent également de mettre en évidence des valeurs apparaissant comme seuil en fonction des différentes variables.

Parallèlement, différents calculs sur des sites existants sont réalisés afin de connaître l'influence du bridage en fonction des différents facteurs et de la perte de productible sur des cas concrets.

2.3 Création de scénarios de programmation

Afin de répondre aux problématiques soulevées par ce programme, plusieurs scénarios de programmation sont réalisés pour simuler les calculs de perte de production d'énergie. Pour ce faire, trois arrêts programmés ont été appliqués sur les six sites étudiés dans des secteurs présentant des potentiels de vents théoriques différents, des méthodes d'écoute différentes et des contextes environnementaux différents.

Les scénarios de programmation testés couvrent tous 90 % de l'activité des chiroptères afin d'être cohérent avec les préconisations des DREAL. Les scénarios d'arrêt programmé appliqué sur les sites ont fait l'objet d'une programmation fine au mois afin de pouvoir moduler en fonction de l'activité des chiroptères et d'affiner au maximum les paramètres pour être le plus adapté au site d'étude et pour limiter les pertes de productibles. En partant de cette base de 90 % de couverture d'activité des chiroptères le choix a été fait de proposer :

- un scénario optimisé sur les couvertures horaires. Ce scénario vise à étendre au maximum les heures d'arrêt programmé afin de limiter les paramètres de bridage sur la vitesse de vent et la température ;
- un scénario optimisé sur les vitesses de vent. Ce scénario vise à augmenter au maximum les vitesses de vent de l'arrêt programmé afin de limiter les paramètres de bridage sur les heures et la température ;
- un scénario optimisé sur les températures. Ce scénario vise à augmenter au maximum les températures de l'arrêt programmé afin de limiter les paramètres de bridage sur les heures et la vitesse de vent.

Les arrêts programmés détaillés par site sont présentés en annexes de ce rapport.

2.4 Calcul des pertes de production

Pour l'ensemble des calculs de pertes de productible l'éolienne choisie est une E82 de chez Enercon avec une puissance nominale de 2,3 MW. La hauteur de moyeu de cette éolienne est de 78,3 m avec une hauteur de garde de 32,3 m et une hauteur totale en bout de pale de 119,3 m.

Pour les données de vent (direction et vitesse du vent), la méthode de Mesure Corrélation Prévision (MCP) est utilisée. Cette méthode consiste à créer des données longs termes (LT) en combinant les données

relevées sur les différents sites, précises mais sur une période courte, et les données en ligne Era5, moins précises mais sur une période de 20 ans. Les corrélations entre données mesurées et données Era5 sont présentées dans le tableau suivant. A noter que seul le site 3 présente des corrélations faibles et peu fiables.

Projet	Corrélation indice	Corrélation vitesse de vent	Méthode
Site 1	0,829	0,809	Matricielle
Site 2	0,876	0,888	Matricielle
Site 3	0,853	0,833	Régression
Site 4 - Merra2	0,663	0,603	Matricielle
Site 4 - Era5	0,739	0,716	Matricielle
Site 5	0,852	0,865	Matricielle
Site 6	0,85	0,869	Matricielle

Tableau 2 : Résultats des mesures de corrélation prévisions pour les vitesses de vent

Pour chaque scénario de bridage d'un site deux simulations ont été réalisées sur les températures avec les températures des capteurs et celles de la base de données en ligne Era5. Ces données en ligne sont basées sur des températures à 2 m de haut sur vingt années de mesures sur des sites plus ou moins proches à l'échelle d'une dizaine de kilomètres. Des différences dans les simulations entre les deux bases de données sont observables et engendrent des modifications importantes sur les résultats d'énergie produite faisant varier plus ou moins le productible. Afin, de lisser ces différences les comparaisons des résultats seront faite sur les mêmes bases de données pour tous les sites.

2.5 Amélioration d'un outil de détermination des modalités de programmation

Dans le but de mieux appréhender et d'améliorer la prise en compte de la perte de productible lié au bridage une amélioration de la calculatrice de bridage mise en place en 2020 a été réalisé afin d'intégrer cette variable. Pour qu'il soit facile d'utilisation et compatible avec les outils déjà existant d'ENCIS Environnement. La calculatrice a été améliorée au format Excel.

Plusieurs étapes intermédiaires ont permis d'intégrer la perte de productibles en fonction du site d'étude à la calculatrice de bridage.

Ainsi dans un premier temps une extrapolation de la vitesse de vent à hauteur de la future nacelle est réalisée sur la base des données météorologiques récoltées par les capteurs des mâts de mesure. Pour ce faire la formule suivante est appliquée :

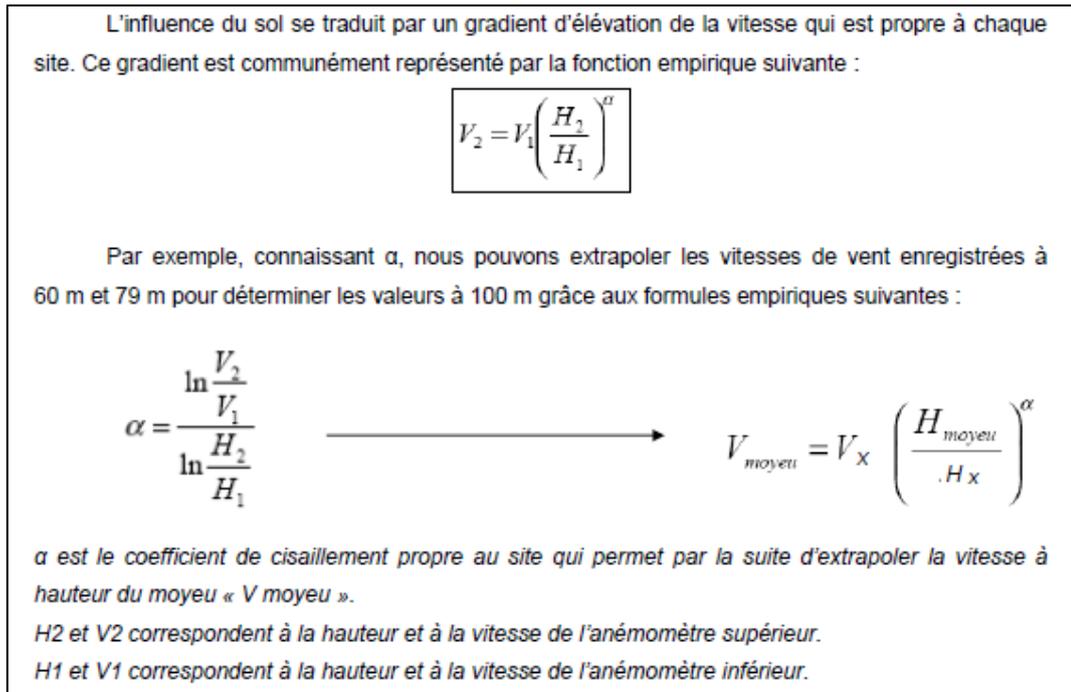


Figure 1: Formule d'extrapolation de la vitesse de vent en fonction de la hauteur

Dans un second temps la courbe de puissance de l'éolienne retenue a été utilisée afin de pouvoir en déduire une production. La puissance instantanée de l'éolienne dépend de deux facteurs : la densité de l'air et la vitesse du vent. Les courbes de puissance données par le fabricant sont sous forme de tableau. Les vitesses de vent vont de 4 à 20 m/s avec un pas de 0,5 m/s. Les masses volumiques vont de 0,95 à 1,275 kg/m³ avec un pas de 0,025 kg/m³. Dans le cadre de cette étude, le choix a été fait de prendre une valeur de densité de l'air de 1,225 kg/m³ qui est généralement la valeur la plus proche de la réalité.

V90-2.0 MW Power Curves, Noise Mode 0														
	Air density kg/m ³													
Wind speed [m/s]	1.225	0.95	0.975	1.0	1.025	1.05	1.075	1.1	1.125	1.15	1.175	1.2	1.25	1.275
4	89	63	66	68	70	73	75	78	80	82	85	87	92	94
4.5	142	105	108	112	115	119	122	125	129	132	136	139	146	149
5	204	154	158	163	167	172	177	181	186	191	195	200	209	213
5.5	279	211	217	224	230	236	242	248	254	260	266	272	285	291

Figure 2: Extrait de courbes puissance de la V90-2.0 MW

Suite à ces deux manipulations, les données de puissance sont associées aux données météorologiques disponibles puis divisées par 6 afin d'obtenir une production par tranche de 10 minutes correspondant au format des données disponibles dans le cadre de nos études.

Enfin, la calculatrice d'arrêt programmé intègre deux nouvelles colonnes, la première permettant de prendre en compte la somme de puissance impactée par le bridage par mois et la seconde calculant le pourcentage de perte qu'implique la puissance couverte par l'arrêt programmé.

2.6 Limite de l'étude

L'ensemble des données utilisé pour ce programme est issu des clients d'ENCIS Environnement. Ainsi, un accord de leur part devra être demandé et autorisé pour toutes publications.

Au cours de cette étude certaines limites sont apparues :

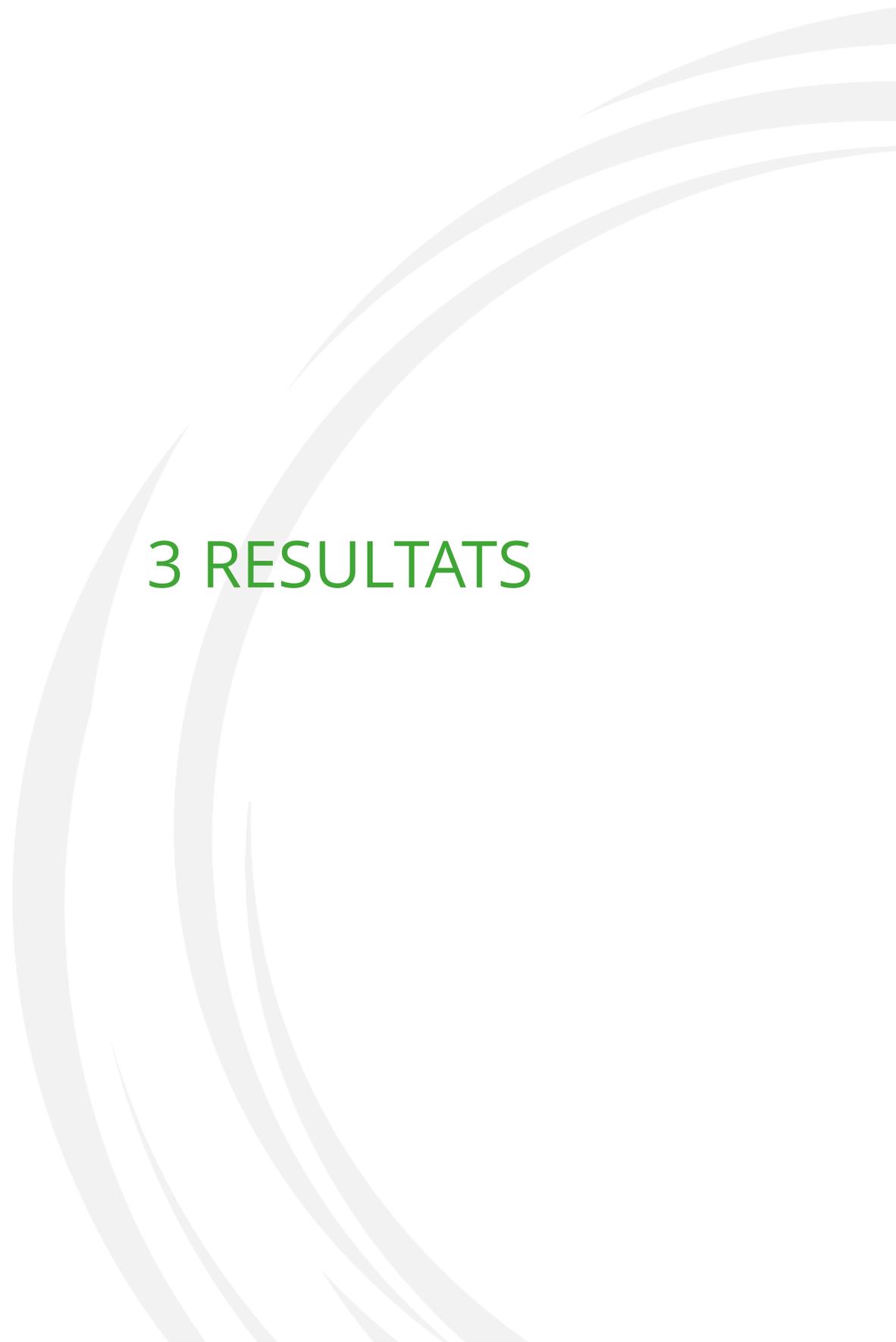
- la présence de deux protocoles d'écoutes différentes ;
- la présence de parasites et la fiabilité d'identification ;
- la localité des sites d'études ;
- la localisation des éoliennes ;
- le nombre de site d'études est réduit ;
- les calculs de perte de productible sont réalisé sur la période d'écoute des chiroptères de mars à octobre-novembre et ne permettent pas de couvrir une année complète.

Limites méthodologiques	Réduction de la limite
Protocoles d'écoutes différents	Programmations identiques des enregistreurs
	Mise en place de microphones neufs ou recalibrés sur l'ensemble des dispositifs
Présence de parasites et fiabilité d'identification	Vérification poussée par un chiroptérologue via Batsound
Localisation des sites d'études et des éoliennes	Représentatif du centre ouest de la France
	Ne pas extrapoler à l'aire biogéographique
Nombre de site d'études réduit	Choix de sites permettant de couvrir un large panel en termes de secteurs de potentiel de vent, d'habitats, de dispositif d'écoute permettant d'observer la similarité ou non dans ces contextes différents
	Cette étude est un retour d'expériences et ne permet de présenter des conclusions figées sur le sujet
Perte de productible calculée sur la période d'activité des chauves-souris	Toutes les pertes de productibles sont calculées sur la même base pour tous les site
	Aucune perte de productible ne sera engendrée sur les périodes en dehors de celle calculée. L'arrêt programmé étant calqué sur le cycle biologique des chiroptères, aucun arrêt programmé ne sera défini sur les mois d'hibernation des chiroptères (novembre-février).
	Possibilité d'extrapoler le pourcentage de perte sur une année complète en connaissant les périodes bridées et les périodes n'affichant pas de perte de productible liée au bridage

Tableau 3 : Réduction des limites méthodologiques



3 RESULTATS



3.1 Importance des différents facteurs influençant l'activité des chiroptères

Afin d'étudier l'influence de l'ensemble des variables sur l'activité des chiroptères, des ACP ont été réalisées afin de comprendre la répartition des contacts de chiroptères en fonction de ces variables puis des modèles de linéaires généralisés, avec la mise en place d'Anova et une comparaison deux à deux via des régressions linéaires et des tests de Tukey.

Afin, d'essayer de comprendre au mieux le comportement des chiroptères, des ACP ont été réalisées sur l'ensemble des données d'écoutes en hauteur disponible à ENCIS Environnement. Le graphique suivant affiche les différentes variables sur deux dimensions (62 % explained variances). Ainsi, toutes les variables apparaissent très explicatives.

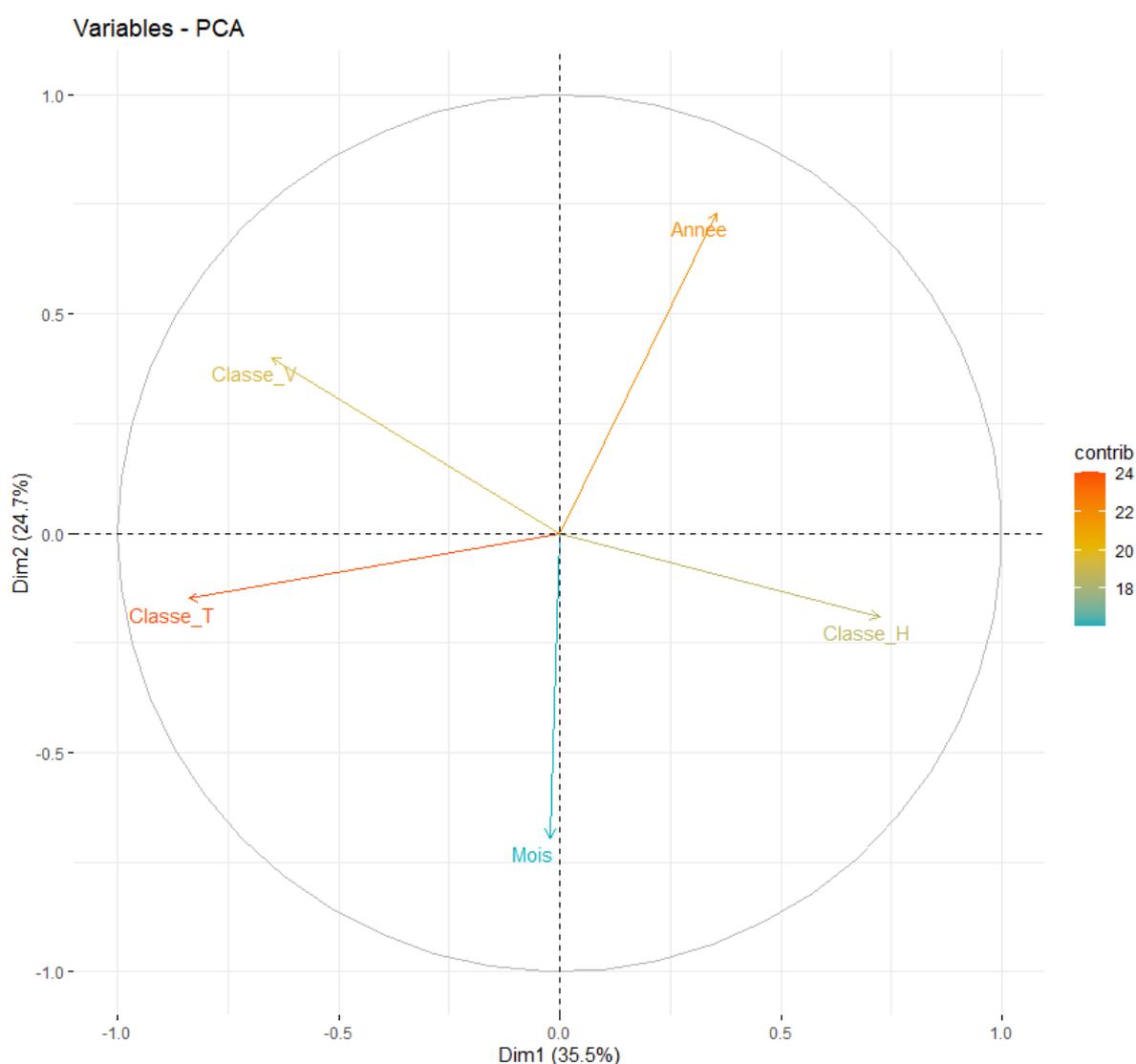


Figure 3: Analyses en composantes principales des différentes variables

Les analyses menées sur l'ensemble de ces données affichent des résultats significatifs sur l'ensemble des variables avec des p-value inférieures à 0,005.

Les trois variables, étudiées dans le cadre de la présente étude sur les arrêts programmés, influencent très significativement ($p\text{-value}=2e-16$) l'activité des chiroptères. Cependant, les variables n'influencent pas significativement l'activité chiroptérologique de la même façon :

- la vitesse de vent à une influence négative sur les contacts de chauves-souris. En effet, plus la vitesse de vent augmente, plus le nombre de contacts de chauves-souris est faible ;
- la température à une influence positive sur l'activité des chiroptères. En effet, plus la température est élevée, plus le nombre de contacts de chiroptères est important ;
- l'heure de la nuit influence négativement les contacts de chiroptères. En effet, plus l'heure avance au cours de la nuit, plus le nombre de chiroptères détecté est faible.

3.2 Scénarios de programmation et calculs des pertes de production

3.2.1 Influence des variables des arrêts programmés sur la perte de production

Le tableau et le graphique suivants illustrent la répartition des pourcentages de perte de productible en fonction des sites étudiés.

Bridage optimisé	Perte engendrée par le bridage sur le productible (en %)						Moyenne
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	
Heure	4,5 %	9,7 %	4,8 %	2,6 %	11,5 %	3,8 %	6,1 %
Vent	10,5 %	8,1 %	8,8 %	7,8 %	7,5 %	9,2 %	8,6 %
Température	5 %	6,2 %	5,2 %	3,9 %	6,3 %	5,4 %	5,3 %

Tableau 4 : Répartition des pourcentages de perte de productibles par site et par scénarios de bridage

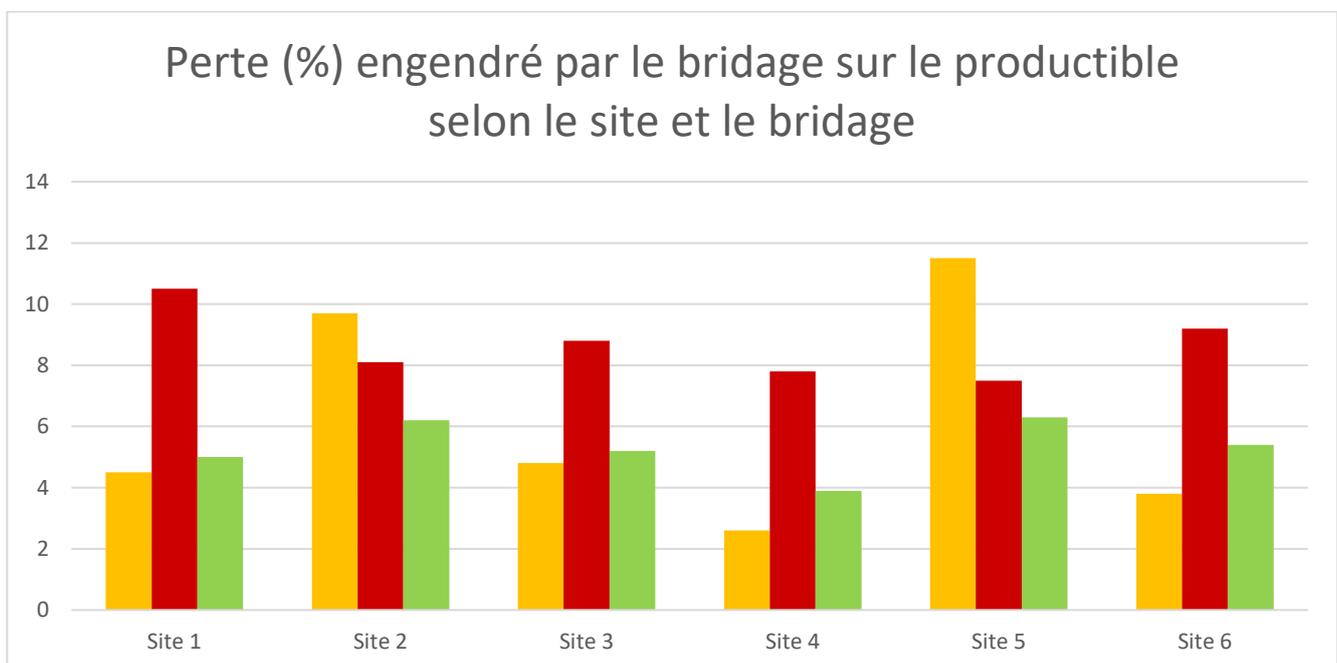


Figure 4: Répartition des pourcentages de perte de productibles par site et par scénarios de bridage

Lorsque que l'on regarde l'influence de l'ensemble des variables sur la perte de productible en fonction du site d'étude, le bridage optimisé sur les vitesses de vent entraîne le plus de pertes de productible pour quatre des six sites étudiés avec une perte estimée entre 7,5 % et 10,5 % soit une moyenne de 8,6 %. Ce résultat est cohérent avec le fait que le vent est la source d'énergie permettant de produire de l'électricité pour les éoliennes.

Dans un second temps, le bridage optimisé sur les couvertures horaires est le second à afficher des pertes de productibles notables. Ce scénario de bridage entraîne le moins de perte de productibles sur quatre sites sur six et le plus de perte de productible sur deux sites sur six. La perte de productible variant entre 2,6 % et 11,5 % pour une moyenne de 6,1 %.

Enfin, le bridage optimisé sur les températures entraîne le moins de pertes de productibles pour deux sites sur six et n'entraîne jamais le plus de pertes avec des valeurs variant entre 4 % et 6 % pour une moyenne de 5,3 %.

Certes des variabilités de résultats existent entre les sites mais les tendances globales sont observables sur la majorité du site.

3.2.1 Influence de la méthode d'inventaire sur les résultats de perte de production

Afin, de voir si la méthode d'écoute et de récolte des données météorologiques exerce une influence sur les résultats une comparaison des résultats obtenus par site en fonction de la méthode a été réalisée.

Ainsi, le tableau suivant illustre cette comparaison.

Bridage optimisé	Perte moyenne engendrée par le bridage sur le productible (en %)	
	Mât de mesure	Nacelle d'éolienne
Heure	7 %	4,3 %
Vent	8,4 %	9 %
Température	5,3 %	5,3 %

Tableau 5 : Répartition des pourcentages de perte de productibles par méthode d'inventaire et par scénarios de bridage

La comparaison des résultats obtenus en fonction du protocole d'écoute et de récolte des données affiche des fortes similarités notamment sur l'effet du bridage optimisé sur les vitesses de vent qui engendre les plus fortes pertes de productible et pour le bridage optimisé sur les températures qui affiche la même perte de productible sur les deux protocoles (plutôt faible). La différence que l'on peut observer entre ces deux protocoles est l'effet du bridage optimisé sur les heures qui affiche une perte supérieure sur les inventaires sur mat de mesure comparativement aux inventaires en nacelle d'éolienne.

3.2.1 Influence du contexte environnemental sur les résultats de perte de production

Afin, de voir si le contexte environnemental exerce une influence sur les résultats une comparaison des résultats obtenus par site en fonction des contextes environnementaux ont été réalisés.

Ainsi, le tableau suivant illustre cette comparaison :

Bridage optimisé	Perte moyenne engendrée par le bridage sur le productible (en %)		
	Milieu forestier	Milieu bocager	Milieu de culture dégradé
Heure	4,5 %	5,7 %	7,6 %
Vent	10,5 %	8,2 %	8,3 %
Température	5 %	5,1 %	5,8 %

Tableau 6 : Répartition des pourcentages de perte de productibles par type de milieu et par scénarios de bridage

La comparaison des résultats obtenus en fonction du contexte environnemental affiche des fortes similarités notamment sur l'effet du bridage optimisé sur les vitesses de vent qui engendre les plus fortes pertes de productible et pour le bridage optimisé sur les températures qui affiche des pertes de productible très proche quel que soit le type de milieu (entre 5 et 6 %). La différence que l'on peut observer entre ces milieux est l'effet du bridage optimisé sur les heures qui affiche une perte supérieure qui est plus élevée en fonction de l'ouverture du milieu.

3.2.1 Influence du type de base de données utilisé pour le calcul de la perte de productibles

Afin, de voir si la base de données utilisée exerce une influence sur les résultats obtenus sur la perte de productibles, des comparaisons ont été faites site par site sur les résultats obtenus. Les graphiques suivants présentent ces résultats en fonction des différents scénarios de bridages appliqués.

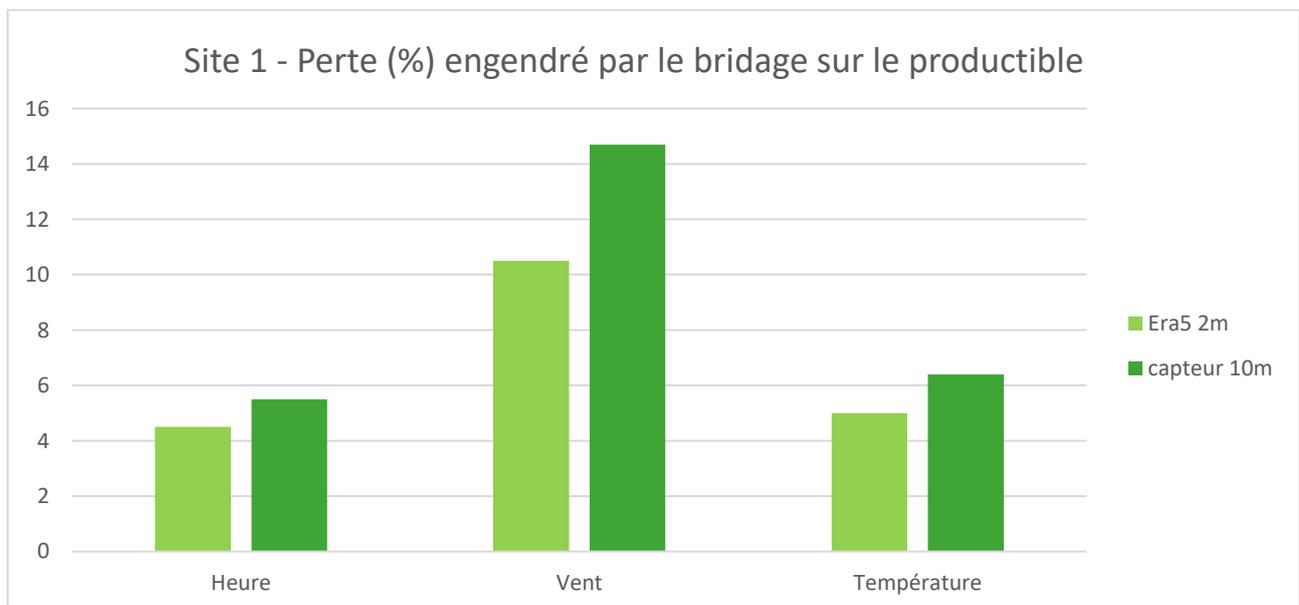


Figure 5: Répartition des pourcentages de perte de productibles en fonction du type de données utilisé et par scénarios de bridage pour le site 1

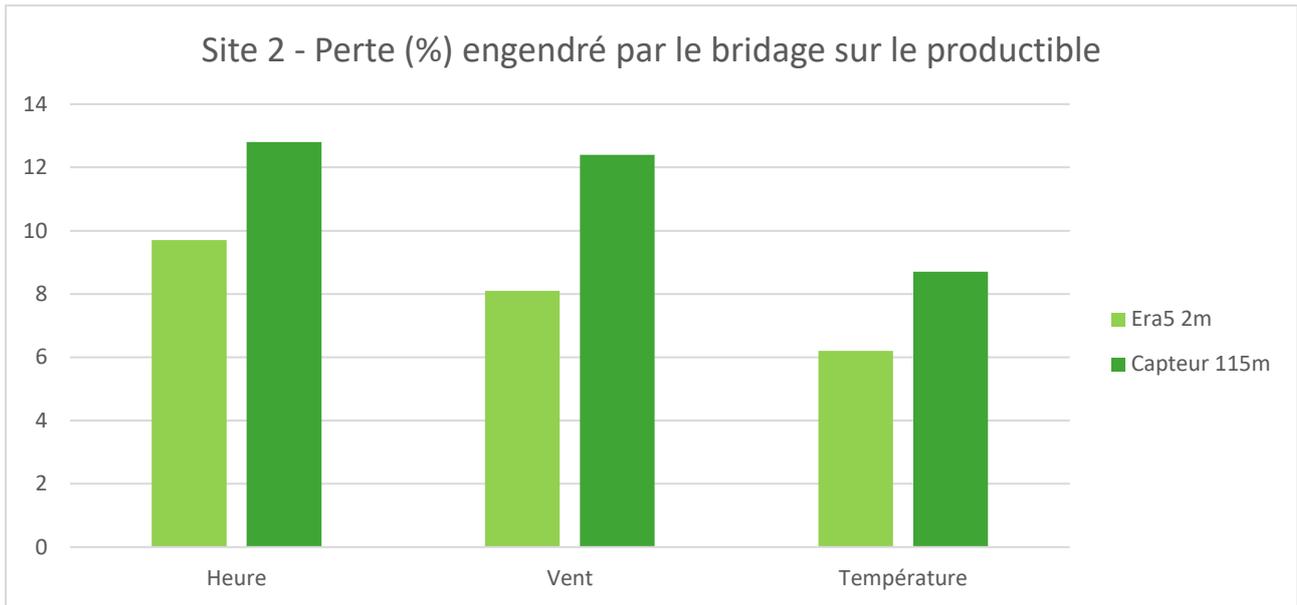


Figure 6: Répartition des pourcentages de perte de productibles en fonction du type de données utilisé et par scénarios de bridage pour le site 2

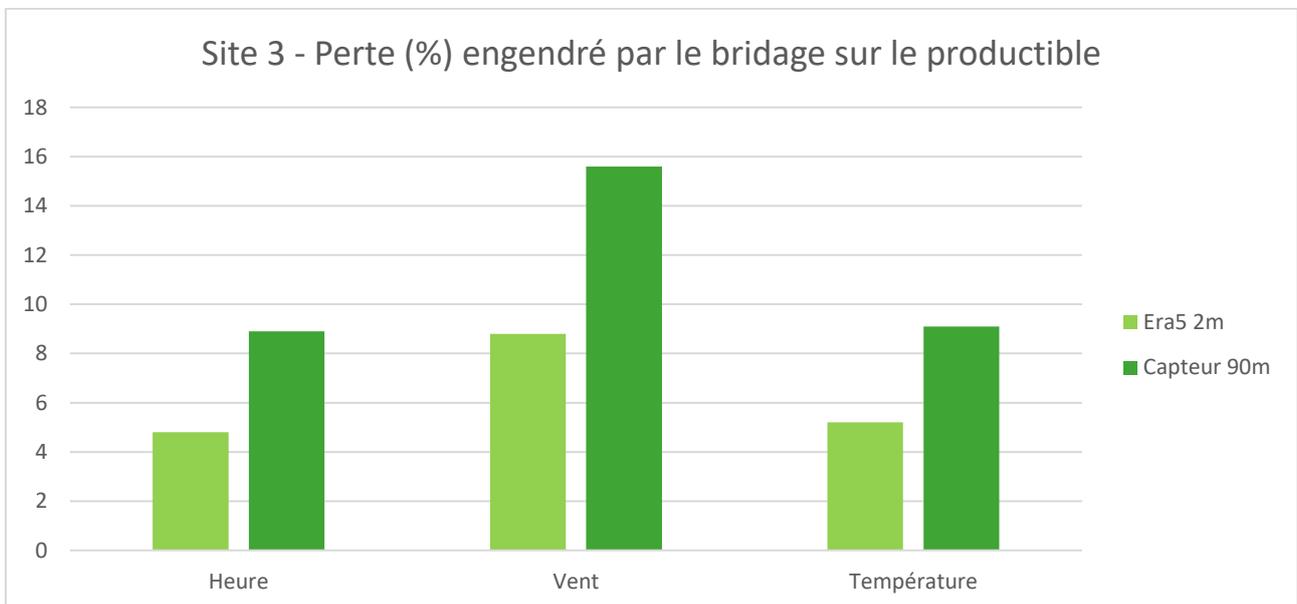


Figure 7: Répartition des pourcentages de perte de productibles en fonction du type de données utilisé et par scénarios de bridage pour le site 3

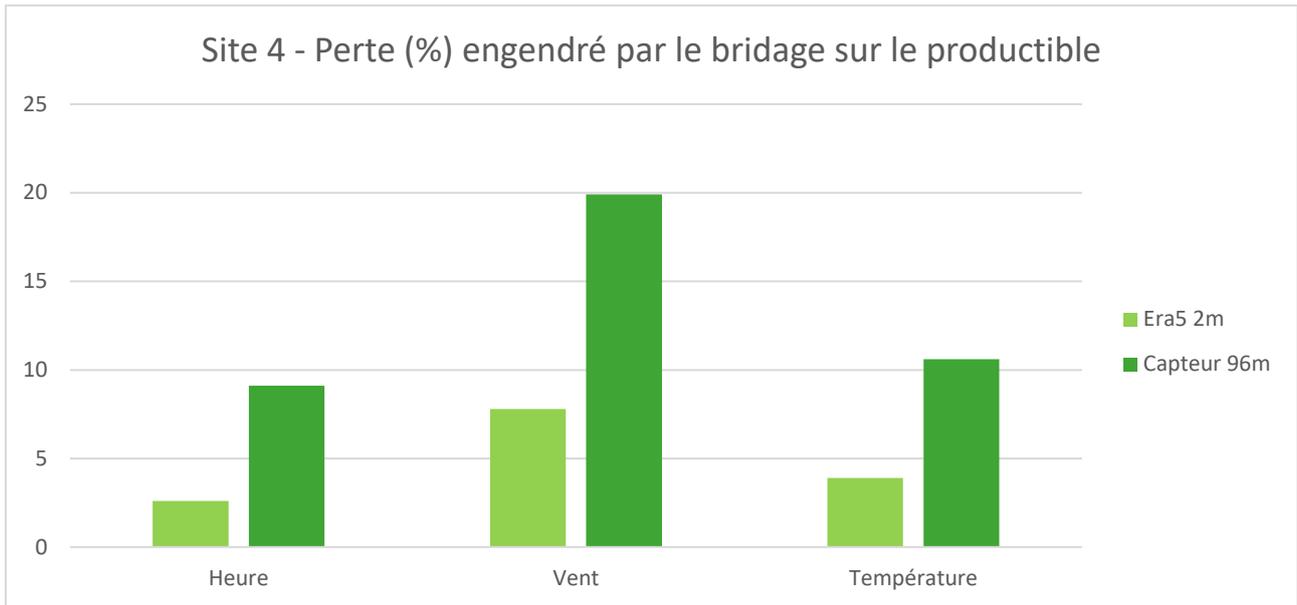


Figure 8: Répartition des pourcentages de perte de productibles en fonction du type de données utilisé et par scénarios de bridage pour le site 4

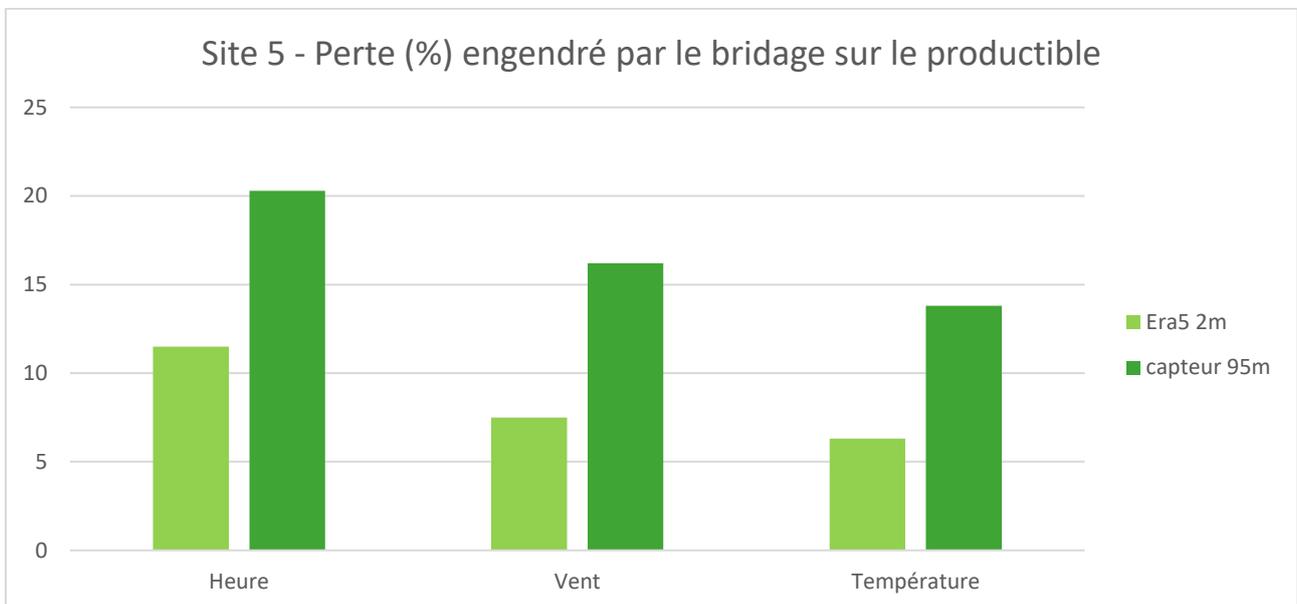


Figure 9: Répartition des pourcentages de perte de productibles en fonction du type de données utilisé et par scénarios de bridage pour le site 5

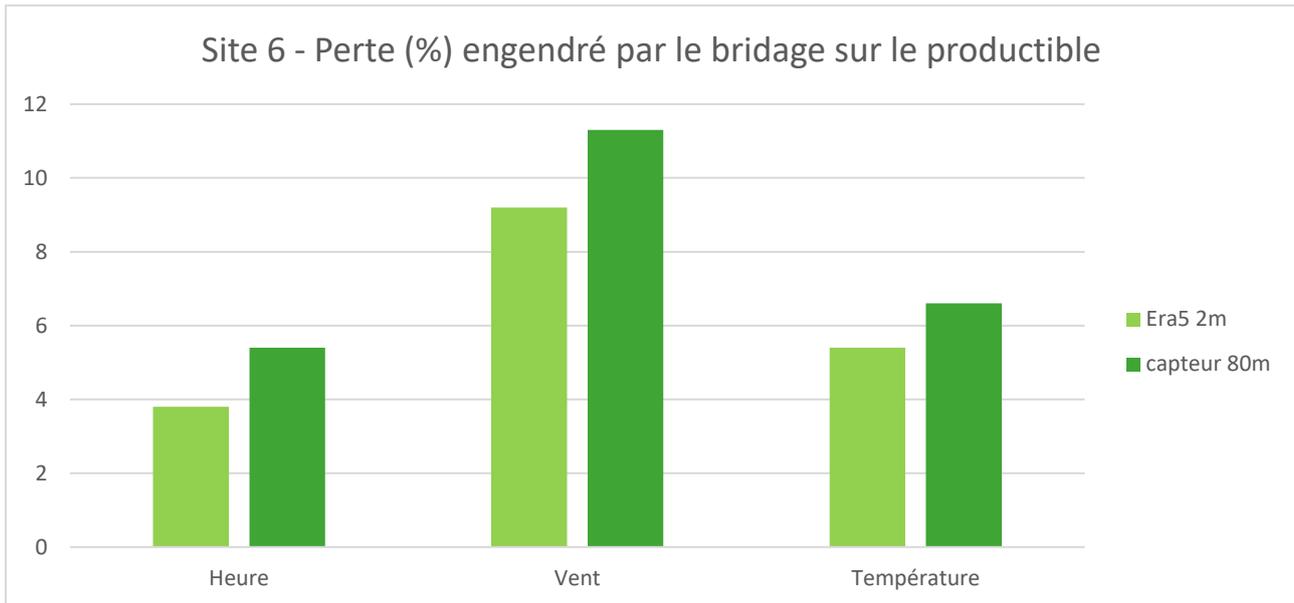


Figure 10: Répartition des pourcentages de perte de productibles en fonction du type de données utilisé et par scénarios de bridage pour le site 6

Sur l'ensemble des graphiques, une nette différence est observable entre la perte de productibles estimée par le modèle Era à 2 m et celle estimée sur la base des capteurs placés sur les mâts de mesure ou les éoliennes en hauteur. Pour plus de lisibilité, le tableau suivant présente les différences de perte de productibles entre les différents modèles pour chaque site.

Bridage optimisé	Différence de perte engendrée par le bridage sur le productible (en %)						Moyenne
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	
Heure	1 %	3,1 %	4,1 %	6,5 %	8,8 %	1,6 %	4,1 %
Vent	4,2 %	4,3 %	6,8 %	12,1 %	8,7 %	2,1 %	6,3 %
Température	1,4 %	2,5 %	3,9 %	6,7 %	7,5 %	1,2 %	3,8 %

Tableau 7 : Différences entre les bases données en termes de pertes de productibles par site et par scénarios de bridage

Ainsi, sur l'ensemble des sites les calculs menés avec les données récoltés sur les mâts de mesure ou en nacelles d'éolienne affichent des pertes de productibles nettement supérieures à celles estimées via la base de données Era5. Le tableau précédent affiche ainsi les différences observées entre ces deux types d'estimations qui sont loin d'être négligeables. Ainsi, les différences varient en moyenne de 4 % (de 1 % à 8,8 %) en fonction des estimatifs sur le bridage optimisé sur les heures, de 6,3 % (de 2,1 % à 12,1 %) sur le bridage optimisé sur le vent et de 3,8 % (de 1,2 % à 7,5 %) sur le bridage optimisé sur les températures. Plus la perte de productible est élevée plus la différence entre les méthodes d'estimation est importante. Ces différences en pourcentage sont très importantes engendre des coûts très différents pouvant engendrer la non-viabilité des parcs éoliens. Il apparait alors important de trouver d'où viennent de telles variations et de comparer ces résultats aux pertes de productibles réelles.

3.3 Intégration de la perte de productible à la calculatrice de bridage

Ainsi, l'intégration de la perte de productible aux outils de bridage d'ENCIS est basé sur plusieurs calculs présentés en méthodologie du présent rapport :

- une extrapolation de la vitesse obtenus lors des inventaires à la hauteur de la nacelle d'éolienne ;
- une courbe de puissance également adapté au site ;
- une estimation des productibles sur la base de la courbe de puissance et des données météorologiques sur obtenus sur les différents sites.

Un fichier Excel de calcul de perte de productible associé au bridage lié au chiroptères a ainsi été créé et intègre un tutoriel afin qu'il soit le plus facilement applicable à nos données et outils existants.

Afin de tester cette calculatrice, un aperçu du fonctionnement et du résultats obtenus pour le site 1 est présenté dans le tableau ci-contre. Ainsi, l'arrêt programmé des éoliennes couvre 90 % de l'activité des chiroptères et engendrerait une perte de productible de 3,5 % sur une année complète de fonctionnement.

Périodes	Mois	NB contacts / mois enregistrés <i>(/1 Mo par mois)</i>	Machines concernées	Pourcentage d'activité des chiroptères couvert par les critères suivants <i>(/1 Mo par mois)</i>	Modalités d'arrêt <i>(Paramètre à faire varier)</i>		NB contacts / mois compris par les modalités d'arrêt <i>(/1 Mo par mois)</i>	Puissance comprise dans les critères de bridage <i>(/1 Phase test /1)</i>	Perte de puissance comprise dans les critères de bridage Période étudiée <i>(/1 Phase test /1)</i>	
					Les XX premières heures après le Couché du soleil	Les XX heures avant le Lever du soleil				
Cycle actif des chauves-souris	Mars	34	Toutes	0,0%	-	-	0	0	0,0%	
	Avril	68		0,0%	-	-	0	0	0,0%	
	Mai	1500		89,3%	05:00:00	00:00:00	1340	3607,833333	0,2%	
	Jun	385		77,4%	23:59:00	00:00:00	298	23865,66667	1,2%	
	Juillet	961		75,5%	23:59:00	00:00:00	726	37951,33333	1,8%	
	Août	3812		94,6%	23:59:00	00:00:00	3607	18804,66667	0,9%	
	Septembre	4727		93,0%	23:59:00	00:00:00	4396	31538,33333	1,5%	
	Octobre	1445		89,1%	23:59:00	00:00:00	1288	26845,16667	1,3%	
	Novembre	8		0,0%	-	-	0	0	0,0%	
	Total sur le cycle complet			12940		90,1%		11655	142613	6,9%
									2068533,67	3,5%

Figure 11: Aperçu de la calculatrice d'arrêts programmés intégrant la perte de productible et du résultat de son utilisation pour le Site 1



4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude permet de mieux appréhender l'effet des arrêts programmés en faveur de la conservation des chiroptères sur la perte de productibles engendrés dans le cadre de l'implantation de parc éolien.

Le retour d'expérience que constitue ce rapport a permis de valider l'influence des conditions météorologiques et du facteur circadien sur l'activité des chiroptères, en montrant la significativité de leur influence. La mise en place de différents scénarios d'arrêts programmés visant à maximiser certains facteurs (vitesse de vent, température et plage horaire) afin d'observer l'influence de ces derniers sur la perte de productible ont permis de montrer plusieurs phénomènes :

- la vitesse de vent est le facteur engendrant le plus de perte de productible ;
- les plages de couverture horaire est le deuxième facteur engendrant des pertes de productibles ;
- la température est le facteur engendrant le moins de perte de productible.

Parallèlement, il apparaît important de noter les différences de résultats en fonction de la méthode d'estimation (données réelles ou données théoriques sur 20 ans) utilisée. En effet, l'estimation des pertes de productibles est très variable et les résultats dans la présente étude restent des indicatifs pour calculer les pourcentages de perte mais pourraient varier dans la réalité de l'exploitation des parcs éoliens.

Cette étude a également permis d'obtenir un outil de calcul pour les bridages en faveur des chiroptères, permettant de prendre en compte les principaux facteurs concomitants, et de faciliter ainsi l'élaboration de nos plans d'arrêt programmé, en y ajoutant la prise en compte de la perte de productible. Cet outil permet ainsi une optimisation des arrêts programmés en fonction des coûts potentiellement engendrés dans le cadre des projets éoliens.

Les résultats obtenus sur ces six sites et la prise en compte de la perte de productibles permettent d'avoir des pistes solides pour l'amélioration et l'adaptation des arrêts programmés. Cependant, le faible nombre de sites pour cette étude et la création lors de ce programme de recherche et développement ne permettent pas de tirer des conclusions certaines et d'avoir un retour d'expérience suffisant pour faire de cette étude un rapport scientifique mais d'en faire une base importante pour la suite des recherches sur cette thématique.

En perspectives, il apparaîtra nécessaire d'analyser plusieurs sites (pour atteindre une trentaine de sites) pour apporter de la robustesse aux résultats obtenus, de mettre en place des patterns type en fonction des secteurs, de tester l'influence d'autres facteurs influençant l'activité des chiroptères en hauteur sur les arrêts programmés et la perte de productible, d'automatiser la calculatrice de bridage et de perte de productible en un logiciel automatique.



5 BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Amorim F., H. Rebelo & L. Rodrigues (2012): Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2): 439-457.
- Arnett, E.B., Baerwald, E.F., Mathews, F., Rodrigues, L., Rodriguez-Durán, A., Rydell, J., Villegas-Patraca, R. & Voigt, C. (2016) Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. Voigt and T. Kingston, eds.) pp. 295–323. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Arnett, E.B., G.D. Johnson, W.P. Erickson & C.D. Hein (2013c): A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Arnett, E.B., M.M.P. Huso, J.P. Hayes & M. Schirmacher (2010): Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- Arnett, E.B., M.M.P. Huso, M. Schirmacher & J.P. Hayes (2011): Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Front Ecol. Environ.* 2011, 9(4): 209– 214.
- Arnett, E.B., R.M.R. Barclay & C.D. Hein (2013a): Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 171–171. doi:10.1890/15409295-11.4.171
- Bach, L. & P. Bach (2009): Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Aktivität von Fledermäusen. *Nyctalus (N.F.)* 14 (1-2): 3-13.
- Arnett, E.B., W.K. Brown, W.P. Erickson, J.K. Fiedler, B.L. Hamilton, T.H. Henry, A. Jain, G.D. Johnson, J. Kerns, R.R. Koford, C.P. Nicholson, T.J. O´Connell, M.D. Piorkowski & R.D. Tankersley (2008): Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *J. Wildl. Manag.* 72(1): 61-78.
- Baerwald, E.F. & R. Barclay (2014): Science-based strategies can save bats at wind farms. *Bats* 32 (2): 2-4.
- Baerwald, E.F. & R.M.R. Barclay (2009): Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy*, 90(6): 1341–1349.
- Behr, O., R. Brinkmann, I. Niermann & F. Korner-Nievergelt (2011): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & M. Reich, (Hrsg.): *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. *Umwelt und Raum* 4: 177-286.

- Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (ed.) (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4, 457 pages.
- Cryan, P.M., Gorresen, P.M., Hein, C.D., Schirmacher, M.R., Diehl, R.H., Huso, M.M., Hayman, D.T.S., Fricker, P.D., Bonaccorso, F.J., Johnson, D.H., Heist, K. & Dalton, D.C. (2014a) Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 15126–15131.
- Cryan, P.M., P.M. Gorresen, C.D. Hein, M.R. Schirmacher, R.H. Diehl, M.M. Huso, D.T.S. Hayman, P.D. Fricker, F.J. Bonaccorso, D.H. Johnson, H. Hesit & D.C. Dalton (2014): Behavior of bats at wind turbines. *PNAS*. doi: 10.1073/pnas.1406672111.
- Horn, J.W., E.B. Arnett & T.H. Kunz (2008): Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management* 72(1): 123-132.
- Lagrange, H., P. Rico, Y. Bas, A-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbiriou (2013): Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of CHIROTECH®. Presentation at the CWE in Stockholm 5-7 February 2013 and at the 16th International Bat Research Conference, Costa Rica.
- Limpens, H.J.G.A., M. Boonman, F. Korner-Nievergelt, E.A. Jansen, M. van der Valk, M.J.J. La Haye, S. Dirksen & S.J. Vreugdenhil (2013): Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013. 12, Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg.
- Martin, C.M., Arnett, E.B., Stevens, R.D. & Wallace, M.C. (2017) Reducing bat fatalities at wind facilities while improving the economic efficiency of operational mitigation. *Journal of Mammalogy*, 98, 378–385.
- Rydell, J., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues & A. Hedenström (2010a): Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12(2): 261-274.
- Rydell, J., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues & A. Hedenström (2010b): Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *Eur. J. Wildl. Res.* 56: 823–827.
- Heitz et Jung (2016), Impact de l'activité éolienne sur les chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique, Ecosphère.



6 ANNEXES



Annexe 1 : Scénarios d'arrêts programmés du site 1

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	D'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil	6	9
1/04 - 30/04		7	8
1/05 - 31/05		6	9
1/06 - 30/06		7	11
1/07 - 31/07		6,5	14
1/08 - 31/08		5	14
1/09 - 30/09		6	12
1/10 - 31/10		7	9
1/11 - 30/11		6	6

Arrêt programmé optimisé sur la couverture horaire

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	6h après le coucher du soleil	6	9
1/04 - 30/04	7h après le coucher du soleil	10	8
1/05 - 31/05	6h après le coucher du soleil	9	9
1/06 - 30/06	8h après le coucher du soleil	11	10
1/07 - 31/07	7h30 après le coucher du soleil	10	14
1/08 - 31/08	7h après le coucher du soleil	8	14
1/09 - 30/09	9h30 après le coucher du soleil	9	11
1/10 - 31/10	9h30 après le coucher du soleil	14	7
1/11 - 30/11	6h après le coucher du soleil	9	6

Arrêt programmé optimisé sur les vitesses de vent

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	6h après le coucher du soleil	6	9
1/04 - 30/04	10h après le coucher du soleil	8	4
1/05 - 31/05	6h après le coucher du soleil	4,5	7
1/06 - 30/06	9h après le coucher du soleil	8	11
1/07 - 31/07	8h après le coucher du soleil	7	13
1/08 - 31/08	7h après le coucher du soleil	6	13
1/09 - 30/09	10h après le coucher du soleil	6,5	9
1/10 - 31/10	10h après le coucher du soleil	7,5	6
1/11 - 30/11	6h après le coucher du soleil	6	3

Arrêt programmé optimisé sur les températures

Annexe 2 : Scénarios d'arrêts programmés du site 2

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	D'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil	9	6
1/04 - 30/04		8	10
1/05 - 31/05		9	12
1/06 - 30/06		9	14
1/07 - 31/07		7,5	13
1/08 - 31/08		7,5	13
1/09 - 30/09		8	13
1/10 - 31/10		7,5	8

Arrêt programmé optimisé sur la couverture horaire

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	5h après le coucher du soleil	11	11
1/04 - 30/04	7h après le coucher du soleil	12	13
1/05 - 31/05	6h après le coucher du soleil	12	16
1/06 - 30/06	7h après le coucher du soleil	10	14
1/07 - 31/07	7h après le coucher du soleil	10	17
1/08 - 31/08	8h après le coucher du soleil	11	17
1/09 - 30/09	8h après le coucher du soleil	11	15
1/10 - 31/10	8h après le coucher du soleil	9	9

Arrêt programmé optimisé sur les vitesses de vent

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	3h après le coucher du soleil	7	10
1/04 - 30/04	9h après le coucher du soleil	9	11
1/05 - 31/05	8h après le coucher du soleil	8	14
1/06 - 30/06	8h après le coucher du soleil	8	12
1/07 - 31/07	8h après le coucher du soleil	8	15
1/08 - 31/08	9h après le coucher du soleil	9	14
1/09 - 30/09	9h après le coucher du soleil	9	12
1/10 - 31/10	7h après le coucher du soleil	6,5	8

Arrêt programmé optimisé sur les températures

Annexe 3 : Scénarios d'arrêts programmés du site 3

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	D'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil	6	14
1/04 - 30/04		7,5	12
1/05 - 31/05		7	11
1/06 - 30/06		5,5	12
1/07 - 31/07		7,5	13
1/08 - 31/08		6	12
1/09 - 30/09		6,5	12
1/10 - 31/10		6	12
1/11 - 30/11		5	6

Arrêt programmé optimisé sur la couverture horaire

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	8h après le coucher du soleil	10	10
1/04 - 30/04	6h après le coucher du soleil	11	11
1/05 - 31/05	7h après le coucher du soleil	9	12
1/06 - 30/06	5h30 après le coucher du soleil	8	12
1/07 - 31/07	4h après le coucher du soleil	9	12
1/08 - 31/08	7h après le coucher du soleil	8	12
1/09 - 30/09	9h après le coucher du soleil	9	12
1/10 - 31/10	3h30 après le coucher du soleil	10	10
1/11 - 30/11	8h après le coucher du soleil	10	8

Arrêt programmé optimisé sur les vitesses de vent

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/03 - 31/03	8h après le coucher du soleil	6	6
1/04 - 30/04	8h30 après le coucher du soleil	7,5	10
1/05 - 31/05	6h30 après le coucher du soleil	7	10
1/06 - 30/06	6h30 après le coucher du soleil	5,5	12
1/07 - 31/07	7h après le coucher du soleil	8,5	12
1/08 - 31/08	8h après le coucher du soleil	7	12
1/09 - 30/09	9h après le coucher du soleil	7	11
1/10 - 31/10	6h après le coucher du soleil	7	10
1/11 - 30/11	8h après le coucher du soleil	6	8

Arrêt programmé optimisé sur les températures

Annexe 4 : Scénarios d'arrêts programmés du site 4

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/04 - 30/04	D'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil	6	7
1/05 - 31/05		5	9
1/06 - 30/06		7	13
1/07 - 31/07		5,5	16
1/08 - 31/08		6,5	15
1/09 - 30/09		5,5	15
1/10 - 31/10		5,5	12

Arrêt programmé optimisé sur la couverture horaire

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/04 - 30/04	7h30 après le coucher du soleil	9	7
1/05 - 31/05	6h30 après le coucher du soleil	9	9
1/06 - 30/06	7h après le coucher du soleil	9	13
1/07 - 31/07	6h après le coucher du soleil	8	16
1/08 - 31/08	9h après le coucher du soleil	9	14
1/09 - 30/09	9h après le coucher du soleil	9	15
1/10 - 31/10	9h30 après le coucher du soleil	10	11

Arrêt programmé optimisé sur les vitesses de vent

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/04 - 30/04	7h30 après le coucher du soleil	6	6
1/05 - 31/05	6h30 après le coucher du soleil	6	8
1/06 - 30/06	7h après le coucher du soleil	7,5	11
1/07 - 31/07	7h après le coucher du soleil	6	14
1/08 - 31/08	10h après le coucher du soleil	6,5	10
1/09 - 30/09	9h après le coucher du soleil	6,5	10
1/10 - 31/10	9h30 après le coucher du soleil	6	0

Arrêt programmé optimisé sur les températures

Annexe 5 : Scénarios d'arrêts programmés du site 5

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/05 - 31/05	D'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil	5	17
1/06 - 30/06		8	8
1/07 - 31/07		7,5	18
1/08 - 31/08		7,5	10
1/09 - 30/09		7,5	10
1/10 - 31/10		5	10

Arrêt programmé optimisé sur la couverture horaire

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/05 - 31/05	5h après le coucher du soleil	10	9
1/06 - 30/06	6h après le coucher du soleil	10	10
1/07 - 31/07	5h après le coucher du soleil	11	10
1/08 - 31/08	7h30 après le coucher du soleil	11	10
1/09 - 30/09	10h après le coucher du soleil	11	10
1/10 - 31/10	9h après le coucher du soleil	10	10

Arrêt programmé optimisé sur les vitesses de vent

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/05 - 31/05	5h après le coucher du soleil	5	8
1/06 - 30/06	9h après le coucher du soleil	9	8
1/07 - 31/07	6h après le coucher du soleil	7,5	8
1/08 - 31/08	8h après le coucher du soleil	9	8
1/09 - 30/09	12h après le coucher du soleil	9	8
1/10 - 31/10	9h après le coucher du soleil	7	8

Arrêt programmé optimisé sur les températures

Annexe 6 : Scénarios d'arrêts programmés du site 6

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/04 - 30/04	D'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil	5,5	7
1/05 - 31/05		11	8
1/06 - 30/06		8,5	11
1/07 - 31/07		8	14
1/08 - 31/08		8	14
1/09 - 30/09		6,5	14
1/10 - 31/10		9	11
1/11 - 30/11		10	7

Arrêt programmé optimisé sur la couverture horaire

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/04 - 30/04	4h30 après le coucher du soleil	5,5	7
1/05 - 31/05	6h30 après le coucher du soleil	14	9
1/06 - 30/06	3h après le coucher du soleil	8,5	11
1/07 - 31/07	6h après le coucher du soleil	9	15
1/08 - 31/08	7h après le coucher du soleil	10	14
1/09 - 30/09	8h30 après le coucher du soleil	12	15
1/10 - 31/10	8h30 après le coucher du soleil	15	11
1/11 - 30/11	5h après le coucher du soleil	8	7

Arrêt programmé optimisé sur les vitesses de vent

Période	Cycle jour/nuit Couverture horaire	Vitesse de vent (à hauteur de nacelle) inférieure à ... m/s	Température supérieure à ... °C
1/04 - 30/04	4h30 après le coucher du soleil	5,5	7
1/05 - 31/05	6h30 après le coucher du soleil	12	7
1/06 - 30/06	3h après le coucher du soleil	8,5	11
1/07 - 31/07	6h après le coucher du soleil	8,5	14
1/08 - 31/08	7h après le coucher du soleil	8,5	12
1/09 - 30/09	8h30 après le coucher du soleil	7	12
1/10 - 31/10	8h30 après le coucher du soleil	8	11
1/11 - 30/11	5h après le coucher du soleil	8	7

Arrêt programmé optimisé sur les températures