



Mémoire en réponse à l'avis de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale n°2022APGE109

Décembre 2022

BORALEX

Au-delà

DES ÉNERGIES RENOUVELABLES®



Préambule

Le présent document a pour objet d'apporter une réponse aux remarques et recommandations soulevées par la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (désignée MRAE dans la suite du document) dans son avis relatif au dossier de demande d'autorisation environnementale (ensuite nommé DDAE) du projet éolien de Bonnacourt Chauffourt émis le 29 septembre 2022.

Cette réponse a été rédigée par la société Boralex, avec le support des bureaux d'études Calidris et de l'atelier des Paysages ayant rédigé respectivement les volets naturalistes et paysagers de l'étude d'impact environnementale (EIE dans la suite du document) de la DDAE, pour sa filiale « Boralex Bonnacourt Chauffourt SARL ». **La société Boralex sera nommée « le porteur de projet » dans la suite de ce mémoire.**

Afin de faciliter la lecture du document, le porteur de projet a organisé et repéré les différents points de la réponse en respectant scrupuleusement le plan utilisé par la MRAE dans son avis. Les citations extraites de l'avis de la MRAE seront retranscrites avec un *texte en bleu*.

Le porteur de projet attire l'attention sur le préambule de l'avis MRAE, précisant sa mission « *Il est rappelé ici que cet avis ne porte pas sur l'opportunité du projet mais sur la qualité de l'évaluation environnementale présentée par le maître d'ouvrage et sur la prise en compte de l'environnement par le projet. Il vise à permettre d'améliorer sa conception et la participation du public à l'élaboration des décisions qui portent sur ce projet.* ».

Le porteur de projet regrette, au regard de cet objectif d'amélioration affiché, que cet avis intervienne si tard dans la procédure d'examen d'un projet éolien, trois ans après le dépôt du dossier complet, plus de six ans après le commencement des études.

Présentation du projet

Le projet éolien de Bonnecourt Chauffourt est composé de 6 éoliennes d'une puissance pouvant aller de 3 MW à 3,45 MW, d'un rotor compris entre 122 m et 130 m pour une hauteur totale de 150 m. Le parc éolien sera ensuite raccordé au réseau électrique via 2 postes de livraisons.

La production annuelle de ce projet serait d'environ 40 à 45 GWh, permettant :

- D'alimenter annuellement l'équivalent de 10 730 foyers français en électricité, hors chauffage
- D'éviter l'émission de 3 260 tCO₂ chaque année

L'implantation du projet est localisée dans le département de la Haute-Marne en région Grand-Est, sur les communes de Bonnecourt et de Chauffourt.

Le projet a été déposé le 26 février 2019 en préfecture de Haute-Marne. Les compléments, demandés le 24 septembre 2019 ont été retournés le 17 mars 2021. L'avis de la MRAE auquel ce mémoire fait référence a donc été formulé sur la base de ce dossier.

Synthèse de la réponse du porteur de projet

La MRAE reconnaît la qualité des études du porteur de projet notamment l'étude paysagère qui est qualifiée de très complète et de bonne qualité. Elle émet toutefois un doute quant à l'opportunité de développer un projet éolien dans l'unité paysagère des collines et lacs de Langres. Par ailleurs, elle remet en question certains points du dossier notamment sur ses aspects biodiversité et acoustique. Aussi, elle recommande au préfet de ne pas autoriser le projet tant que sa localisation n'aura pas été reconsidérée.

Le porteur de projet est convaincu que son dossier comporte une analyse détaillée de l'ensemble des sujets relevée par la MRAE et que l'ensemble des risques concernés par le choix d'implantation du site ont été bien appréhendés et anticipés sans qu'il soit nécessaire de revoir la zone d'implantation. Chaque point relevé par la MRAE sera repris ci-dessous et des mesures complémentaires sont proposées afin de palier à l'ensemble des enjeux concernés.

Enfin, le porteur de projet tient à rappeler la durée excessivement longue de l'instruction du projet éolien de Bonnecourt-Chauffourt et à remettre en perspective cette instruction dans le contexte de crise énergétique actuel.

PRÉAMBULE	3
PRÉSENTATION DU PROJET	4
SYNTHÈSE DE LA RÉPONSE DU PORTEUR DE PROJET	4
A. SYNTHÈSE DE L'AVIS.....	6
B. AVIS DÉTAILLÉ.....	9
1. LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DÉCARBONÉE ET SON CARACTÈRE RENOUVELABLE.....	9
2. ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'ÉTUDE D'IMPACT ET DE LA PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT PAR LE PROJET.....	11
2.1 <i>Les milieux naturels et la biodiversité</i>	11
2.1.1 Environnement et choix du site	11
2.1.2 Éloignement des lisières boisées	15
2.1.2. La garde au sol inférieure à 30 mètres	18
2.1.3. Une implantation dans un ou des couloirs de migration	19
2.1.4. Focus sur certaines espèces protégées et patrimoniales : le Milan royal	19
2.2 <i>Le paysage et les covisibilités</i>	23
2.3 <i>Les Nuisances sonores</i>	27
CONCLUSION	28
ANNEXE	29

A. Synthèse de l'avis

Dans son introduction, la MRAE propose un mode de calcul régional des foyers alimentés par la production du parc « *...l'équivalent de la consommation électrique moyenne annuelle d'environ 10 730 foyers (environ 6 700 selon l'Ae²). ² La consommation électrique moyenne annuelle d'un ménage dans le Grand-Est est de 6,6 MWh : source INSEE (pour le nombre de ménages en Grand-Est & SRADDET Grand Est (pour la consommation électrique moyenne des ménages en Grand Est).* ». Les deux résultats sont bons et ne s'opposent pas :

Les calculs du porteur de projet ont été faits avec la méthodologie proposée par l'ADEME (2015 « impacts environnementaux de l'éolien français » et « analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ») qui rapporte la production d'électricité à la consommation moyenne d'un foyer français. Ceux de la MRAE ont été faits en rapportant la production d'électricité à la consommation moyenne d'un foyer du Grand-Est. S'il est très intéressant d'analyser les impacts à des échelles locales, la stratégie énergétique dans laquelle s'inscrit la production d'électricité éolienne est à minima nationale, voire européenne avec les interconnexions des réseaux électriques. Le porteur de projet a donc estimé qu'il était plus pertinent de lier la production du parc avec la consommation nationale.

Plus de précisions sur les calculs d'équivalence et la production d'électricité décarbonée seront apportées en partie 2.1 de cette réponse.

Ensuite, la MRAE indique avoir identifié et ciblé trois enjeux majeurs au projet.

Il s'agit tout d'abord du choix d'implantation du projet, réalisé « *au sein d'une zone incompatible à l'éolien selon l'étude sur la « capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne ». En particulier, le projet étant situé à seulement 3 km du belvédère de Ségrey et les pales étant plus hautes que les observateurs, elles vont créer un point d'appel particulièrement prégnant dans le paysage et concurrencer très fortement la lecture du paysage ouvert actuel* »

L'étude paysagère comprise dans le dossier a été qualifiée comme étant de très bonne qualité par la MRAE elle-même. Les lignes de crêtes sont respectées, l'insertion est réussie et l'impact sur la ville de Langres est minime. Quant à la visibilité des éoliennes depuis le plateau du Segré, le dimensionnement des machines ainsi que le recul par rapport au bourg permet des rapports d'échelle acceptables. Des mesures d'information ainsi qu'une table d'orientation sont également prévues sur le belvédère de Segré. L'ensemble des sensibilités paysagères ont été intégrées dans l'étude afin de limiter les impacts du projet de Bonnacourt Chauffourt.

Le second enjeu majeur identifié par la MRAE porte sur l'insuffisance de l'analyse de l'état initial « *alors que les incidences potentielles sur les oiseaux (avifaune), en particulier le Milan royal et les chauves-souris sont importantes. En effet, plusieurs espèces patrimoniales d'oiseaux et de chauves-souris sont présentes sur le site pendant leurs différents cycles de vie. Certaines éoliennes s'implantent à moins de 200 m des lisières boisées qui constituent pour ces espèces des zones de chasse privilégiées. La garde au sol des machines est par ailleurs inférieure à 30 m sans qu'une étude spécifique ne montre que celle-ci ne génère pas de risque supplémentaire pour les oiseaux et les chauves-souris.* »

Le porteur de projet est convaincu que son dossier, basé sur une analyse multicritère minutieuse, menée de concert avec ses partenaires, a permis d'élaborer un projet ayant le moins d'impact possible pour le territoire d'accueil.

L'ensemble des risques ont été appréhendés et les éventuelles insuffisances qui pourraient subvenir malgré toutes les précautions prévues dans le dossier, seront compensées par des bridages complémentaires suivant les résultats des mesures de suivi en phase d'exploitation.

Enfin, le troisième et dernier enjeu majeur identifié par la MRAE porte sur la question des résultats de l'étude acoustique. « *Les résultats de l'étude font apparaître un risque de dépassement des seuils réglementaires pour les phases nocturnes.* »

Le porteur de projet s'engage à respecter la réglementation relative aux nuisances sonores dès la mise en service du parc. Une réception acoustique aura lieu pour éventuellement réajuster les bridages mis en place.

Les recommandations principales de la MRAE sont les suivantes :

- « *dans son obligation de présenter les solutions de substitution raisonnables et la justification environnementale de son projet, reconsidérer l'implantation de son projet dans un secteur compatible à l'éolien au regard des résultats de l'étude sur la « capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne »* »

Comme développé plus longuement dans les paragraphes ci-dessous, L'étude sur la capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne n'est pas réglementaire et ne peut s'opposer à la réalisation d'une étude paysagère fiable et d'une qualité indéniable. Le volet paysager du porteur de projet a fortement pris en compte l'ensemble des éventuels impacts du projet sur le paysage. Des mesures d'insertion, de choix d'implantation, d'orientation et d'information ont été prises afin d'harmoniser le projet dans son environnement. Ce volet paysager démontre la possibilité de s'intégrer dans le paysage environnant le site bien que le guide départemental juge cette zone incompatible avec l'éolien. En ce sens, le porteur de projet n'envisage pas de reconsidérer le choix d'implantation du site.

- « *déposer une demande de dérogation au titre des espèces protégées, en application de l'article L.411-2 du code de l'environnement, avec des mesures complémentaires, car la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC) n'est actuellement pas satisfaisante pour qu'une telle dérogation soit accordée* »

L'étude d'impact réalisée sur le site de Bonnacourt Chauffourt démontre que l'impact est résiduel et maîtrisé et que les effets négatifs sont « évités ou suffisamment réduits » selon les termes de l'article R-122-5 du code de l'environnement. Dans ce contexte et comme l'a confirmé la cour administrative d'appel de Lyon le 14/04/2022 "SARL Boralex Massif du Devès c/Ministère de la transition écologique" aucune demande de dérogation aux interdictions d'atteinte aux espèces protégées n'est nécessaire.

- « *Réaliser une étude acoustique qui démontre dès la mise en service le respect des valeurs réglementaires relatives aux nuisances sonores en présentant les mesures prises* »

Ce point a été abordé plus haut et sera détaillé dans le paragraphe dédié ci-dessous.

Par conséquent, « *L'AE recommande au Préfet de ne pas autoriser le projet tant que le pétitionnaire n'aura pas reconsidéré sa localisation.* »

Au regard des éléments apportés dans le présent document en réponse à l'avis de la MRAE, le porteur de projet considère que la localisation du projet n'est pas problématique et que les mesures prises afin d'éviter, réduire et compenser les impacts ciblés sont suffisantes. Le porteur de projet estime que son dossier est suffisamment complet pour fonder une réponse positive de l'administration à sa demande d'autorisation.

B. Avis détaillé

1. La production d'électricité décarbonée et son caractère renouvelable

La MRAE introduit cette partie avec l'aspect régional/national du calcul du nombre de foyers alimentés « *L'Ae recommande au pétitionnaire de: Régionaliser ses calculs d'équivalence de consommation électrique;* ».

Pour reprendre la réponse fournie en synthèse de ce mémoire, les deux calculs sont bons et indiquent respectivement que le parc alimentera l'équivalent de 10 730 foyers français ou 6 700 foyers du Grand-Est.

Du point de vue du porteur de projet, la stratégie énergétique est nationale. Si les impacts négatifs potentiels du projet sont locaux, l'intérêt de la production d'électricité profitera à l'ensemble du pays, ce qui rend l'équivalence nationale plus intéressante.

De plus, la production d'électricité dans le Grand-Est est très largement excédentaire depuis des années, comme on le voit sur le graphique ci-dessous pour 2021. Aujourd'hui, les nouvelles unités de production d'électricité en Grand-Est permettent principalement d'alimenter le reste du pays.

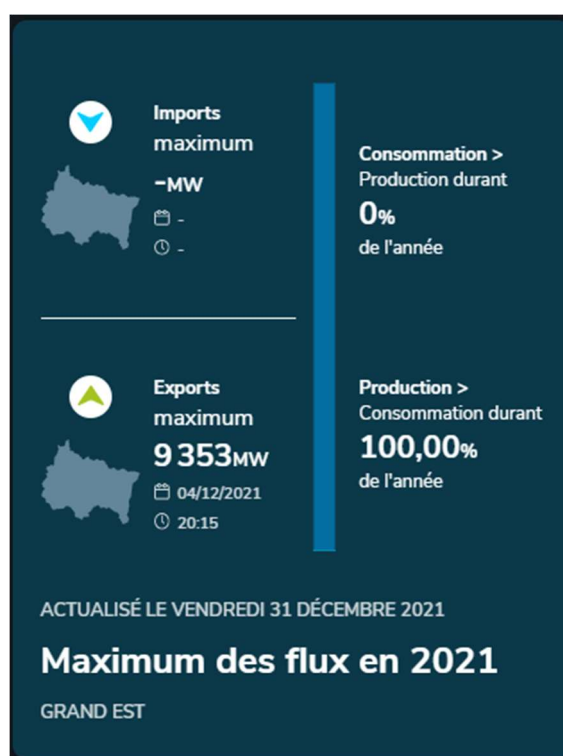


Figure 1 : Flux d'électricité du Grand-Est - Source : RTE

Pour le bilan du cycle de vie complet et l'estimation du temps de retour de l'installation au regard de l'émission des gaz à effet de serre, la MRAE recommande de : « *préciser le temps de retour énergétique de l'installation, en prenant en compte l'énergie utilisée pour le cycle de vie des éoliennes et des équipements (extraction des matières premières, fabrication,*

installation, démantèlement, recyclage) et celle produite par l'installation, et selon la même méthode, préciser celui au regard des émissions des gaz à effet de serre. »

L'ADEME a étudié en 2015 l'impact environnemental de l'éolien français. Cette étude comprenait une analyse du cycle de vie (ACV) de l'éolien basée sur des données du parc français en 2013 et comprenant 3658 éoliennes pour une capacité totale de 7111 MW, le champ d'étude de l'ACV allant de la fabrication des composants de l'éolien jusqu'à la fin de vie des machines.

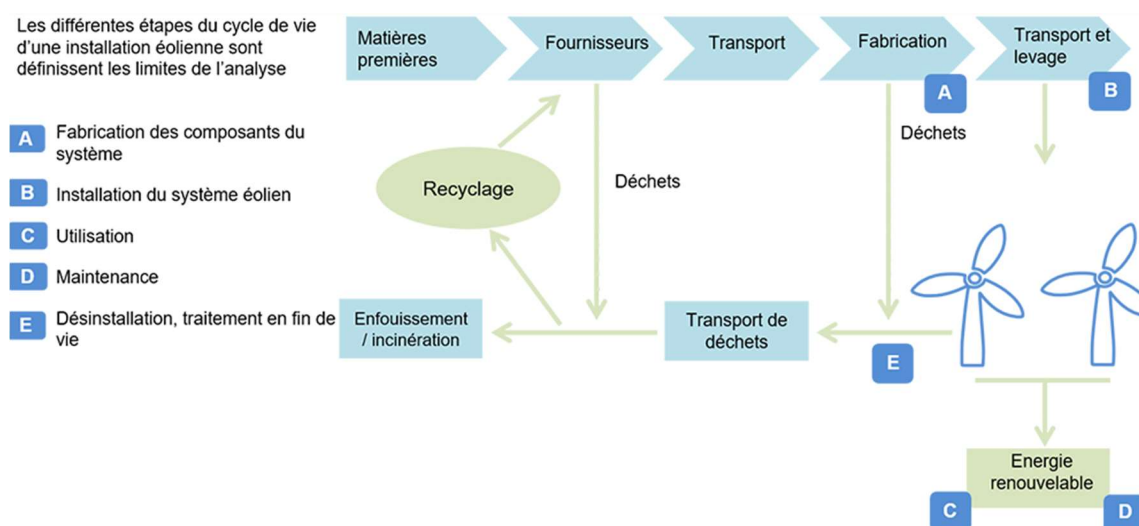


Figure 2 : Impact environnemental de l'éolien - Source : ADEME

Cette étude nous apporte deux informations intéressantes sur l'ACV de l'éolien permettant de répondre à la remarque de la MRAE.

- **Le temps de retour énergétique** qui permet de déterminer en combien de temps l'éolienne produit la quantité d'énergie qu'elle a consommé au cours de son cycle de vie
- **Le facteur de récolte** qui permet de connaître le nombre de fois où la turbine a produit la quantité d'énergie qu'elle a consommé au cours de son cycle de vie

Les conclusions de cette étude ont démontré un temps de retour énergétique estimé à 12 mois et un facteur de récolte de 19 pour l'éolien terrestre. Le taux d'émission de CO2 est estimé à 12,7g CO2 eq/kWh et le taux d'émission de particule à 0,01 g PM2,5eq¹.

Ces résultats permettent de placer l'éolien nettement en deçà des chiffres moyen du mix énergétique français ou européen.

Ces données, relativement anciennes par rapport aux nouvelles éoliennes utilisées aujourd'hui, permettent toute de même d'avoir une idée générale de l'impact de l'éolien terrestre sur l'environnement.

¹ PM2,5 eq est l'unité de mesure des particules en suspension dans l'atmosphère, appelées également « particules fines », dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres.

2. Analyse de la qualité de l'étude d'impact et de la prise en compte de l'environnement par le projet

2.1 Les milieux naturels et la biodiversité

2.1.1 Environnement et choix du site

La MRAE pointe le choix du site d'implantation en rappelant :

« le projet se situe à proximité d'une grande entité écologique, le plateau de Bassigny, lequel constitue un lieu d'accueil de qualité pour les oiseaux (avifaune), et notamment pour le Milan Royal »

Le porteur de projet connaît parfaitement l'enjeu de ce plateau sur lequel il exploite et fait suivre le parc éolien de Bassigny depuis 2009. Les suivis mortalités et activités réalisés dans le passé par le CPIE Sud Champagne ainsi que ceux actuellement en cours sur ce parc n'ont jamais relevé de cas de mortalité de Milan royal. Par ailleurs, sur ce parc de Bassigny, le porteur de projet est en train de mettre en place un système de détection automatisé de l'avifaune afin de compléter sa connaissance de l'activité.

Le porteur de projet a conçu son projet de Bonnacourt-Chauffourt et les mesures ERC associées en prenant en compte les enjeux liés aux Milans Royaux.

« Au sein de ce plateau, est également répartie une centaine de mares fonctionnant en réseau, dont plusieurs se situent au sein même du site d'études. Cette situation interroge également sur le choix du site car ces milieux humides sont sujets à présence d'une riche biodiversité (sites de nourrissage pour les oiseaux et les chauves-souris). »

L'étude d'impact recense plusieurs mares et mardelles, notamment dans les zones répertoriées ZNIEFF 1, et remarque que plusieurs de ces mares ont aujourd'hui disparu par comblement (*page 78 de l'étude d'impact, fichier 4.3a – volet écologique*).

Dans la zone d'étude du projet, l'étude d'impact a permis de recenser neuf mares qui ont toutes été classées par un niveau d'enjeu fort en raison de leur susceptibilité d'abriter deux espèces protégées : la Pulicaire commune et la Petite Utriculaire.

En phase de chantier, ces zones auront une sensibilité forte. Toutefois, aucun impact n'est attendu sur ces zones d'habitat car les secteurs de mares ont été évités.

Par ailleurs, chacune des éoliennes est éloignée de plus de 300m des mares (*page 340 de l'étude d'impact, fichier 4.3a – volet écologique*).

Aussi, il ressort de l'étude d'impact que les zones sensibles telles que les mares ont été entièrement prises en compte et qu'elles constituent un enjeu qualifié de fort par l'EIE. Toutefois, l'implantation des éoliennes a été réfléchi de façon à ce que les impacts soient considérés et évités, notamment par une distance d'éloignement de 300m aux mares.

« Le projet se situe également à proximité de plusieurs vallées (Meuse, Marne, Apance, Amance, Mouche), associées ou non à des coteaux et des massifs forestiers. Ces entités abritent une avifaune diversifiée, inféodée aux milieux en présence, avec pour chacun d'eux plusieurs espèces patrimoniales. Il est à noter en particulier la présence de nombreux sites Natura 2000 autour du projet dont les plus proches sont à 1 km et 3 km, respectivement

d'intérêt pour les chauves-souris et les oiseaux (Milan royal) qui peuvent être impactés par le projet. »

Le porteur de projet rappelle qu'une étude d'impact doit être « *proportionnée à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet en fonction de l'importance et de la nature des travaux, installations, ouvrages ou autre intervention dans le milieu naturel ou le paysage projeté et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement* » tel que le prévoit l'article **R122-5 du code de l'environnement**.

Cet article précise également que l'étude d'impact doit contenir « *une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement* ».

Aussi, c'est bien la notion d'impact qui prévaut et non la proximité avec des éventuels enjeux potentiels. Dans ce contexte, un projet peut avoir un impact nul sur un enjeu fort et inversement, un impact très important sur un enjeu qualifié de faible. C'est en ce sens et à cette fin qu'intervient la réalisation de l'étude d'impact.

Par ailleurs, le porteur de projet rappelle également que la zone d'implantation du projet a été choisie, entre autres, parce qu'elle ne figurait pas dans une zone règlementaire type Natura 2000. Toutefois et afin d'être exhaustif sur les éventuels impacts de son projet, le volet naturaliste du projet éolien de Bonbecourt Chauffourt comporte un chapitre relatif à l'étude d'incidences Natura 2000. Cette étude conclue à une absence manifeste d'effet du projet sur la conservation des espèces et des habitats qui ont permis la désignation des sites Natura 2000 (fichier 4.3b « incidences Natura 2000 », page n°43)

« L'Ae regrette que l'état initial ne soit pas suffisamment développé et analysé, notamment les inventaires de l'avifaune en migration sont restreints à l'aire d'étude immédiate. Cela ne permet pas l'identification des couloirs de migration préférentiels dans le secteur, et donc d'évaluer l'impact fonctionnel du choix de la zone d'implantation sur la faune volante. »

Pour l'avifaune, ce sont 43 jours d'inventaires qui ont été réalisés sur le site. Ce qui dépasse largement les attentes de la DREAL formulées dans le guide de 2021 « recommandations pour la constitution des dossiers de demande de dérogation environnementale de projets éoliens » qui ne demande la réalisation que de 20 journées d'inventaires.

Concernant le suivi de la migration des points ont été réparties dans la ZIP, permettant l'observation d'un front de migration large de plus de 4 kilomètres. Il ne peut pas être demandé aux développeurs des études sur des territoires aussi étendus que ce que propose l'AE.

En effet, les études doivent être proportionnées à l'enjeu du site et aux impacts attendus du projet. Réaliser des suivis de migration à très grande échelle sort complètement de la proportionnalité attendue.

Enfin, il convient, dans le cadre d'une étude d'impact, d'avoir l'information la plus fine possible sur le site d'implantation potentielle pour évaluer les impacts. Connaître le passage migratoire à 5 kilomètres ne permettra pas de connaître l'impact du projet sur le site.

La dispersion de l'effort d'inventaire contribuera au contraire à faire baisser le niveau de connaissance sur le site.

« Malgré les enjeux chiroptères importants relevés sur l'aire d'étude, aucune écoute en hauteur n'a été réalisée. »

Des écoutes en altitude ont été entreprises sur le site sur un mât de mesure, néanmoins le mât ayant été détruit, il n'a pas été possible de poursuivre les écoutes. Afin de récolter des

données de l'activité des chiroptères en altitude malgré l'absence de mât de mesure sur site, le porteur de projet a installé un micro à la canopée du boisement le plus proche du projet pendant 1 an. Bien que moins haute que le mat de mesure, la perche en canopée reste une étude en altitude et présente un fort intérêt pour connaître l'activité sur la partie basse des rotors d'éoliennes. Il est même fort probable que l'activité relevée à la canopée d'un boisement soit supérieur à l'activité de la plaine agricole limitrophe, majorant la sensibilité du site d'étude.

Ces écoutes ont permis de proposer un plan de bridage qui pourra être affiné selon les résultats de la première année de suivi.

« Le site du projet se trouve à proximité de sites connus de nidification du Milan royal. L'espèce a par ailleurs été régulièrement observée lors des inventaires. Les recherches sur cet oiseau ne sont pas suffisamment approfondies aux alentours du projet »

Sur ce point, plusieurs données figurent dans l'étude d'impact permettant de se rendre compte que le projet éolien n'est pas incompatible avec la présence du Milan royal.

En effet, deux années de recherche ont été nécessaires pour étudier l'activité de cette espèce sur le site. Une étude spécifique Milan royal a d'ailleurs été conduite dans un périmètre de 10 kilomètres autour de la ZIP, ce qui peut d'ailleurs être discuté si on se rapporte à la notion de proportionnalité exigée par la loi.

Ces deux années ont permis la localisation certaine ou probable de plusieurs nids, de zone de chasse et de déplacement. Toutes ces informations étant bien cartographiées dans l'étude d'impact.

Par ailleurs les données bibliographiques ont été utilisées pour localiser les nids connus à une distance de 25 kilomètres de la ZIP.

Pour rappel, les mesures en faveur du Milan royal prévues dans l'étude d'impact sont les suivantes :

- Phase de travaux :
 - Adaptation de la période de travaux sur l'année
(ME-2 p.381 volet écologique n°4.3a)
 - Coordinateur environnemental de travaux
(ME-3 p.382 volet écologique n°4.3a)
- Période d'exploitation :
 - Éviter d'attirer la faune vers les éoliennes
(ME-4 p.383 volet écologique n°4.3a)
 - Bridage des éoliennes
(MR-2 p.386 volet écologique n°4.3a)
 - Bridage en période de fenaison
(MR-3 p.390 volet écologique n°4.3a)
 - Réduire le risque de collisions des oiseaux grâce à un système d'effarouchement (MR-4 p.391 volet écologique n°4.3a)
 - Attraction du Milan royal en dehors du parc éolien
(MR-5 p.392 volet écologique n°4.3a)

Ces mesures permettront de limiter l'impact du projet à un niveau résiduel.

Par ailleurs, plusieurs études démontrent que la présence du Milan royal n'est pas incompatible avec la présence d'un parc éolien. La population de Milan royal est en expansion depuis dix ans, notamment en France et dans le Grand Est où on peut noter une augmentation

record des effectifs² et l'augmentation des parcs éolien n'a pas d'impact sur la démographie de l'espèce. La France est le deuxième bastion de nicheurs derrière l'Allemagne où la présence des éoliennes est pourtant presque trois fois plus importante qu'en France. Il en va de même pour les hivernants, deuxième bastion mondial derrière l'Espagne.

Le graphique suivant recense les comptages de Milans royaux en France de janvier 2007 à 2022 et met en évidence l'augmentation des effectifs de cette espèce :

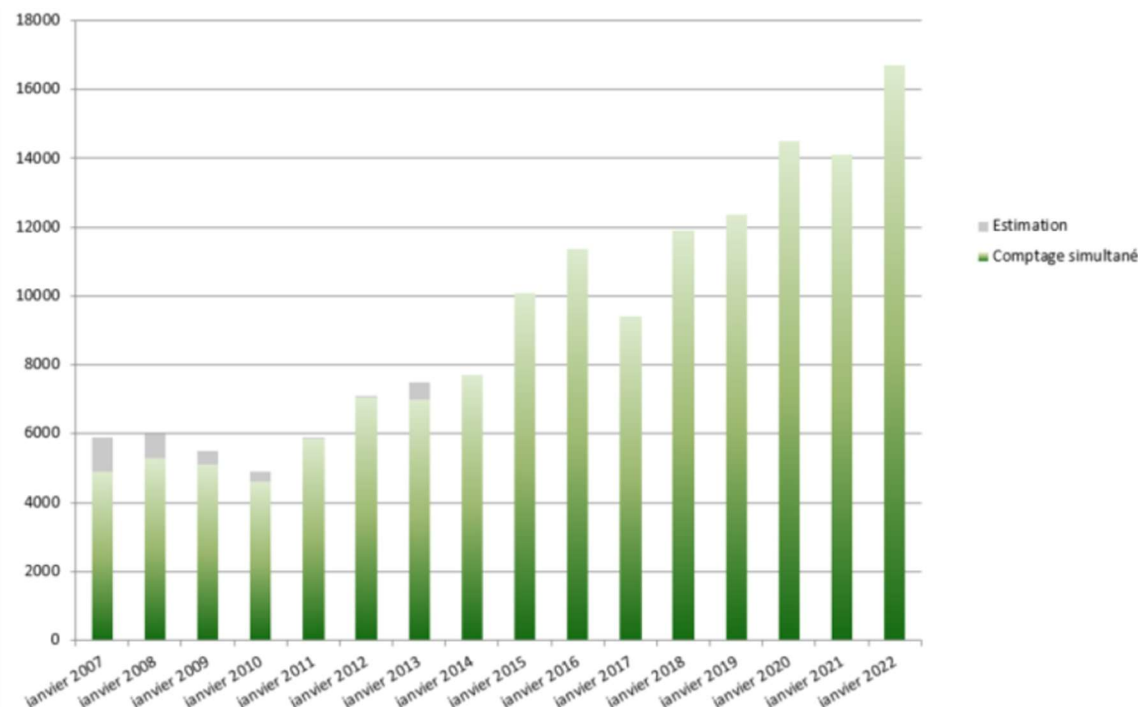


Figure 3 : Hivernage du Milan royal en France au cours des comptages simultanés de janvier 2007 à 2022 – Source : LPO (https://rapaces.lpo.fr/sites/default/files/milan-royal/4158/bilan_hivernage_france_milan_royal_2022v2.pdf)

À l'échelle nationale, si l'on rapporte les données de l'évolution du parc éolien à celle des effectifs hivernants, cela donne la figure suivante :



Figure 4 : évolution du parc éolien avec les effectifs de Milans royaux à l'échelle nationale

² Milan info n°42 & 43 – décembre 2021 – Bulletin de liaison des acteurs de la sauvegarde du Milan Royal en France, Ligue de Protection des Oiseaux

A l'échelle régionale cette fois, si l'on rapporte les données de l'évolution du parc éolien à celle des effectifs hivernants, cela donne la figure suivante :

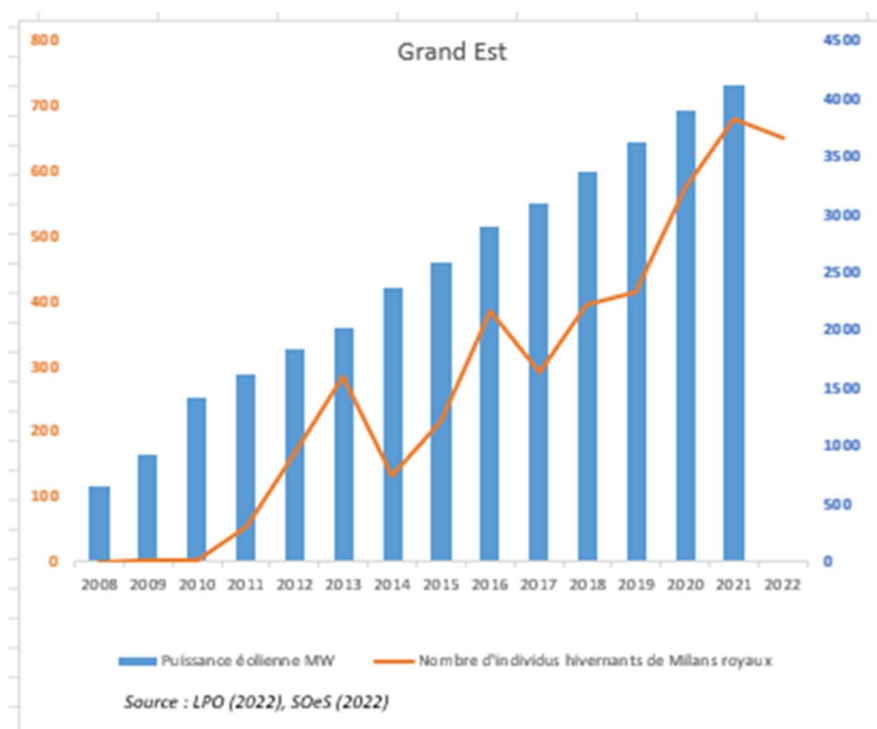


Figure 5 : évolution du parc éolien avec les effectifs de Milans royaux à l'échelle régionale

Ces graphiques mettent en perspective l'augmentation de la puissance du parc éolien français avec l'augmentation du nombre d'individus de Milans royaux hivernant. Réalisés à l'échelle nationale puis régionale, ils permettent de constater que l'augmentation des parcs éoliens n'a pas d'incidence sur les effectifs des Milans royaux.

Enfin, il est important de rappeler que l'éolien n'est que la 7^{ème} cause de mortalité du Milan royal, loin derrière les empoisonnements, la circulation routière, la chasse et les lignes électriques. Cette donnée est issue du projet de recherche de la Commission Européenne publié en mars 2022 visant à déterminer les principales causes de mortalités de ces rapaces, causé par l'homme³.

« En conclusion, ces points constituent des manques majeurs de l'état initial pour disposer d'une évaluation complète des impacts du projet sur la biodiversité. »

La conclusion de l'AE n'est pas recevable en raison des éléments évoqués précédemment.

2.1.2 Éloignement des lisières boisées

« L'AE rappelle que les zones boisées et les haies constituent des zones de nourrissage préférentielles des chauves-souris et des oiseaux, et qu'elles sont de fait à éviter ou qu'il convient de s'en éloigner. Alors que les recommandations du schéma régional de l'éolien

³ « Un projet de recherche de l'Union européenne confirme que le milan royal et l'éolien font bon ménage » - Suisse Eole (suisse-eole.ch)

(SRE) Champagne Ardenne et du document Eurobats font état d'un éloignement minimal entre éoliennes et lisières boisées ou haies de 200 mètres en bout de pale, le dossier fait état d'éloignements très inférieurs dont 2 éoliennes (E5 et E6) sont situés à moins de 100 m de boisements en bout de pales. »

« L'AE recommande au pétitionnaire de proposer une implantation de ses éoliennes à plus de 200 m en bout de pale de toute lisière boisée ou haie. »

Deux des éoliennes du projet sont implantées à moins de 200 mètres des lisières boisées qui peuvent constituer des zones de chasse privilégiées pour certaines espèces d'oiseaux et de chauve-souris.

Les recommandations Eurobats pour les chiroptères définissent une distance d'éloignement de 200 mètres entre les lisières boisées, les haies et les éoliennes.

Toutefois, s'il est admis que la proximité des éoliennes avec les haies et lisières peut être mise en lien avec l'augmentation de la mortalité des chauves-souris (Brinkmann, 2010), des travaux de Calidris (Delprat, 2017) ont démontré que la plus grande partie de l'activité se déroule à **moins de 50 mètres** des lisières de haies comme déjà rapporté dans une autre étude (Kelm et Al., 2014) et qu'au-delà de cette distance, l'activité des chiroptères est considérée comme très faible (Jantzen et Fenton, 2013).

Au-delà de la distance de 50m, le risque de collision est estimé comme modéré. Toutefois étant donné l'activité de certaines espèces dans les autres habitats sur le site d'étude, l'ensemble des zones situées au-delà de 200 mètres sont également considérées en sensibilité modérée. (5.6 zonages des sensibilités pour les chiroptères, p.324 volet écologique 4.3a)

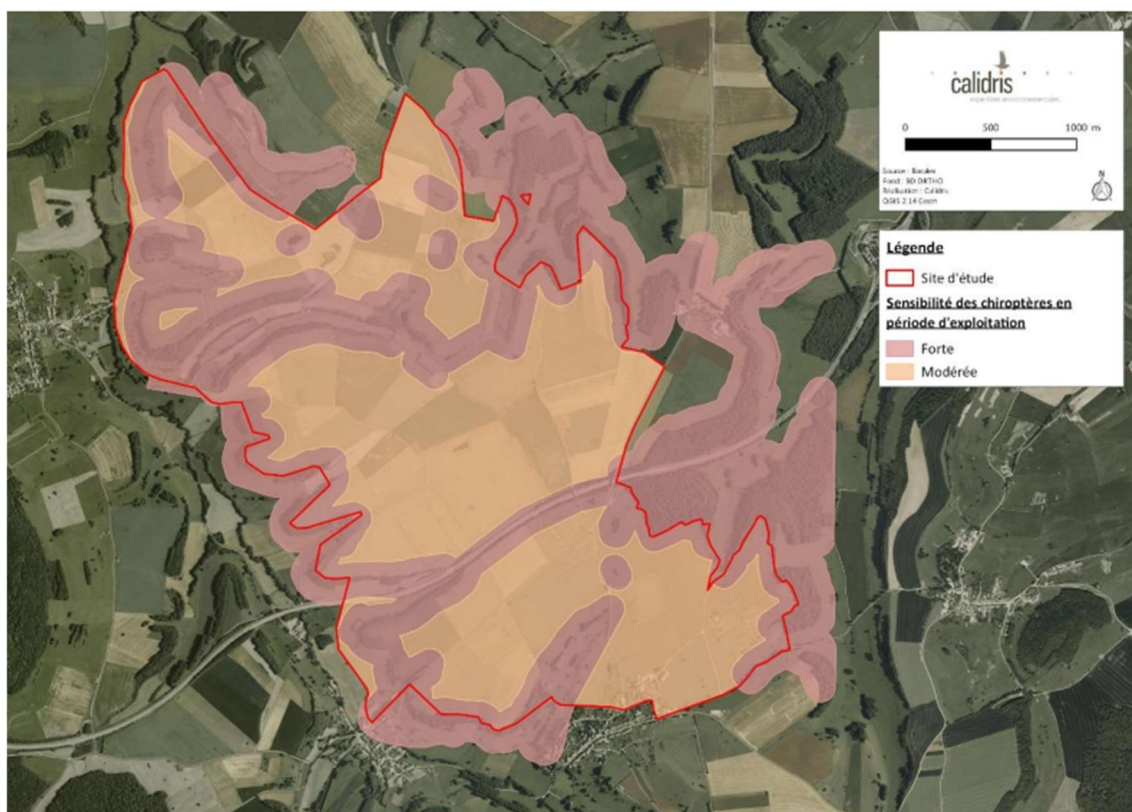


Figure 6 : Zonage des sensibilités des chiroptères en phase d'exploitation après calcul pour le gabarit le plus impactant, (Carte 54 de l'EIE, p.330, volet écologique n°4.3a)

Par ailleurs, comme cela a été démontré dans l'étude, les risques de collisions pour les chiroptères ne sont pas uniquement liés à la proximité des lisières et des secteurs de zones ouvertes peuvent être utilisés par ces espèces.

Enfin, en ce qui concerne les oiseaux, et notamment le Milan royal, celui-ci s'affranchit complètement des éléments boisés et chasse très loin dans les habitats ouverts.

« Par ailleurs, tout en déplaçant les éoliennes comme recommandé précédemment, l'AE considère en complément que les mesures ERC en faveur des chauves-souris doivent être renforcées. »

Les mesures prévues, dans l'étude d'impact, en faveur des chauves-souris sont les suivantes :

Mesure d'évitement :

- Prise en compte des enjeux environnementaux dans la localisation des implantations et chemins d'accès
- Adaptation de la période de travaux sur l'année
- Coordinateur environnemental de travaux
- Éviter d'attirer la faune vers les éoliennes
- Remise en état du site après démantèlement

Mesures de réduction :

- Éclairage nocturne du parc compatible avec les chiroptères
- Bridage des éoliennes :
 - Arrêt de toutes les éoliennes 30 minutes avant le coucher du soleil et 30 minutes après le lever du soleil, entre le 1^{er} juillet et le 30 août lorsque les conditions météorologiques sont les suivantes :
 - ✓ Une température supérieure à 10°C
 - ✓ Un vent dont la vitesse à hauteur de nacelle est inférieure à 6m/s
 - ✓ Une absence de pluie ou de brouillard
 - Des mesures de suivi de l'activité et de la mortalité permettront d'adapter et de renforcer si besoin les mesures de bridage.

Ces mesures sont celles qui présentent le meilleur compromis entre la diminution du risque de mortalité des chauves-souris et la minimisation des pertes économiques induit par le bridage des éoliennes.

« L'AE recommande en complément au pétitionnaire de :

• prévoir un matériau défavorable au développement de la végétation aux abords immédiats des éoliennes ;

Le porteur de projet rappelle qu'une mesure pour contrôler la végétation au niveau des plateformes de chacune des éoliennes est déjà prévue dans l'étude d'impact.

(ME-4 « éviter d'attirer la faune vers les éoliennes » p.383 volet écologique n°4.3a)

• mettre en drapeau les éoliennes lorsque la vitesse du vent est insuffisante pour produire de l'énergie. »

Le porteur de projet rappelle qu'un bridage est prévu pour les vitesses de vent inférieur à 6m/s. Ce qui concerne toutes les vitesses de vent inférieur à 6m/s, même les vitesses de vent qui ne permettent pas de produire, cette mesure est donc déjà prévue dans l'étude d'impact.

(MR-2 « Bridage des éoliennes » p.386 volet écologique n°4.3a)

Le porteur de projet s'engage à appliquer cette recommandation et à mettre systématiquement les éoliennes en drapeau lorsque le vent est inférieur à 6m/s.

2.1.2. La garde au sol inférieure à 30 mètres

Dans cette partie, la MRAE relève que « *Quel que soit le modèle retenu parmi les 3 modèles envisagés, la garde au sol sera inférieure à 30 m. Selon le gabarit envisagé, la garde au sol variera de 28 m à 20 m. L'AE recommande au pétitionnaire de choisir un modèle d'éolienne qui respecte une hauteur de garde au sol de 30 m minimum ou présenter les arguments, notamment environnementaux, qui l'ont conduit à choisir un modèle qui ne respecte pas cette prescription : montrer qu'il n'a aucune incidence sur la mortalité de la faune volante et présenter les mesures envisagées pour éviter cette mortalité induite par la faible garde au sol.* »

Il n'existe aujourd'hui aucune étude démontrant une hausse significative des niveaux d'impacts précisément à ce seuil de 30m.

Toutefois et afin de palier au risque de collision lié à la garde au sol, différents bridages sont mis en place pour les chiroptères et l'avifaune.

- **Un bridage relatif aux éclairages des éoliennes** (MR-1, p.385 volet écologique 4.3a)
Permettant de réduire de 97% la mortalité des chauves-souris soit une réduction de 98 à 2 individus morts en une seule année.
- Un bridage de toutes les éoliennes : (MR-2, p.386 à 389, volet écologique n°4.3a)
 - **selon la vitesse du vent** : Un bridage lorsque la vitesse de vent à hauteur de nacelle est inférieure ou égale à 6m/s, permettant de réduire la mortalité de 44 à 93%
 - **en fonction de l'activité horaire** : un bridage prévu 30 minutes avant le coucher du soleil jusqu'à 30 minutes après le lever du soleil, période pendant laquelle l'activité des chiroptères est la plus importante.
 - **En fonction de la température** : l'activité des chiroptères étant grandement influencée par les températures, le bridage sera effectif lorsque la température sera égale ou supérieure à 10°C à hauteur de nacelle.
 - **En fonction de la saison** : bridage effectif entre le 1^{er} juillet et le 30 août, en l'absence de précipitation.

Ces mesures, conçues pour les chiroptères, sont également favorable à l'avifaune, notamment aux rapaces nocturnes ou encore aux passereaux migrant de nuit.

En fonction des résultats de suivis post-implantation, des adaptations pourront être apportées sur la mise en œuvre de ces mesures.

- **Un bridage en période de fenaison** : cette mesure, prévue sur l'ensemble des éoliennes, consiste à arrêter les machines pendant trois jours en comptant le premier jour de la fenaison. Les machines seront mises à l'arrêt en journée (entre 1h après le levé jusqu'à 1h avant le coucher du soleil), le Milan Royal étant inactif la nuit. Cette mesure profitera également aux autres espèces de rapace, laridés et ardélidés.
(MR-3, p.390, volet écologique n°4.3a)

Rappelons également qu'un suivi de mortalité sera réalisé dès la première année de mise en service et que, **si une mortalité non prévue est constatée, alors le porteur de projet s'engage à adapter son bridage pour réduire le nombre de collision.**

Enfin et en plus de ces mesures de bridages, le porteur de projet prévoit diverses mesures de détection automatique de l'avifaune à risque, l'utilisation par exemple de la technologie d'identiFlight, (une technologie anticollision capable à la fois de détecter et d'identifier les oiseaux en vol, ce à des distances parfois considérables. Cette technologie est actuellement utilisée par le porteur de projet sur le parc de coteaux du Blaiseron avec des résultats très positifs) ainsi que des mesures permettant d'attirer le Milan royal en dehors du parc éolien. (MR-4 & MR5, volet écologique n°4.3a)

2.1.3. Une implantation dans un ou des couloirs de migration

Sur ce sujet, la MRAE apporte les remarques suivantes : *« L'AE constate que parmi les 4 variantes envisagées pour le projet, toutes sont implantées perpendiculairement au sens général sud-ouest/nord-est de la migration de l'avifaune. Cette implantation est de plus aggravée par la présence d'autres éoliennes qui viennent impacter ces couloirs de façon cumulée. Elle déplore cette situation et ne peut que recommander au pétitionnaire d'étudier une variante respectant un alignement parallèle aux couloirs migratoires. »*

L'étude d'impact a permis une analyse fine des couloirs de migrations de l'avifaune et des chiroptères et conclue que l'axe d'implantation des éoliennes le plus approprié est celui d'une implantation en ligne nord-est/sud-ouest (p.242, volet écologique n°4.3a).

La variante d'implantation retenue est celle qui, en phase d'exploitation, place les éoliennes dans une zone de sensibilité modérée en période de migration. (p.341, volet écologique n°4.3a)

En effet, aucun élément attractif particulier permettant de concentrer les stationnements migratoires n'est présent sur le site d'étude. De plus, le caractère de la migration est plutôt diffus et les effectifs recensés sont globalement faibles. Aussi, les impacts du projet éolien de Bonnacourt Chauffourt en période de migration seront faibles, mis à part pour le Milan royal.

Pour cette espèce, les impacts bruts sont considérés comme forts pendant la période de reproduction et modérés pendant la période de migration. Des mesures sont détaillées dans l'étude d'impact et reprises dans les réponses suivantes afin d'éviter et réduire l'impact.

Par ailleurs, la variante retenue pour le projet éolien de Bonnacourt Chauffourt prend en compte à la fois l'évitement des impacts potentiels sur la biodiversité mais aussi la réduction de l'impact sur l'aspect paysager du territoire.

2.1.4. Focus sur certaines espèces protégées et patrimoniales : le Milan royal

« Le dossier mentionne la présence forte du Milan royal en périodes de reproduction et de migration dans la zone d'étude. Les mesures ERC visant à limiter tout impact sur cette espèce proposée par l'exploitant consistent à adapter la période de travaux, à arrêter les éoliennes pendant la fenaison et 2 jours après, à mettre en place un système de détection/effarouchement de l'avifaune sur les éoliennes E3 et E4, soit les éoliennes en extrémité nord des 2 lignes du parc et à favoriser l'attraction du Milan royal en dehors du parc éolien. »

La MRAE estime ces mesure insuffisantes et insuffisamment justifiées. Elle émet les recommandations suivantes :

- « *étendre la période sans travaux du 1er mars au 31 août* »

L'étude d'impact prévoit un calendrier des travaux de terrassement et de VRD excluant la période du 1^{er} avril jusqu'au 31 juillet afin de prendre en compte la période de reproduction de la faune. (ME-2, p.381 volet écologique n°4.3a)

Cette extension de la période de travaux contraint grandement le calendrier des travaux et, en fonction des dates d'autorisation et de raccordement, peut décaler également la mise en service d'une durée équivalente à la période neutralisée.

Toutefois, le porteur de projet s'engage à appliquer cette recommandation et à étendre la période sans travaux de terrassement et de VRD du 1^{er} mars au 31 août. Dans la mesure du possible, cette période pourra être réduite après inspection d'un écologue.

- « *préciser et justifier dans quel périmètre s'applique la mesure d'arrêt des éoliennes pendant la fenaison, justifier la durée d'arrêt des éoliennes, caractériser la réduction de mortalité attendue grâce à cette mesure, afin de démontrer sa suffisance* »

Une mesure de bridage en période de fenaison est effectivement bien prévue dans le dossier. (Mesure MR-3 « *bridage en période de fenaison* », p.390 volet écologique 4.3a)

Cette mesure d'arrêt concerne toutes les éoliennes. Une convention sera signée avec les exploitants afin qu'ils préviennent l'exploitant du parc éolien du premier jour de coupe des foin sur les parcelles survolées par les pâles des six éoliennes.

Cette mise à l'arrêt des éoliennes sera réalisée pendant trois jours en comptant le premier jour de la fenaison. La durée d'arrêt des éoliennes est conservatrice.

Des mesures de suivi sont actuellement mises en place sur plusieurs parcs éoliens par le CPIE. L'objectif des suivis est de définir le périmètre d'action de la mesure (distance au mât des champs concernés) ainsi que les durées d'attractivités (temps d'arrêt nécessaire de l'éolienne suite aux travaux).

Le parc éolien des coteaux du Blaiseron, exploité par le porteur de projet, a fait l'objet d'une telle mesure en 2020.

L'application de cette mesure réduira grandement les risques de collision entre les Milans royaux (et les autres rapaces diurnes) et les éoliennes du parc.

Lors de la première année, la mise en place d'un suivi de cette mesure permettra de confirmer son efficacité ainsi que d'adapter les temps d'arrêts en fonction du contexte local si nécessaire.

Ces mesures sont très importantes car l'utilisation de ces zones récemment travaillées comme zone de chasse est notée dans la littérature nationale et locale (DAVID *et al.*, 2017 et MIONNET, 2016). Ces comportements de sensibilité en période de travaux agricoles sont régulièrement notés sur les parcs éoliens champardennais et des cas de mortalité de rapaces référencés dans ce contexte, les rapaces en chasse sont alors moins vigilants quant à la présence des machines.

Il s'agit donc d'un point très important et bien pris en considération par le porteur de projet via l'application des mesures d'arrêt et de suivi pendant ces périodes de fenaison.

« mettre en place le système de détection/effarouchement de l'avifaune sur l'ensemble des éoliennes du parc et réaliser une analyse comparative des observations de terrain faite par un ornithologue avec les résultats de ce dispositif pour apporter la preuve de l'efficacité de ces mesures et les renforcer davantage, le cas échéant :

- ✓ détailler les modalités des mesures mises en œuvre pour l'attraction du Milan royal en dehors du parc et mettre en place un suivi d'efficacité pour s'assurer que le report des populations de cette espèce fonctionne

Le porteur de projet rappelle que les modalités techniques de la mesure sont décrites dans l'étude d'impact ainsi que ses modalités de suivi. Seule la localisation précise est manquante bien qu'une zone soit définie. Cette mesure est donc déjà prévue dans l'étude d'impact.

(MR-5 « Attraction du Milan royal en dehors du parc éolien » p.392 & 393, volet écologique n°4.3a)

- ✓ étendre la durée du suivi de mortalité

L'étude d'impact a démontré que les enjeux présents sur les sites de Chauffourt et de Bonsecourt concernent la période de reproduction et de migration. Pour les Chiroptères, les enjeux sont présents essentiellement en période de reproduction et de transit automnal. Aussi, le suivi mortalité prévu dans l'étude d'impact couvre la période entre fin février et fin octobre (MS-1, p.403, volet écologique n°4.3a)

Toutefois, le porteur de projet partage les recommandations de la MRAE et prévoit d'étendre le suivi de mortalité de la période allant de mars à novembre, soit de la semaine 9 à 46.

- ✓ mettre en place un suivi d'activité recouvrant les périodes de reproduction et de migration

L'étude d'impact prévoit un suivi d'activité des chiroptères en altitude pendant les périodes les plus à risques, à savoir les semaines 27 à 43. (MS-2, p.405, volet écologique n°4.3a)

En ce qui concerne le suivi d'activité de l'avifaune, l'étude d'impact rappelle que selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (Ministère de la transition écologique et de la solidarité, 2018) aucune mesure ni protocole n'est indiqué pour le suivi d'activité de l'avifaune.

Toutefois, le porteur de projet partage les recommandations de la MRAE et prévoit la réalisation d'un suivi d'activité de l'avifaune portant sur la période de mars à novembre soit de la semaine 9 à 46.

Enfin, la MRAE recommande au porteur de projet de « déposer une demande de dérogation au titre des espèces protégées, en application de l'article L.411-2 du code de l'env., avec des mesures complémentaires, car la séquence ERC n'est actuellement pas satisfaisante pour qu'une telle dérogation soit accordée »

La nécessité de déposer une demande de dérogation a été étudiée dans l'étude d'impact et n'a pas été jugée nécessaire au regard des espèces présentes et des mesures ERC mises en place.

En effet, il ressort de cette étude que le risque environnemental du projet éolien de Bonsecourt Chauffourt est résiduel et maîtrisé et on doit constater que les effets négatifs sont « évités ou suffisamment réduits » suivant les termes de l'article R-122-5 du code de l'environnement.

Avifaune :

- Dérangeant en phase de travaux : mise en place d'une mesure de phasage des travaux.

- Risque de collisions du Milan Royal : mise en place d'un système de détection automatique de l'avifaune en période de reproduction et de migration, bridage des éoliennes en période de fenaison, attirer les individus en dehors du parc.

Chiroptères :

- Collision en phase exploitation : mise en place d'un bridage pour les éoliennes situées dans les secteurs à risque.

Dans ces conditions, aucun impact résiduel significatif ne subsiste sur les espèces protégées et aucun risque ne pèse sur la permanence des cycles biologiques des populations d'espèces protégées et leur maintien dans un état de conservation favorable.

Aucune demande de dérogation aux interdictions d'atteinte aux espèces protégées n'est donc nécessaire. Cet argument a été confirmé par l'**arrêt de la Cour administrative d'appel de Lyon SARL Boralex Massif du Devès c/Ministère de la transition écologique du 14 avril 2022**; « *La réalisation d'un parc éolien n'est pas susceptible de remettre en cause l'état de conservation ou l'habitat d'espèce protégé lorsque l'étude d'impact du projet comprend un recensement des populations ainsi que les mesures de propositions ERC* ».

Par ailleurs, des mesures de suivis seront mises en place lors de la phase d'exploitation et permettront d'appréhender les effets du parc sur la durée et mettre en œuvre des mesures complémentaires en cas de besoin.

De plus, le porteur de projet s'engage à étendre la période relative aux mesures de suivi mortalité et à mettre en place un suivi d'activité relatif à l'avifaune lors des périodes de migration et de reproduction.

Également et afin de renforcer les mesures de réduction qui visent en premier lieu le Milan royal, le porteur de projet mettra en place un **système de détection des oiseaux**, couplé à l'arrêt du ou des rotors concernés, en cas de risque de collision. Ce risque est évalué par de puissants systèmes informatiques, dont les algorithmes sont constamment améliorés et validés par des tests de terrain. Un tel système de détection pourrait être mis en place via la technologie développée par la société identiFlight ou par des technologies telles que Safe Wind développée par la société Biodiv-Wind ou 3DFlightTrack développé par la société française Diadès Marine, entre autres. Le modèle le plus performant sera mis en place afin de garantir la meilleure efficacité.

À titre d'exemple, le porteur de projet utilise depuis 2021 la technologie développée par la société identiFlight sur le parc en exploitation Coteau du Blaiseron (52) et pourra enrichir sa réflexion grâce à son retour d'expérience. L'efficacité de cette technologie a été analysée dans une étude allemande dont la traduction figure en annexe du présent document.

Aussi, fort de ces arguments et analyses, la nécessité de recourir à une demande de dérogation au titre des espèces protégées n'a pas été démontrée, les mesures ERC prévues dans le dossier du projet sont suffisantes au regard des espèces détectées sur le site d'étude.

2.2 Le paysage et les covisibilités

La MRAE constate que l'étude paysagère est complète, les enjeux principaux sont bien identifiés, et les analyses et photomontages sont de bonne qualité. Néanmoins, elle relève que « *l'étude sur la capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne place le secteur d'implantation du projet en zone incompatible à l'éolien* ».

Le Référentiel des paysages de la Haute-Marne de 2018 a pour objectif d'analyser la capacité des paysages du département à accueillir l'éolien. Cette étude a vocation à « *constituer un référentiel partagé pour un développement maîtrisé de l'éolien destiné à porter à connaissance les enjeux de protection des paysages et du patrimoine (site classés ou inscrits, monuments historiques classés ou inscrits et Sites Patrimoniaux Remarquables) et à informer sur la situation actuelle du paysage éolien (inventaire et diagnostic)* ».

Cette étude départementale est avant tout un guide ayant vocation à attirer l'attention des porteurs de projet sur les zones potentiellement sensibles et devant faire l'objet d'analyses minutieuses. Cette étude a une vocation consultative et non réglementaire. Elle permet de connaître et de se prémunir des enjeux et des sensibilités des paysages auxquels seule l'étude paysagère, réalisée par le porteur de projet, devra répondre.

Le porteur de projet rappelle l'importance d'appréhender la zone d'implantation de son projet éolien selon la bonne échelle de réflexion. **L'étude sur la capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne** a été réalisée à une échelle départementale et macroscopique. Elle permet de mettre en perspective les projets éoliens avec les enjeux paysagers forts. L'objectif de « L'étude sur la capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne » est de montrer selon quelles modalités on projette d'installer des éoliennes dans un secteur situé aux marges d'une zone à priori peu favorable : en adaptant la taille des éoliennes, la physionomie et le rythme du parc, en étudiant finement les perceptions visuelles.

De plus, cette étude sur la capacité des paysages de haute Marne a été menée pour des éoliennes de 180m de hauteur et le site d'étude est localisé en limite de la zone de visibilité des éoliennes. En effet, il se situe à la marge des secteurs d'incompatibilités avec l'éolien définis autour de Langres. Le site est également proche d'unités paysagères dites fortement et modérément compatibles avec l'éolien. Par ailleurs, la superposition avec les autres parcs en services indique qu'au moins deux d'entre eux se situent dans une unité paysagère « incompatible avec l'éolien » (Haut de Conge et Plateau de Langres ». (page 14 de l'étude paysagère)

Enfin, le porteur de projet rappelle la temporalité de son projet avec l'étude sur la capacité des paysages à accueillir le développement de l'éolien en Haute-Marne. Les études environnementales -du projet éolien de Bonnacourt Chauffourt ont été lancées en 2016 et le projet a été déposé en février 2019. Cette étude sur la compatibilité de l'éolien avec le paysage Haut-Marnais est parue en avril 2018. L'étude paysagère du projet éolien de Bonnacourt Chauffourt était bien avancée et travaillée à l'échelle fine du territoire d'implantation. Toutes les sensibilités paysagères étaient d'ores et déjà intégrées dans la réflexion sur l'implantation et dans l'étude paysagère afin de limiter en particulier l'impact depuis Langres.

La MRAE reconnaît que : « *Le dossier indique que cette étude a été menée concernant des éoliennes de 180 m de hauteur et que le site d'implantation du projet se trouve en limite de la zone de visibilité des éoliennes.* »

Toutefois, elle ajoute que : « *Les trois éoliennes les plus au sud du projet seront partiellement visibles depuis les remparts, la majeure partie voire la totalité des mâts sera masquée par les petits monts au sud de l'A31 au niveau de Dampierre. En vision plus rapprochée, le projet*

s'installe sur un plateau relativement étroit (environ 5 km) entre deux cuestas ; il est en contrebas d'environ 70 m de l'unité paysagère des plateaux ondulés de Nogent, de Leffonds à Perusse, plateau équivalent à l'altitude de Langres, et domine presque d'autant la plaine du Bassigny. Sur le rebord du premier plateau, au-dessus de la commune de Chauffourt, le belvédère du plateau de Ségrey offre un large panorama sur la plaine du Bassigny ; des éoliennes de 150 m, soit le dénivelé entre le plateau de Ségrey et le Bassigny, implantées au milieu de cette organisation topographique spécifique, en atténueront grandement la lecture. »

Elle précise également que « *Par ailleurs, étant à seulement à 3 km du belvédère de Ségrey et les pales étant plus hautes que les observateurs, elles vont créer un point d'appel particulièrement prégnant dans le paysage et concurrencer très fortement la lecture du paysage ouvert actuel. »*

En ce qui concerne ces points sensibles, dans son dossier, le porteur de projet a étudié très finement l'implantation des éoliennes en fonction des risques de visibilité et notamment depuis les remparts de Langres et depuis les points sensibles comportant un point de vue dominant : Le village de Chauffourt et le plateau du Segré.

Dès le départ, les remparts de Langres ont constitué un des points de vue principaux pour la composition du projet éolien. La réflexion en plan a permis de réduire l'emprise horizontale du projet. La réflexion en trois dimensions a permis d'installer les éoliennes à l'arrière-plan de reliefs collinaires existants et de réduire leur échelle verticale (recul des éoliennes au maximum possible de la zone d'implantation et modération de leur hauteur à 150m en bout de pale).

Par rapport au village de Chauffourt, les éoliennes ont été implantées en retrait du bourg afin de réduire leur échelle verticale apparente et leur intervisibilité avec la silhouette bâtie du village : les ondulations du plateau à l'arrière-plan du village et les structures végétales qui les accompagnent créent ainsi une relative mise à distance du projet depuis Chauffourt et ses abords immédiats.

Depuis le plateau de Segré, les éoliennes sont certes plus visibles car le dénivelé est plus marqué, mais ce recul par rapport au bourg est également lisible, ce qui évite une confrontation trop directe avec la silhouette bâtie de Chauffourt. Par ailleurs, la modération de l'échelle verticale des éoliennes à 150m bout de pale a permis de rester dans des rapports d'échelle verticale acceptables avec les éléments bâtis notamment.

L'implantation retenue a été celle qui proposait la meilleure insertion paysagère compte tenu des différents points de vue et des différents impacts auxquels ils étaient soumis. Aussi, la version retenue ne propose que 6 éoliennes implantées de façon à ce que les perceptions visuelles depuis Langres, Chauffourt et le Belvédère du Segré soit le moins impactant possible.

« Concernant le cadre de vie, le secteur est peu pourvu actuellement en machines. Il y aura un impact visuel modérée à fort au niveau des villages de Bonnacourt, Chauffourt, et Frécourt, sans effet d'encerclement. L'effet stroboscopique devrait être faible du fait de l'éloignement des machines. L'exploitant prévoit des mesures de réduction concernant l'impact visuel des deux postes de livraison et des mesures d'accompagnement (mise en place d'un panneau d'information sur le parc éolien au niveau du belvédère de Ségrey et l'enfouissement des lignes électriques dans les villages les plus proches du projet).

Le projet éolien de Bonnacourt Chauffourt sera accompagné de mesures d'informations permettant aux territoires concernés de se saisir des questions liées aux énergies renouvelables et aux paysages. L'impact a été réduit au maximum (orientation, nombre de machines...) et comme le rappelle la MRAE, le porteur de projet prévoit des actions de mise

en valeur du paysage quotidien des habitants notamment par le biais de l'enfouissement des lignes électriques visibles actuellement dans les villages proches du projet.



Figure 7 : Exemple de mesure participant à améliorer un point ponctuel dans le Village de Chauffourt qui n'est pas lié au parc éolien lui-même - Source : BORALEX

L'Ae signale que les informations sur cette énergie sont suffisamment mises à la disposition du public par d'autres moyens pour ne pas avoir à ajouter des éléments artificiels en milieu naturel. La mise en place d'une table de lecture des paysages au belvédère de Segré serait beaucoup plus opportune »

Le porteur de projet rappelle que l'idée d'une table d'orientation comportant les éléments constitutifs du paysage a déjà été mentionné dans l'étude paysagère. Cette action de mise en valeur a été associée avec la possibilité de compléter si nécessaire cette installation par du mobilier urbain permettant de s'installer face au point de vue et de faire une pause (banc, corbeille, table...) (p.298 de l'étude paysagère)

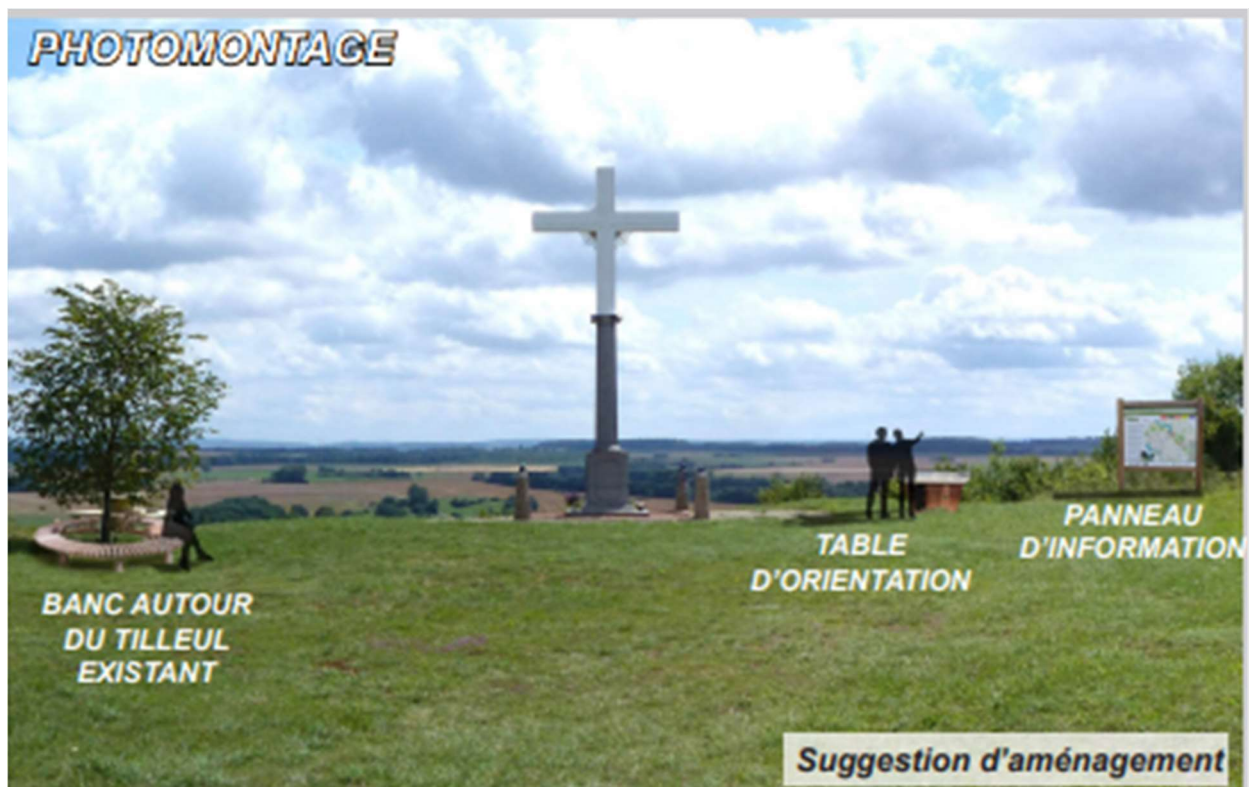


Figure 8 : Suggestion d'aménagement du belvédère du Segré

2.3 Les Nuisances sonores

La MRAE indique que les résultats de l'étude acoustique font apparaître un risque de dépassement des seuils réglementaires pour les phases nocturnes.

« L'Ae rappelle au pétitionnaire qu'il doit être en mesure de respecter les valeurs réglementaires relatives aux nuisances sonores dès la mise en service de son parc éolien et qu'il doit s'en assurer dans la première année qui suit, puis tout au long de la vie du parc. L'Ae recommande à l'exploitant de réaliser une étude acoustique qui démontre dès la mise en service le respect des valeurs réglementaires relatives aux nuisances sonores en présentant les mesures prises. »

Le porteur de projet s'engage à respecter la réglementation relative aux nuisances sonores dès la mise en service du parc. En effet, à la mise en service et conformément à la réglementation, il est bien prévu que le porteur de projet réalise une nouvelle étude acoustique (Mesures et étude de réception).

Ces réceptions permettent de vérifier le respect des valeurs réglementaires relatives aux nuisances sonores. Ainsi, si un dépassement est détecté, le plan de bridage sera adapté en conséquence pour se conformer à la réglementation.

Conclusion

Le choix du site du projet éolien de Bonnecourt-Chauffourt a été retenu sur la base de critères positifs à l'accueil de l'éolien : un gisement de vent exploitable, la proximité du raccordement, l'absence de servitude rédhibitoire, une possibilité d'insertion paysagère acceptable et un impact moindre sur l'environnement.

L'impact du projet sur le paysage a été très largement étudié et a contribué à déterminer l'implantation des éoliennes afin de réduire au maximum la visibilité du projet et faciliter l'insertion paysagère. Le référentiel des paysages de Haute-Marne de 2018 évoquée par la MRAE à une vocation uniquement consultative et ne peut pas être opposé à un projet dont l'aspect paysager a fait l'objet d'une étude fine et poussée telle que celle du porteur de projet dont la qualité de l'étude a été reconnue par l'AE elle-même.

Vis-à-vis des enjeux liés à la biodiversité, le porteur de projet considère que le choix du site, l'implantation et le choix de ses machines sont adaptés à leur environnement et que tous les enjeux associés au site ont bien été pris en compte grâce aux inventaires réalisés sur le terrain. L'enjeu lié au Milan royal notamment, a été très largement considéré dans l'étude d'impact permettant la mise en place de diverses mesures en faveur de cette espèce, limitant très fortement l'impact et le réduisant à un niveau résiduel. Par ailleurs, des mesures de réduction complémentaires, via des systèmes de détection des oiseaux, associés à un arrêt des rotors, seront également mises en place sur le parc de Bonnecourt Chauffourt.

Le porteur de projet se conformera aux recommandations de la MRAE sur les points suivants : l'extension de la durée des suivis d'activité et de mortalité ainsi que l'extension de la période sans travaux.

D'autres points ont été repris et détaillés dans le document présent car les recommandations de l'AE trouvaient entièrement réponse dans l'étude d'impact, ainsi que les mesures associées (notamment et par exemple, la question de la réalisation des écoutes en hauteur et de l'absence de végétation autour des éoliennes).

Enfin, le porteur de projet est convaincu de la qualité de son dossier. La réalisation de ce projet éolien, avec l'appui des collectivités et des bureaux d'études experts, s'avérera bénéfique pour son environnement grâce à la bonne maîtrise des différents enjeux du site.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal (*Milvus milvus*) ?

Étude sur l'efficacité d'un système de caméras pour la
protection contre les collisions avec les éoliennes

07/10/2021

En coopération avec :



Préparée au nom de :

erneuerbare energien europa e3 GmbH



Client :



erneuerbare energien europa e3 GmbH
Hugh-Greene-Weg 2
22529 Hambourg, www.e3-gmbh.de

Projet :

étude sur l'efficacité d'IdentiFlight pour protéger le Milan royal des collisions avec les éoliennes
[Rapport final](#)

Mise à jour :

07/10/2021

Prestataire :

**ARSU
GmbH**

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH
Escherweg 1, 26121 Oldenbourg
Postfach 11 42, 26001 Oldenbourg

Tél. +49 441 971 74 97

Fax +49 441 971 74 73

www.arsu.de
info@arsu.de

Éditeur :

Dr Marc Reichenbach, ARSU GmbH

Dr Hendrik Reers, OekoFor GbR

Sören Greule, OekoFor GbR

Clause de non-responsabilité

Sauf indication contraire, le rapport est la propriété intellectuelle des sociétés ARSU GmbH, OekoFor GmbH et erneuerbare energien europa e3 GmbH. Tous les textes, photographies et images du rapport (ensemble, le « Contenu ») et les marques et logos qu'il contient (les « Marques ») sont notre propriété intellectuelle ou sont contrôlés par nous ou font l'objet d'une licence d'e3 et sont protégés par les lois sur les droits d'auteur et les marques et par divers autres droits de propriété intellectuelle et lois sur la concurrence déloyale en Allemagne, dans des juridictions étrangères et par des conventions internationales.

Les résultats de ce rapport appartiennent à erneuerbare energien europa e3 GmbH.

Ce document, y compris les annexes, ne peut être reproduit et utilisé que dans son intégralité et avec l'autorisation écrite de erneuerbare energien europa e3 GmbH.

SOMMAIRE

1	Raison et motivation	1
2	Comment fonctionne IdentiFlight	4
2.1	Structure et mode de fonctionnement	4
2.2	Logiciel de classification	6
2.2.1	Algorithme de classification	6
2.2.2	Entraînement du logiciel sur le Milan royal	8
2.3	Arrêt des éoliennes	11
3	Questions et concept de recherche	13
3.1	Notions de base sur les tests système	13
3.2	Critères de test	14
3.3	Série de projets	15
4	Méthodologie	17
4.1	Domaines d'étude	17
4.1.1	Aperçu	17
4.1.2	Programmation de l'arrêt	18
4.1.3	Couverture spatiale et plan du site	21
4.1.4	Couverture temporelle	34
4.1.5	Aperçu	34
4.1.5.1	Spécificités du site	35
4.2	Données de référence	36
4.2.1	Drone	36
4.2.2	Télémètre laser	37
4.2.3	Téléométrie GPS	41
4.3	Évaluation et analyse statistique	42
4.3.1	Logiciel d'évaluation	42
4.3.2	Taux de détection	47
4.3.2.1	Données de référence du LRF et du GPS	47
4.3.2.2	Facteur d'influence des précipitations	53
4.3.2.3	Facteur d'influence de la position du soleil	53
4.3.3	Classification	54
4.3.4	Efficacité et efficacité de l'arrêt	55
4.3.5	Comportement de vol du Milan royal	56

5	Résultats	61
5.1	Base de données obtenue	61
5.2	Précision de détection	66
5.2.1	Données GPS d'un drone	66
5.2.2	Données LRF et données GPS du Milan royal avec un émetteur	67
5.3	Portée de détection	74
5.4	Taux de détection	76
5.4.1	Performances de détection par rapport aux échantillons de référence	76
5.4.2	Facteur d'influence des précipitations	84
5.4.3	Facteur d'influence de la position du soleil	86
5.5	Classification	88
5.6	Efficacité et efficacité de l'arrêt	93
5.6.1	Arrêt déclenché par IDF	93
5.6.2	Réaction de l'éolienne au signal d'arrêt	107
5.6.3	Rapport entre l'activité de vol et les arrêts	108
5.7	Comportement du Milan royal	111
5.7.1	Altitude	111
5.7.2	Vitesse de vol	113
6	Évaluation de l'efficacité d'IDF pour la conservation des espèces	119
6.1	Caractérisation des performances d'IDF	119
6.1.1	Couverture spatiale et temporelle du site	120
6.1.2	Portée de détection	121
6.1.3	Taux de détection	123
6.1.4	Classification de l'objet volant	123
6.1.5	Efficacité et efficacité de la réponse du système	124
6.1.6	Dimensionnement des cylindres d'éloignement	126
6.2	Performances générales du système	130
6.3	Exigences de la loi sur la protection des espèces	136
6.3.1	Jurisprudence	136
6.3.2	Exigences professionnelles	140
6.3.3	Exigences résultantes pour les performances des systèmes anti-collision	142
6.4	Évaluation de l'efficacité d'IdentiFlight	143
7	Perspectives	144
8	Références bibliographiques	146

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Système IDF installé.....	3
Figure 2 : Système IdentiFlight, composé de 8 caméras grand angle et d'une caméra stéréo mobile.	4
Figure 3 : Champ de vision d'un système IDF montrant la « zone aveugle » (occluded zone).	6
Figure 4 : Nombre de points par piste IDF pour une espèce ciblée (protégée) ou non Espèce ciblée (non protégée).	7
Figure 5 : Extrait des données d'origine IDF stockées	10
Figure 6 : Principes de base de l'algorithme d'arrêt à la demande d'IdentiFlight dans le cadre de cette étude.....	12
Figure 7 : Série de projets pour vérifier l'efficacité d'IdentiFlight	16
Figure 8 : Situation des zones d'étude	17
Figure 9 : Zone d'étude de Helfta avec détection par IDF et situation de l'éolienne virtuelle.....	22
Figure 10 : Zone d'étude de Plate avec détection par IDF et situation de l'éolienne virtuelle.....	23
Figure 11 : Zone d'étude de Gerbstedt avec détection par IDF et situation de l'éolienne existante	24
Figure 12 : Zone d'étude de Lübesse avec détection par IDF et situation de l'éolienne existante...	25
Figure 13 : Zone d'étude Bütow avec détection par IDF et situation de l'éolienne existante (ci-dessus)	26
Figure 14 : Zone d'étude de Geislingen avec détection par IDF et situation de l'éolienne virtuelle.	27
Figure 15 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Helfta.	28
Figure 16 : Champ de vision des caméras grand angle avec masquage sur le site de Plate.	29
Figure 17 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Plate.....	29
Figure 18 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Gerbstedt.	30
Figure 19 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Gerbstedt.	30
Figure 20 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Lübesse.....	31
Figure 21 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Lübesse.....	31
Figure 22 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Bütow.....	32
Figure 23 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Bütow.....	32

Figure 24 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Geislingen.....	33
Figure 25 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Geislingen.....	33
Figure 26 : Test de détection avec un drone localisé par GPS.....	37
Figure 27 : Acquisition des données du LRF Vector 21 Aero (extrait de la notice d'utilisation)	38
Figure 28 : Répartition des données d'IDF et du LRF sur l'heure du lever au coucher du soleil (lignes jaunes) et sur la période d'enregistrement	40
Figure 29 : Le Milan royal « Donzi » avec un émetteur sur le site de Geislingen en 2020.....	42
Figure 30 : Interface de visualisation des données d'IDF.....	43
Figure 31 : Surface d'évaluation des performances de détection d'IDF par rapport aux traces du LRF et GPS.	45
Figure 32 : Interface utilisateur pour vérifier les processus d'arrêt.....	46
Figure 33 : Exemple d'évaluation de détection - catégorie « Détecté »	49
Figure 34 : Exemple d'évaluation de détection - catégorie « Non détecté ».....	50
Figure 35 : Exemple pour l'évaluation de la détection - catégorie « Non valide »	51
Figure 36 : Exemple pour l'évaluation de la détection - catégorie « Non valide »	52
Figure 37 : Images de la caméra météo à Bütow le 14 juin 2020	54
Figure 38 : Croquis schématique d'une trajectoire de vol.....	58
Figure 39 : Illustration 3D d'une trajectoire du Milan royal.	59
Figure 40 : Répartition typique de la hauteur des traces de Milans royaux identifiés par IDF.....	60
Figure 41 : Estimation du noyau de densité de tous les tracés enregistrés par IDF (toutes espèces d'oiseaux).....	62
Figure 42 : Activité du Milan royal sur les sites de Helfta, Plate et Gerbstedt.....	64
Figure 43 : Activité du Milan royal sur les sites de Lübesse, Bütow et Geislingen.....	65
Figure 44 : Détections du drone par IDF à différentes altitudes de vol (50 m et 100 m)	66
Figure 45 : Écart entre la position GPS du drone par rapport au positionnement horizontal (gauche) et vertical (droite) par IDF pour deux différentes altitudes de vol (50 m et 100 m).....	67
Figure 46 : Exemple de précision de la détection par LRF.....	69
Figure 47 : Traces LRF et IDF avec un décalage angulaire important sur le site de Lübesse	70
Figure 48 : Trace LRF et IDF avec décalage angulaire sur le site de Bütow	71

Figure 49 : Trace GPS et par IDF d'un Milan royal avec un haut niveau de précision de détection.....	72
Figure 50 : Trace GPS et par IDF d'un Milan royal avec un haut niveau de précision de détection, mais détermination de la hauteur différenciée.....	73
Figure 51 : Estimation du noyau de densité des détections de tous les Milans royaux détectés par IDF.....	75
Figure 52 : Trace GPS (points gris, étiquetés différemment « LRF red kite » dans l'illustration) d'un Milan royal qui a également été détecté par IDF (points rouges) pendant environ une minute.....	78
Figure 53 : Trace GPS (points gris, différemment marqués « LRF Milan royal » sur la figure) d'un Milan royal qui a également été brièvement détecté par IDF (points rouges).	79
Figure 54 : Exemples de trajectoires de Milans royaux sur le site de Geislingen, à partir d'IDF (points rouges) ainsi que LRF (points gris).....	80
Figure 55 : Milan royal volant à basse altitude « Donzi » (données GPS, points gris ; marqué de manière déviée par « LRF Milan royal » sur la figure), qui a été détecté par IDF devant l'arrière-plan (points rouges), mais partiellement non identifié comme Milan royal (points violets).	81
Figure 56 : Milan royal volant à basse altitude « Donzi » (données GPS, points gris ; marqué de manière déviée par « LRF Milan royal » sur la figure), qui n'est pas détecté par IDF	82
Figure 57 : Trace GPS (points gris, différemment marqués « LRF Milan royal » sur la figure) du Milan royal « Donzi », pour une altitude nettement plus visible par IDF au-dessus de l'horizon	83
Figure 58 : Répartition de tous les points de détection par IDF par rapport aux précipitations sur la période de détection respective aux sites de Helfta (2018), Plate (2018) et Geislingen (2020).....	85
Figure 59 : Répartition en pourcentage de la fréquence des premiers points de suivi respectifs des détection par IDF en fonction de la différence d'angle entre la caméra et le soleil pour des situations d'éclaircies nuageuses et de temps couvert sur le site de Bütow 2020.	87
Figure 60 : Exemples d'images avec la classification d'origine par IDF.....	90
Figure 61 : Exemples d'images avec la classification d'origine par IDF.....	91

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research

Figure 62 : Exemples d'images avec la classification d'origine par IDF.....	92
Figure 63 : Arrêt dans le cylindre d'éloignement extérieur sur le site de Bütow.....	94
Figure 64 : Arrêt dans le cylindre d'éloignement extérieur sur le site de Helfta.	95
Figure 65 : Arrêt lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur (ligne intérieure noire) de l'éolienne Est sur le site de Bütow.....	96
Figure 66 : Arrêt lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement l'écartement intérieur (ligne intérieure noire) de l'éolienne ouest sur le site de Bütow.....	97
Figure 67 : Arrêt au-dessus du cylindre d'éloignement intérieur sur le site de Helfta.	98
Figure 68 : Détection d'un Milan royal dans le cylindre d'éloignement intérieur avec arrêt immédiat sur le site de Bütow.....	99
Figure 69 : Détection d'un Milan royal dans le cylindre d'éloignement intérieur avec arrêt immédiat sur le site de Helfta.	100
Figure 70 : Ci-dessus : Part des déclenchements d'arrêt par rapport à la distance de l'éolienne. Les lignes en pointillés rouges sont R_{min} et R_{max} . En bas : Part des différentes altitudes de vol au moment des déclenchements d'arrêt dans la totalité de tous les arrêts dans le R_{min} , séparément pour l'intérieur et la limite du R_{min} (zone tampon comprise).....	103
Figure 71 : Box plot des valeurs médianes des éoliennes individuelles par rapport à la répartition en pourcentage de la localisation du déclenchement de l'arrêt par rapport à R_{min} (gauche) et par rapport à l'altitude de vol à cet instant (droite)	104
Figure 72 : Affichage cumulé des altitudes de vol de celles détectées uniquement en R_{min} de Milans royaux sur le site de Bütow_1 éolienne 13	104
Figure 73 : Affichage cumulé des altitudes de vol de celles détectées uniquement en R_{min} de Milans royaux sur le site de Geislingen FWEA-1.	105
Figure 74 : Nombre d'arrêts initiés par IDF sur l'éolienne 13 sur le site d'étude de Bütow	107
Figure 75 : Répartition horaire de l'arrêt initié par IDF à l'éolienne 13 sur le site de Bütow.....	108
Figure 76 : Nombre d'arrêts (curtailments) par jour en fonction du nombre de pistes dans lesquelles une espèce protégée est classée au moins une fois . n = nombre de jours éolienne.....	109
Figure 77 : Répartition des altitudes de vol, par plages d'altitude de 10 m, des Milans royaux identifiés par la suite sur les six sites jusqu'à 300 m au-dessus d'IDF.	112
Figure 78 : Part cumulée des altitudes de vol des Milans royaux déterminée plus tard pour 300 m au-dessus d'IDF.	113
Figure 79 : Distribution des vitesses de vol horizontales des Milans royaux calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude	115

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research

Figure 80 :	Box plots de la distribution en hauteur des vitesses de vol horizontales des Milans royaux calculées en moyenne mobile	116
Figure 81 :	Représentation cumulée des vitesses de vol horizontales des Milans royaux calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude	116
Figure 82 :	Distribution des vitesses anémométriques verticales calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude	117
Figure 83 :	Box plots de la distribution en hauteur des vitesses anémométriques verticales calculées en moyenne mobile	118
Figure 84 :	Représentation cumulative des vitesses de vol verticales des Milans royaux calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude	118
Figure 85 :	Répartition des distances radiales initiales de détection des trajectoires de vol des espèces ciblées en fonction de la météo (bonne = temps sec avec ciel dégagé, mauvaise = humide avec ciel partiellement couvert). Source : ASCHWANDEN & LIECHTI (2020)	123
Figure 86 :	Schéma de dimensionnement des cylindres d'éloignement intérieur et extérieur et les variables nécessaires au calcul	127
Figure 87 :	Résultat de l'exemple de calcul pour une éolienne de type Enercon E101 dans le parc éolien de Bütow selon les hypothèses retenues.	129
Figure 88 :	Réaction d'une éolienne Vestas de la classe 4 MW à un signal d'arrêt	133
Figure 89 :	Liste de contrôle concernant la performance des systèmes anti-collision {KNE, 2021 # 6862}	134
Figure 90 :	Histogramme des altitudes de vol de classe 25 m avec information sur la part respective de la fréquence (données par émetteur de cinq Milans royaux, uniquement des points de suivi en vol). Selon Heuck et al. (2019)	142

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Espèces ciblées programmées pour lesquelles l'éolienne a été arrêtée.	18
Tableau 2 : Caractérisation des localisations vis-à-vis des éoliennes, leurs spécifications et les valeurs résultantes pour les cylindres d'éloignement.....	20
Tableau 3 : Tableau récapitulatif chronologique des observations.	34
Tableau 4 : Catégories d'évaluation des données de référence des traces LRF et GPS.....	47
Tableau 5 : Base de données pour les performances de classification d'IDF	55
Tableau 6 : Nombre de pistes évaluées et de points individuels pour les performances de classification d'IDF.	61
Tableau 7 : Distances détectées des Milans royaux identifiés.	74
Tableau 8 : Dérivation de l'échantillon de référence des traces LRF et GPS.....	76
Tableau 9 : Taux de détection obtenus par IDF sur les sites d'étude par rapport aux échantillons de référence des trajectoires de vol.....	77
Tableau 10 : Classifications correctes des Milans royaux (ou Milans royaux et noirs à Bütow et Geislingen) dans un rayon de 250 m et 750 m autour d'IDF.....	88
Tableau 11 : Taux d'erreur de classification pour des rayons de 250 m et 750 m autour d'IDF. (n = tous les points de données identifiés par IDF).....	89
Tableau 12 : Arrêts générés par IDF pour différentes hauteurs au-dessus de la base du mât....	106
Tableau 13 : Relation entre l'activité de vol du Milan royal dans un rayon de 350 m et le nombre et la durée des arrêts déclenchés par IDF pour les Milans royaux	109
Tableau 14 : Nombre moyen d'arrêts quotidiens au cours des différentes phases de reproduction sur les sites d'IDF.....	110
Tableau 15 : Relation entre l'activité de vol des Milans royaux dans un rayon de 350 m et le nombre et la durée des arrêts déclenchés par IDF pour les Milans royaux sur le site de Geislingen compte tenu de l'altitude	110
Tableau 16 : Vitesses de vol des Milans royaux déterminées par IDF en direction horizontale ainsi qu'en descente et en montée.	114
Tableau 17 : Vitesses de vol horizontales et verticales de l'exemple de calcul à partir de différentes plages d'altitude, chacune en tant que médiane et 90 % de tous les vols	129
Tableau 18 : Comparaison des exigences du Centre de compétences pour la protection de la nature et la transition énergétique (KNE) et des valeurs de performance obtenues par IDF	134

Liste des abréviations

BfN : Bundesamt für Naturschutz (Agence fédérale pour la protection de la nature)

ER : Erfassungsrate (Taux de détection)

H_{max} : Hauteur du cylindre d'éloignement extérieur

H_{min} : Hauteur du cylindre d'éloignement intérieur

HL_{max} : bord inférieur du cylindre d'éloignement extérieur

HL_{min} : bord inférieur du cylindre d'éloignement intérieur

HU_{max} : bord supérieur du cylindre d'éloignement extérieur

HU_{min} : bord supérieur du cylindre d'éloignement intérieur

IDF : IdentiFlight

KNE : Centre de compétences pour la protection de la nature et la transition énergétique

TC : taux de classification

LRF : Laser Range Finder

CS : couverture spatiale

R_{max} : rayon du cylindre d'éloignement extérieur

R_{min} : rayon du cylindre d'éloignement intérieur

RRA : taux d'arrêts opportuns

SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition - Français : surveillance, contrôle et acquisition de données. Système de contrôle utilisé pour contrôler les processus techniques dans les parcs éoliens.

sh : vitesse horizontale

sv- : vitesse de descente verticale

sv + : vitesse de montée verticale

TTC : méthode Time To Collision (voir index des termes techniques)

CME : conférence du Ministère de l'Environnement

EOL : éolienne/s

CT : couverture temporelle

Glossaire (termes techniques)

Cylindre d'éloignement extérieur : zone tridimensionnelle définie dans laquelle les signaux d'arrêt sont générés selon la méthode Time To Collision (voir les termes techniques).

Azimut : angle horizontal orienté selon une direction cardinale.

Secteur aveugle : par rapport aux observateurs humains, IDF n'a pas de zone aveugle « derrière » elle grâce à la vue à 360°.

Angle mort : zone que le système d>IDF ne peut pas voir face au soleil (15°).

Zone aveugle : zone située directement au-dessus du système d>IDF, qui ne peut pas être vue par les systèmes de caméras.

Taux de faux négatifs : le taux auquel une espèce ciblée (par exemple le Milan royal) n'est pas déterminée comme telle (l'éolienne ne s'arrête pas alors qu'elle le devrait).

Taux de faux positifs : le taux auquel une espèce non ciblée est déterminée à tort comme espèce ciblée (l'éolienne s'arrête alors qu'elle ne le devrait pas).

Temps d'hystérésis : temps qui doit s'écouler après que la commande d'arrêt a été envoyée par IDF jusqu'à ce que l'éolienne soit à nouveau en marche, après que l'objet cible ne se trouve plus dans le cylindre d'éloignement intérieur ou ne se trouve plus sur une trajectoire de collision possible avec la zone du rotor. Cela permet d'éviter les mises en marche et les arrêts fréquents de l'éolienne et garantit que l'oiseau s'est déjà éloigné de la zone de danger au moment où l'éolienne est mise en marche.

Cylindre d'éloignement intérieur : zone tridimensionnelle définie dans laquelle un signal d'arrêt est généré immédiatement lorsqu'une espèce ciblée apparaît.

Taux négatif correct : taux auquel une espèce non ciblée est correctement identifiée comme telle (l'éolienne ne s'arrête pas correctement).

Taux positif correct : taux auquel une espèce ciblée (par exemple le Milan royal) est correctement identifiée comme telle (l'éolienne s'arrête correctement).

Télémetre laser : dispositif de mesure électro-optique de la distance, permettant de déterminer, par exemple, la position 3D des oiseaux.

NatForWINSENT : projet de recherche en cours de l'Office fédéral de protection de la nature (Bfn) intitulé « Développement d'un concept pour la recherche sur la protection de la nature dans le cadre du champ d'essai d'énergie éolienne du Jura souabe WindForS ». Dans le cadre de ce projet, différents systèmes techniques d'arrêt d'éoliennes en fonction des besoins sont testés par l'Institut suisse d'ornithologie.

Réseau neuronal : branche de l'intelligence artificielle. Utilisé ici pour la classification des espèces d'oiseaux.

Méthode Time To Collision : méthode d'arrêt basée sur les besoins dans laquelle un vecteur est calculé à partir de la position, de la vitesse et de la direction de vol du type de ciblée ainsi que du temps d'arrêt de l'éolienne, qui décrit une trajectoire de collision possible avec la zone du rotor de l'éolienne. De plus, il est calculé à quel moment précis l'éolienne doit être arrêtée afin d'éviter une collision tout en conservant la même vitesse et la même direction de vol.

Mode rotation : pour les besoins de cette étude, il est supposé que le mode rotation est de 2 tours par minute.

True Files : images déterminées de l'espèce ciblée pour l'entraînement du réseau neuronal.

1 Raison et motivation

Selon les objectifs d'expansion du gouvernement fédéral, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité doit passer à 65 % d'ici 2030. L'utilisation de l'énergie éolienne terrestre représente le potentiel d'expansion le plus rentable à court et moyen terme.¹ Cependant, il est de plus en plus difficile de trouver des sites présentant un faible niveau de conflit en termes de protection des espèces, notamment en ce qui concerne le maintien de l'interdiction d'abattage pour certaines espèces de rapaces et de grands oiseaux qui présentent un risque de collision. Dans ce cas, des arrêts temporaires des éoliennes (SCHUSTER & BRUNS 2018) doivent être mis en œuvre selon des paramètres généraux ou selon les besoins, requis pour approbation en vertu de la loi sur la protection des espèces.

Selon l'art. 44 al. 5 n° 1 de la loi fédérale sur la protection de la nature (BNatSchG), cela constitue une violation de l'interdiction d'abattage énoncée à l'art. 44 al. 1 n° 1 la loi fédérale sur la protection de la nature (BNatSchG) s'il y a une augmentation significative du risque de mort et que cela ne peut être évité par l'utilisation de mesures de protection requises et professionnellement reconnues.

Les systèmes techniques de détection des oiseaux et les arrêts connectés en fonction des besoins (systèmes anti-collision) représentent une possibilité actuellement discutée pour éviter un risque significativement accru de collision avec des espèces sensibles à l'énergie éolienne. Actuellement, le Milan royal (*Milvus milvus*), en raison de son risque particulier de collision et de sa répartition presque étendue, mais aussi le Pygargue à queue blanche (*Haliaeetus albicilla*), sont au centre du développement d'algorithmes de reconnaissance d'images pour la détection spécifique d'espèces et l'arrêt contrôlé à la demande (AMMERMANN *et al.* 2020).

Par rapport aux arrêts généraux, les arrêts utilisant un système anti-collision répondent mieux aux incertitudes des prévisions concernant le risque de mort lorsque l'éolienne est en fonctionnement. Ces systèmes offrent donc une protection plus fiable des espèces risquant d'entrer en collision que l'application de temps d'arrêt généralisés, généralement basés sur des valeurs empiriques (KNE 2018). De plus, les arrêts en fonction des besoins (par rapport aux conditions d'arrêt généralisé) réduisent considérablement le temps d'arrêt de l'éolienne pour des raisons de protection des espèces. L'objectif est donc un arrêt en fonction des besoins qui répond aux exigences de protection des espèces pour la protection des oiseaux et en même temps minimise les pertes de production d'électricité.

L'utilisation de tels systèmes anti-collision entre notamment en ligne de compte lorsque, compte tenu de la rareté des terrains, il n'y a pratiquement plus de sites peu conflictuels disponibles pour l'expansion des énergies renouvelables et d'une part, grâce à ces systèmes, la protection des espèces est préservée et, d'autre part, une réduction significative des temps d'arrêt est rendue possible (UMK 2020).

¹ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/energie-erzeugen/erneuerbare-energien-317608>.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Il existe actuellement sur le marché différents systèmes techniques de ce type, dont l'efficacité n'a toutefois pas encore été suffisamment prouvée. Par conséquent, leur utilisation n'a pas encore été reconnue par la jurisprudence comme un moyen fiable de réduire le risque de mort en dessous du seuil d'importance conformément à l'art. 44, al. 1 n° 1 de la loi fédérale sur la protection de la nature (BNatSchG) (VGH Munich, arrêt du 20/03/2016 sur DTBird - Réf. : 22 B 14.1875, 22 B 14.1876). En attendant, cependant, il est reconnu que les systèmes présentant une certaine performance technique peuvent réduire efficacement le risque de collision grâce à un arrêt lié à un événement (mode rotation) (UMK 2020).

L'un de ces systèmes est IdentiFlight (IDF), conçu et fabriqué aux États-Unis (figure 1, figure 2). La protection des oiseaux de proie et des grands oiseaux contre les collisions avec les éoliennes revêt une importance particulière non seulement en Allemagne, mais aussi aux États-Unis. Dans le contexte de lourdes amendes en cas d'abattage avéré d'espèces protégées telles que l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et le Pygargue à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*), le système IdentiFlight (ci-après : IDF) a été développé par la société Boulder Imaging, Inc. du Colorado pour détecter les aigles à une distance suffisante des éoliennes et les arrêter à temps en cas de risque de collision.² IDF a déjà été testé aux États-Unis en ce qui concerne ses performances de détection et son efficacité à réduire le nombre de victimes de collision (MCCLURE *et al.* 2018 ; MCCLURE *et al.* 2021). Il a été notamment montré qu'IDF reconnaissait efficacement les oiseaux de la taille des crécerelles avec un taux de détection de 96 % par rapport aux observateurs. Dans 94 % des cas, les aigles ont été correctement classés. Le taux de collision a été réduit de 82 % par rapport à un poste de contrôle. Bien que les résultats de ces études ne soient pas encore transposables aux espèces européennes de rapaces et de grands oiseaux exposés au risque de collision, comme le Milan royal, ils montrent déjà l'efficacité de base du système.

La société erneuerbare energien europa e3 GmbH envisage d'introduire IDF en Allemagne et s'efforce de faire reconnaître ce système comme une mesure de protection efficace au sens de l'art. 44 al. 5 n° 1 de la loi fédérale pour la protection de la nature, notamment en ce qui concerne le Milan royal. Selon SCHUSTER & BRUNS (2018), des tests appropriés et, si nécessaire, des développements supplémentaires sont nécessaires pour prouver la fiabilité et l'efficacité de principe. Les études pilotes contrôlées et supervisées scientifiquement doivent suivre une norme méthodologique uniforme basée sur des standards scientifiques afin de garantir la comparabilité et la transférabilité des résultats. (SCHUSTER & BRUNS 2018).

Ce rapport final présente les résultats des tests d'investigation sur IDF concernant l'espèce ciblée du Milan royal sur six sites de l'est et du sud de l'Allemagne de 2018 à 2020, qui ont été effectués sous contrôle neutre et assurance qualité par TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG.

² <https://www.identiflight.com/>, consulté pour la dernière fois le 12/08/2019 à 16 h 14

Les objectifs et les questions de l'étude sont basés sur les critères d'évaluation du Centre de compétence pour la protection de la nature et la transition énergétique (KNE 2019) pour les performances du système en termes de portée de détection, de taux de détection et de classification des objets en vol.



Figure 1 : **Système IDF installé avec une hauteur de mât de 10 m.**

2 Comment fonctionne IdentiFlight

2.1 Structure et mode de fonctionnement

Un système IDF se compose d'une combinaison de deux unités de caméra (huit caméras grand angle fixes et une caméra stéréo mobile) et est monté sur un mât d'une hauteur (actuellement) allant jusqu'à 10 m (figure 1 et figure 2).



Figure 2 : Système IdentiFlight, composé de 8 caméras grand angle et d'une caméra stéréo mobile.

Pour la surveillance de l'espace aérien, les deux unités de caméra s'imbriquent de la manière suivante : l'unité inférieure, composée de huit caméras grand angle disposées en cercle, surveille en permanence l'ensemble de l'espace aérien dans un rayon horizontal de 360° avec une portée d'environ 1 000 m. Certaines zones peuvent être masquées si cela est nécessaire pour des raisons techniques ou de protection des données. Cela signifie que ces zones peuvent théoriquement être capturées par les caméras, mais sont techniquement « occultées » et ne sont pas enregistrées (voir la figure 16 à titre d'exemple).

L'unité de caméra grand angle est utilisée pour détecter les mouvements dans l'espace aérien (les objets qui ne bougent pas pendant plus de 30 s sont ignorés) et pour filtrer les objets pertinents en vol. Il est possible d'observer plusieurs objets en même temps.

Les objets en vol non pertinents (par exemple, les avions, les véhicules, les pales de rotor, les parachutistes ou les petits oiseaux) sont distingués des objets en vol pertinents (par exemple, les spécimens de l'espèce ciblée, le Milan royal ou le Pygargue à queue blanche) sur la base de certains paramètres de l'objet détectés à une fréquence de 5 Hz par les caméras grand angle : luminosité, taille approximative, vitesse, position et modèle de mouvement de l'objet détecté.

Si, sur la base de ces paramètres d'objet, il est conclu qu'un objet en vol pertinent a été détecté (par exemple, un spécimen d'une espèce ciblée), un message est envoyé à la deuxième unité de caméra, la caméra stéréo. La caméra stéréo s'aligne ensuite sur l'objet correspondant et enregistre les données de l'objet en vol à une fréquence de 10 Hz. Parmi ces données de 10 Hz, l'image présentant le plus haut degré de fiabilité dans la classification de l'objet est ensuite sélectionnée et stockée comme point de données de 1 Hz, pour lequel la position, la taille, la trajectoire et la vitesse de l'objet dans l'espace tridimensionnel sont alors disponibles en détail. La mesure de la distance et de l'angle lors de la localisation de l'oiseau peut présenter une erreur d'environ 4 % lorsque l'objet se trouve au-dessus de la ligne d'horizon et d'environ 6 % lorsqu'il se trouve au-dessous de la ligne d'horizon (informations du fabricant).

La haute résolution de la caméra stéréo permet une reconnaissance plus précise des couleurs, des formes et des mouvements et donc une classification de l'objet détecté en fonction des classes d'objets programmées (espèces ciblées contre espèces non ciblées). Si l'objet détecté est attribué à une espèce ciblée, la caméra stéréo continue d'enregistrer l'objet, détermine sa trajectoire de vol et le documente. Toutefois, si l'objet est attribué à une espèce non ciblée (par exemple, des oiseaux d'une taille ou d'une couleur différente de celle de l'espèce ciblée), la caméra stéréo ignorera ensuite cet objet. Tout comme la caméra grand angle, la caméra stéréo peut suivre plusieurs objets simultanément en effectuant des mouvements de va-et-vient entre eux, selon la priorité programmée.

La caméra stéréo peut s'étalonner automatiquement (vérifier les mesures d'angle et d'éloignement et les corriger si nécessaire) à l'aide de deux panneaux d'étalonnage installés en permanence à une distance d'environ 300 m et 500 m de l'emplacement de la caméra. Les fenêtres de visualisation chauffées automatiquement des caméras (par exemple sous la pluie ou la neige) garantissent également qu'IDF peut être utilisé toute l'année. Selon le fabricant, le champ de vision vertical des caméras grand angle IDF s'étend de -1° à +64° et celui de la caméra stéréo IDF de -18° à +77°, ou -18° jusqu'à +83° pour une version du système utilisée à partir de 2020.

Chaque système IDF a donc une « zone aveugle » située directement au-dessus, à l'intérieur de laquelle aucun objet ne peut être détecté (figure 3). De plus, le fabricant précise un « angle mort » de 15° autour du soleil lorsque le ciel est dégagé si un objet se trouve directement devant le soleil du point de vue d'IDF. Selon le fabricant, les limitations du champ de vision d'IDF dues aux paramètres techniques mentionnés, à la position du soleil ou aux conditions topographiques peuvent être minimisées par un réseau de plusieurs systèmes IDF. Dans la présente étude, un système IDF a été utilisé par site d'étude.

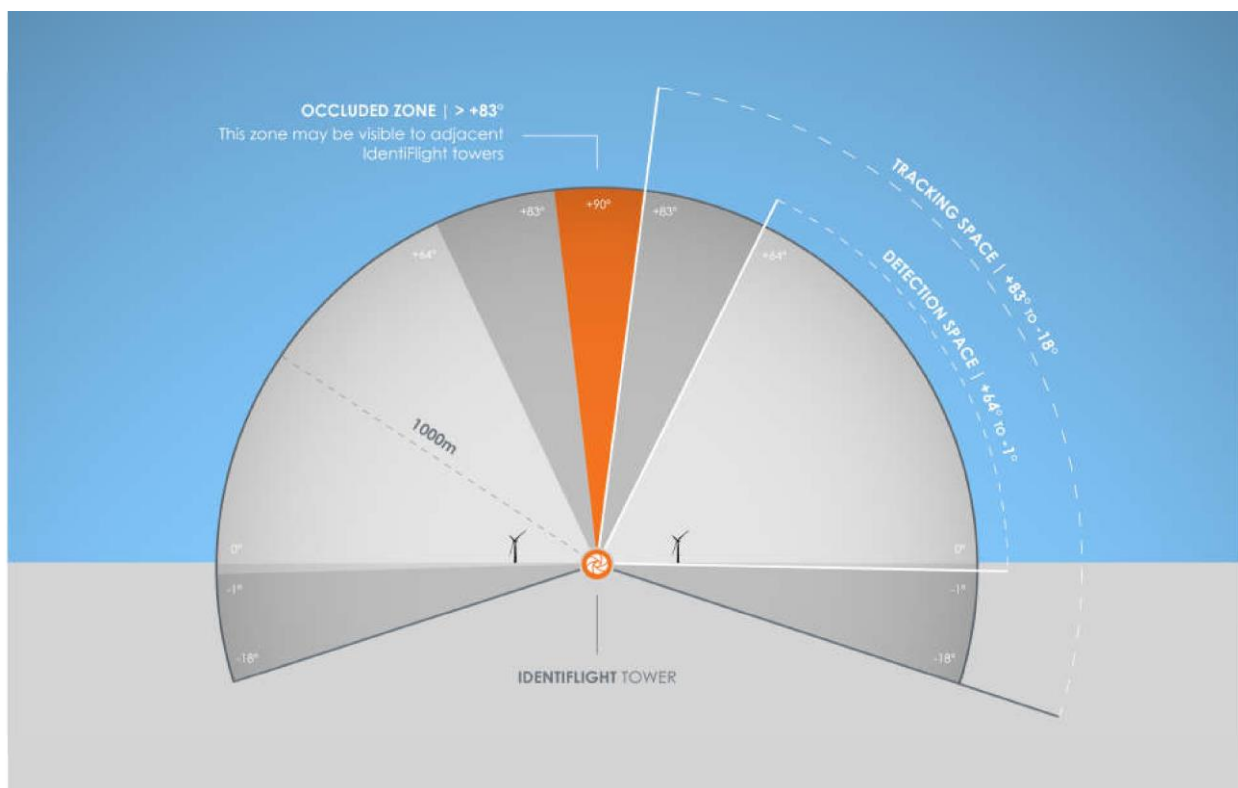


Figure 3 : Champ de vision d'un système IDF montrant la « zone aveugle » (occluded zone).
 Source : illustration du fabricant

2.2 Logiciel de classification

2.2.1 Algorithme de classification

La classification d'un objet en vol détecté est basée sur un réseau neuronal. Les informations de la caméra stéréo en temps réel (les photos haute résolution et les informations d'éloignement) sont utilisées par le réseau neuronal pour déterminer, entre autres, la longueur du corps, l'envergure, la position des ailes et la couleur de l'objet en vol.

L'objet en vol est alors classé à partir de la combinaison de ces caractéristiques, associée à un indice de confiance associé. L'indice de confiance indique à quel point le système est certain de la classification. De plus, le système dispose d'un mécanisme de « fail-safe » basé sur des méthodes classiques de traitement d'images.

Un indice de confiance est déterminé pour chaque deuxième point de données et stocké par IDF sur la base d'une image de la caméra stéréo. Pour visualiser les données, comme dans la présente étude, par exemple, IDF combine des points de données suffisamment proches les uns des autres dans le temps et dans l'espace et ayant une direction de vol similaire dans ce qu'on appelle des « traces » avec un identifiant de trace. Cependant, ces traces ne sont pas pertinentes pour la décision de l'algorithme de classification.

La classification par le système IDF est caractérisée par une surpondération intentionnelle de précaution de l'erreur de faux positif. Cela signifie qu'en cas de doute, une espèce non ciblée est classée comme espèce ciblée plutôt que l'inverse. La classification n'est modifiée que lorsque l'indice de confiance pour les espèces non ciblées dépasse celui des espèces ciblées dans la détermination en cours.

En matière de suivi d'objets, IDF se concentre sur l'espèce ciblée, ce qui est également évident dans le temps qu'il faut à la caméra stéréo pour suivre un objet en vol. Ainsi, la longueur des traces est plus souvent significativement plus courte lorsqu'IDF suit une espèce non ciblée que lorsqu'elle suit une espèce ciblée (figure 4). De plus, IDF a la capacité de distinguer les espèces ciblées individuelles dans un essaim d'espèces non ciblées et de les suivre (informations fournies par le fabricant).

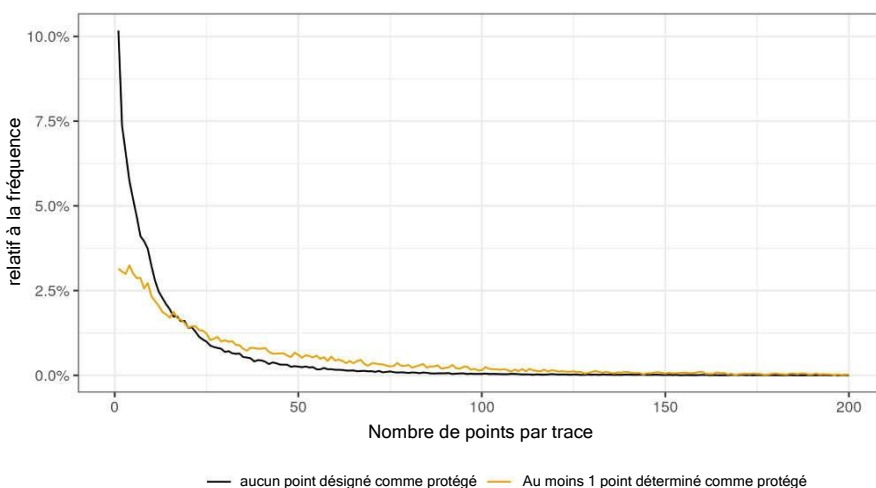


Figure 4 : Nombre de points par trace IDF pour une espèce ciblée (protégée) ou non ciblée (non protégée).

IDF enregistre les informations suivantes pour chaque point de données et les enregistre collectivement dans un fichier pour le jour respectif : ID de piste, horodatage, distance radiale (avec informations d'erreur) et distance horizontale, données x et y avec longitude et latitude géographiques, classification d'objet (espèce d'oiseaux) avec indice de confiance, hauteur au-dessus du sol et au-dessus du niveau de la mer, désignation et distance de l'éolienne la plus proche de l'objet ainsi qu'une photo de l'objet (figure 5). Pour minimiser la taille des données, la photo est recadrée à la taille de l'objet en vol avant d'être stockée. Les mouvements de vol pour lesquels un signal d'arrêt a été généré sont également stockés dans un fichier séparé avec les mêmes informations.

2.2.2 Entraînement du logiciel sur le Milan royal

Les performances du réseau neuronal sur lequel la classification est basée sont déterminées par les données sur lesquelles il a été entraîné, avec le principe suivant : plus il y a de données d'entraînement, meilleures sont les performances du réseau neuronal.

Afin que le système IDF puisse reconnaître de manière fiable une espèce ciblée, un nombre suffisant d'images de cette espèce ciblée (appelées True Files) doit être introduit, ainsi que d'autres images d'autres espèces similaires à l'espèce ciblée afin d'éviter les confusions. Cependant, le nombre réel d'images nécessaires pour entraîner le réseau neuronal sur une nouvelle espèce ciblée dépend fortement de la qualité des images d'entraînement (par exemple, la distance de l'objet capturé, les conditions d'éclairage et la diversité en termes de différents angles de vue).

Comme le système IDF n'avait pas encore été entraîné pour l'espèce ciblée, le Milan royal, au début de la présente étude, la première étape a été de collecter des données d'entraînement pour cette espèce ciblée. À cette fin, les photos prises par IDF sur les sites de Helfta et de Plate au cours de l'été 2018 ont été visionnées par le fabricant et attribuées aux espèces enregistrées dans chaque cas. Avec les True Files ainsi générés, le réseau neuronal a pu être entraîné pour la première fois pour l'espèce ciblée du Milan royal et utilisé à partir d'août 2018. Peu de temps après, IDF a commencé à être étudié pour ses performances de détection du Milan royal.

La première version du réseau neuronal a été entraînée avec des images prises sur une période d'environ trois mois sur différents sites (voir ci-dessous). En avril 2019, le fabricant a réalisé un test de classification avec des images de Milan royal qui n'étaient pas reconnues par le système. Ce test visait à montrer si l'apport de données d'entraînement supplémentaires pouvait encore améliorer la détection par IDF de l'espèce ciblée du Milan royal. Le test ayant prédit une amélioration significative, de nouvelles données d'entraînement ont été créées à partir des images déterminées des périodes d'étude 2018 et 2019 par ARSU GmbH et saisies dans le système en octobre 2019. Cela a permis d'améliorer la première version du réseau neuronal pour la classification des espèces ciblées et d'utiliser une seconde version pour les investigations en 2020 (sites de Bütow et Geislingen). Une particularité de la deuxième version est que les Milans royaux et les Milans noirs (*Milvus migrans*) forment la nouvelle catégorie « Red-or-Black-Kite ». Compte tenu de la similitude des deux espèces, cela devrait éviter toute confusion et ainsi réduire le taux de faux négatifs.

Les deux types ne sont plus différenciés et sont protégés de la même manière par l'arrêt programmé.

Dans la présente étude, les deux versions suivantes du réseau neuronal entraînées pour l'espèce ciblée du Milan royal ont été utilisées :

- viNet 2.1 (Version 1) - Août 2018 : premier réseau neuronal pour les systèmes IDF utilisés. Cette version du réseau neuronal a été entraînée avec des images d'espèces allemandes. Les images utilisées contiennent un large éventail d'images des espèces ciblées, qui ont été prises sur différents sites en Allemagne.
- viNet 2.2 v2 (Version 2) - Octobre 2019 : réseau neuronal actuel de tous les systèmes IDF utilisés ici. La deuxième version comprend un grand nombre d'images supplémentaires, en particulier des True Files supplémentaires pour le Milan royal (afin d'améliorer le taux de classification) et pour le Pygargue à queue blanche. Les images utilisées proviennent d'études menées dans divers sites allemands sur une période d'environ 12 mois.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Oldenbourg, 07/10/2021

The Regional Planning and
Environmental Research Group







TrackID	DateTimeStamp	RadialDistance	X	Y	Latitud	Longitu	SpeciesTypeName	ConfidenceLev	HeightAGL	HorizontalDistance	ClosestTurbi	TurbineDistance	Image
95df33f4-a4e0-4bf6-8f98-6f8ab713a7f1	4.17.2020 11:41:06,111	397,6852	561620	5390494	48,6645	9,836861	RED-OR-BLACK-KITE	1	93	385	FWEA-2	90,41352111	
95df33f4-a4e0-4bf6-8f98-6f8ab713a7f1	4.17.2020 11:41:08,113	383,3764	561605	5390505	48,6646	9,836659	RED-OR-BLACK-KITE	1	88	372	FWEA-1	78,72089748	
95df33f4-a4e0-4bf6-8f98-6f8ab713a7f1	4.17.2020 11:41:09,115	376,5801	561592	5390511	48,6646	9,836484	RED-OR-BLACK-KITE	1	89	365	FWEA-1	73,74848948	
95df33f4-a4e0-4bf6-8f98-6f8ab713a7f1	4.17.2020 11:41:10,116	371,4825	561586	5390516	48,6647	9,836403	RED-OR-BLACK-KITE	1	91	359	FWEA-1	71,04589854	
95df33f4-a4e0-4bf6-8f98-6f8ab713a7f1	4.17.2020 11:41:11,120	367,0082	561575	5390521	48,6647	9,836254	RED-OR-BLACK-KITE	1	92	354	FWEA-1	70,2360285	
95df33f4-a4e0-4bf6-8f98-6f8ab713a7f1	4.17.2020 11:41:12,121	360,7953	561570	5390528	48,6648	9,836188	RED-OR-BLACK-KITE	1	96	346	FWEA-1	68,87989329	

Figure 5 : Extrait des données originales stockées par IDF (Milan royal correctement identifié le 17/04/2020 sur le site d'étude de Geislingen).

2.3 Arrêt des éoliennes

Pour protéger l'espèce ciblée programmée (ici le Milan royal), IdentiFlight utilise un algorithme d'arrêt vectoriel (Time To Collision Method) basé sur deux cylindres d'éloignement (cylindre d'éloignement extérieur et intérieur) autour de l'éolienne (figure 6). Les cylindres d'éloignement s'étendent du sol jusqu'à une hauteur définie H.

Chaque seconde, IDF enregistre un point de données pour lequel, entre autres, la position et la direction du vol du Milan royal détecté sont calculées par IDF à partir des données de 10 Hz.

Tant que le Milan royal reste à l'extérieur du cylindre d'éloignement extérieur (avec un rayon de R_{max} et une hauteur de H_{max}), aucun signal d'arrêt n'est émis. Cependant, si le Milan royal descend en dessous de cette distance (R_{max}), un signal d'arrêt est toujours généré lorsque l'oiseau est sur un « parcours de collision ». Cela signifie que le vecteur de sa route de vol, après un certain temps t (temps nécessaire à l'éolienne pour mettre le rotor en mode rotation), traverse la surface du rotor de l'éolienne à direction et vitesse de vol constantes.

Lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur (avec un rayon de R_{min} et une hauteur de H_{min}), un signal d'arrêt est toujours émis, quelles que soient la direction de vol et la vitesse du Milan royal. Si le Milan royal est à nouveau en dehors du cylindre d'éloignement intérieur pendant un certain temps (temps d'hystérésis) et qu'aucune autre condition d'arrêt n'est remplie (pas de trajectoire de collision), la commande d'arrêt est annulée et l'éolienne concernée revient en fonctionnement après ce temps d'hystérésis.

L'hystérésis a été mise en place pour éviter que, par exemple, l'encerclement d'un Milan royal près du bord du cylindre d'éloignement intérieur ne génère des signaux constants d'arrêt et d'allumage, afin de protéger l'éolienne de multiples arrêts inutiles. Après qu'un signal d'arrêt ait été envoyé par IDF à l'éolienne surveillée, celle-ci n'est remise en service que si aucune autre commande d'arrêt n'a été générée pendant la période d'hystérésis librement programmable.

Le rayon et la hauteur des cylindres d'éloignement peuvent être programmés de manière variable et dépendent essentiellement des dimensions de l'éolienne (hauteur du moyeu et rayon du rotor), du temps nécessaire à l'éolienne pour atteindre le mode de rotation à partir du signal d'arrêt et de la vitesse médiane de l'espèce ciblée. Le tableau 2 (voir chapitre 4.1.1) liste les paramètres définis pour les études réalisées.

La formule suivante a été utilisée pour calculer R_{min} au début de l'étude :

$$R_{min} = r + s * t$$

R_{min} est le rayon du cylindre d'éloignement intérieur, r est le rayon du rotor de l'éolienne, s est la vitesse de l'espèce ciblée et t est le temps nécessaire à l'éolienne pour passer de l'envoi du signal d'arrêt au mode rotation. Ce temps d'arrêt a été estimé à 30 secondes au début des études, ce qui a pu être confirmé par

des mesures propres dans la suite des études. La vitesse de vol était supposée être de 6,9 m/s avant le début des études. Sur la base de ces données, une zone à risque de 200 m (arrondi à partir de 207 m) a été définie autour de la zone rotorique de l'éolienne. Il en résulte la valeur suivante pour le R_{\min} du cylindre d'éloignement intérieur sur le site de Bütow, par exemple :

$$250,5 \text{ m} = 50,5 \text{ m} + 200 \text{ m}$$

La hauteur du cylindre d'éloignement intérieur a été fixée à 200 m sur la recommandation du fabricant.

Les valeurs pour les tailles de cylindre d'éloignement des sites respectifs sont reportées dans le tableau 2 du chapitre 4.1.2 et y sont expliqués plus en détail.

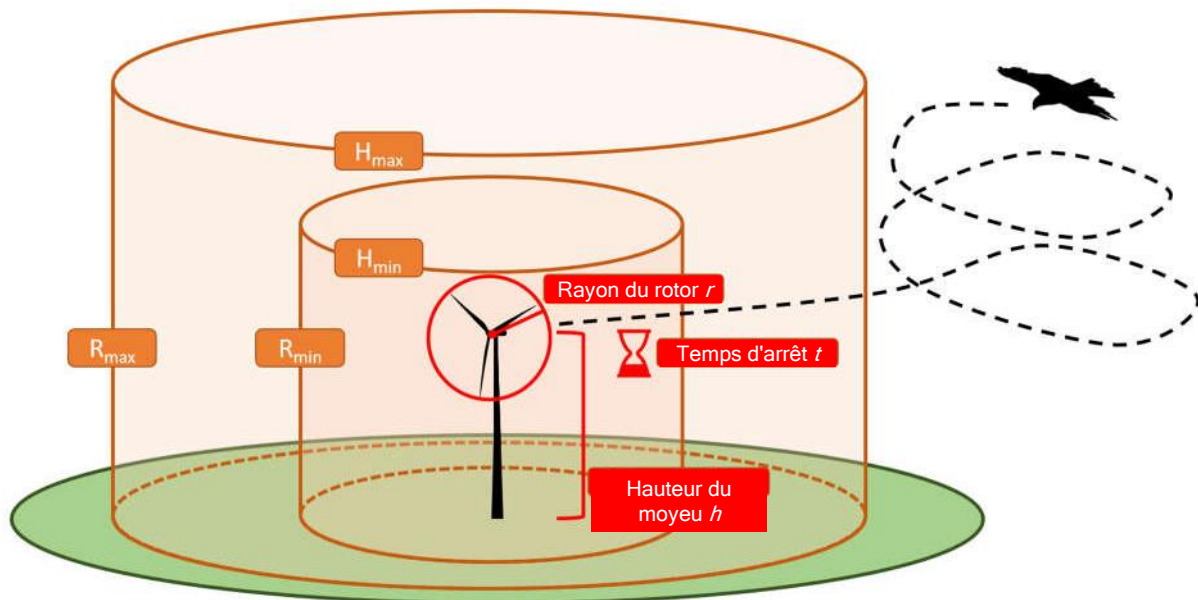


Figure 6 : Principes de base de l'algorithme d'arrêt à la demande d'IdentiFlight dans le cadre de cette étude

3 Questions et concept de recherche

3.1 Notions de base sur les tests système

Selon les recommandations du Centre de compétences pour la conservation de la nature et la transition énergétique (KNE 2019), il faut répondre à un certain nombre de questions dans le cadre d'un test du système à l'emplacement respectif afin d'obtenir une représentation différenciée des performances du système en fonction des différentes caractéristiques de l'emplacement et conditions dominantes :

1. Quelle couverture spatiale et temporelle est fondamentalement réalisée par le système éprouvé et quels sont les facteurs limitatifs et spécifiques au site ?
2. À quelle distance de l'éolienne les objets pertinents en vol sont-ils enregistrés en toute sécurité et quels facteurs peuvent-ils influencer cela ?
3. Combien d'objets réels en vol sont-ils enregistrés ?
4. Dans quelle mesure le système différencie-t-il correctement les objets enregistrés en vol en classes spécifiques au système (par exemple, des oiseaux de grande ou moyenne taille ou des espèces ciblées spécifiques) ?
5. Quelle efficacité et quelle efficience sont atteintes-elles par la réaction du système, c'est-à-dire par la génération de signaux d'arrêt ?

Cela se traduit par les critères de test spécifiés par le KNE (2019), sur la base desquels l'efficacité d'IDF pour protéger le Milan royal des collisions avec les éoliennes a été vérifiée dans la présente étude :

- couverture spatiale et temporelle,
- portée de détection
- taux de détection,
- taux de classification,
- efficacité et efficience de l'arrêt.

Entre-temps, la KNE a partiellement élaboré des propositions de normes d'évaluation quantitative pour ces critères.³ Ceux-ci sont discutés au chap. 6.2 utilisé pour classer les résultats obtenus dans la présente étude.

³ https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/20201014_KNE_Vortrag_Bruns_Streifeler_KNE.pdf, version du 24/04/2021

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

3.2 Critères de test

L'étude réalisée couvre une période de trois ans (2018 à 2020) sur deux sites de parcs éoliens différents par an (un total de six parcs éoliens différents). Pendant ce temps, les critères de test spécifiés par le KNE (2019) ont été examinés comme suit.

Pour la couverture spatiale et temporelle par IDF, les données des six sites ont été analysées en ce qui concerne les temps d'arrêt et les ombres visuelles afin de déterminer les déclarations sur la disponibilité temporelle du système ainsi que les éventuelles contraintes de la surveillance de la zone d'observation autour des éoliennes respectives.

La distance jusqu'à laquelle les Milans royaux ont été détectés par le système a été déterminée à chaque site (portée de détection).

Pour vérifier le taux de détection, les données de référence doivent être collectées par un deuxième système (KNE 2019). Les performances du second système, quant à elles, doivent être suffisamment connues par rapport aux questions du test. Lors d'un premier test effectué en 2018, les données GPS d'un drone ont été utilisées pour tester les performances générales de détection d'IDF et pour déterminer la précision de la localisation d'IDF. Ensuite, sur les six sites, le taux de détection des Milans royaux dans le champ de vision d'IDF a été comparé aux données de trajectoire de vol recueillies par un télémètre laser (LRF). En 2020, cette comparaison a été élargie pour inclure des données supplémentaires du Milan royal transmises par GPS.

Le taux de classification correcte (espèces ciblées par rapport aux espèces non ciblées) a été déterminé pour les six sites en comparant les photos déterminées manuellement avec la classification respective par IDF. Les deux versions du réseau neuronal qui ont été utilisées (voir chapitre 2.2.2) ont été considérées séparément.

L'efficacité du système IDF en termes de contrôle opérationnel correct de l'éolienne pour protéger le Milan royal du risque de collision a été déterminée par des arrêts virtuels et réels. Les trois scénarios suivants ont été utilisés pour cela : 1. Le système IDF simule un arrêt virtuel d'une éolienne virtuelle. 2. Le système IDF simule un arrêt virtuel d'une éolienne réelle. 3. Le système IDF déclenche un arrêt réel d'une éolienne réelle.

En plus des critères de test développés par KNE (2019), des paramètres de comportement de vol du Milan royal, à savoir la vitesse de vol (horizontal et vertical) et l'altitude de vol, ont également été examinés dans la présente étude. Ceux-ci sont essentiels afin de pouvoir dériver des algorithmes d'arrêt optimisés spécifiques aux espèces pour les éoliennes. Les données générées par IDF avec une haute résolution temporelle et spatiale ont été utilisées pour déterminer les paramètres de comportement de vol.

Pour les performances du système IDF, il est également crucial de déterminer quels facteurs d'influence externes pourraient limiter le taux d'enregistrement. Influence des conditions météorologiques

Les facteurs influençant les précipitations et la position du soleil ont été identifiés et évalués au regard des éventuelles contraintes.

3.3 Série de projets

Les études ont été coordonnées et financées par e3 GmbH (Figure 7). Le suivi et la gestion technique du projet étaient sous la responsabilité d'ARSU GmbH, l'évaluation des données a été prise en charge par OekoFor GbR. Les données LRF ont été collectées par le bureau d'architecture paysagiste Oevermann, Ökotop GbR et sur le site de Geislingen par l'Institut suisse d'ornithologie. Le rapport a été créé conjointement par ARSU GmbH et OekoFor GbR.

Un suivi externe du projet a été mis en place par TÜV Nord Systems GmbH & Co. KG pour maintenir la neutralité et l'assurance qualité de l'étude. Cela a permis de s'assurer que l'étude a été réalisée selon les règles spécifiées et a enregistré les conditions cadres correspondantes (institutions et personnes participantes, dispositif expérimental, mise en œuvre, particularités, etc.).

Une tâche centrale consistait à surveiller la collecte de données neutres. À cet effet, TÜV Nord a mis à disposition un serveur sur lequel toutes les données collectées auprès des observateurs (données LRF et fiches de protocole) ont été transmises avant 12 h 00 le jour ouvrable suivant le jour de l'étude. TÜV Nord a ensuite fourni aux données une signature numérique afin de rendre reconnaissable toute manipulation ultérieure. Les données ne pouvaient être diffusées et évaluées qu'après que les données collectées aient été transmises et documentées par tous les acteurs. Tant la collecte des données que leur évaluation ont été contrôlées sur la base d'un échantillon.

Les données enregistrées par IDF (trajectoires de vol et photos des oiseaux enregistrés) ont été stockées sur place et accessibles à distance. À partir de là, les données ont également été mises à disposition sur le serveur TÜV Nord.

Les bureaux d'Oevermann et d'Ökotop ont téléchargé les données LRF directement sur le serveur TÜV Nord sous forme de fichier csv. Cela comprenait une feuille de protocole et un tableau météorologique. Pour illustrer les conditions météorologiques, des photos ont été prises à chaque date, qui ont été mises à disposition sur le serveur du TÜV Nord avec tous les autres résultats.

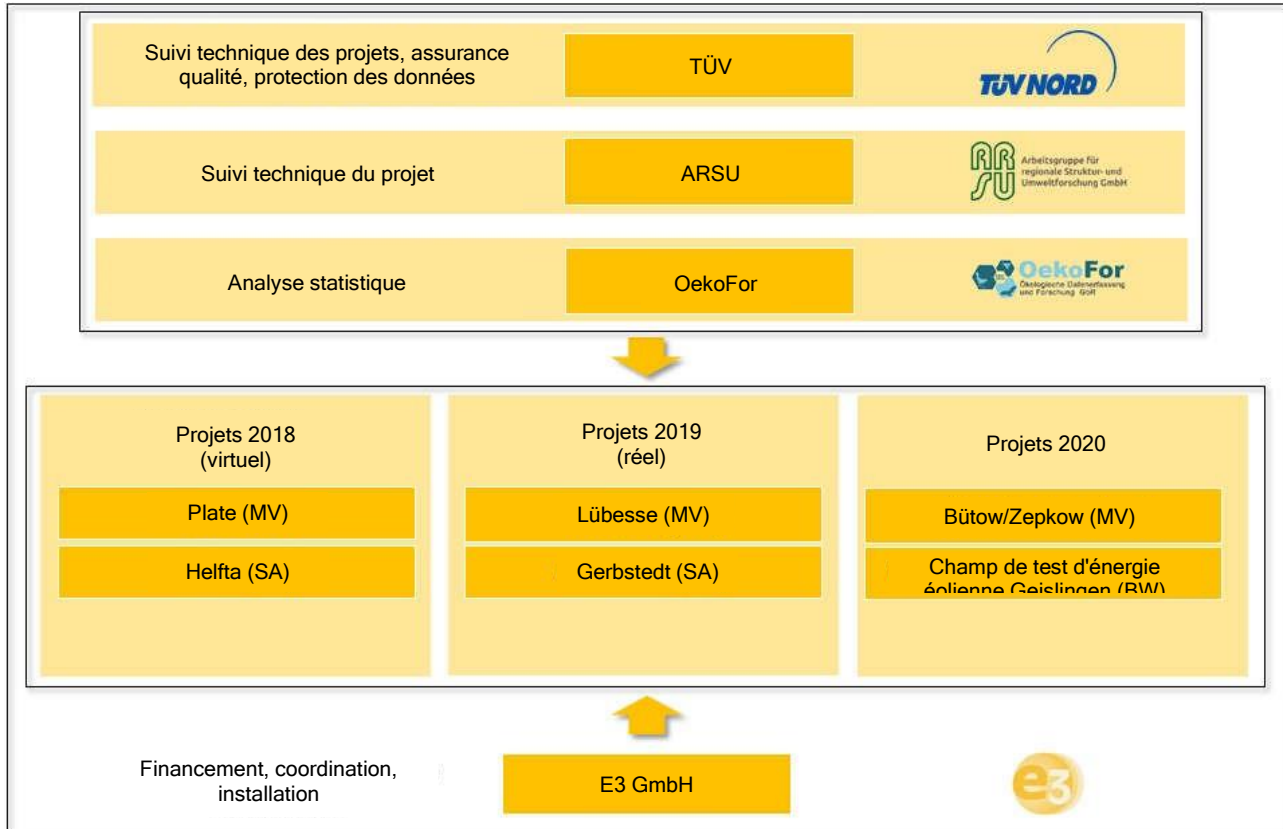


Figure 7 : Série de projets pour vérifier l'efficacité d'IdentiFlight

4 Méthodologie

4.1 Domaines d'étude

4.1.1 Aperçu

Les études ont été menées entre 2018 et 2020 sur six sites des États fédéraux de Mecklembourg-Poméranie occidentale, de Saxe-Anhalt et de Bade-Wurtemberg (figure 7 et figure 8), qui ont été spécifiquement sélectionnés en fonction des activités de vol à haute altitude du Milan royal. Tous les sites, à l'exception de Geislingen, se trouvent dans des zones naturelles similaires et présentent des conditions paysagères comparables. Il s'agit de sites ouverts à usage agricole, typiques de nombreuses zones potentielles où l'énergie éolienne peut être utilisée. En raison de la faible proportion de forêt et du relief largement plat, les sites d'étude sélectionnés sont adaptés pour tester IDF (peu d'occultation). Seul le site de Geislingen diffère à cet égard et présente un relief plus prononcé dans certaines zones, avec des différences de hauteur pouvant atteindre 150 m dans la zone d'observation d'IDF. De plus, Geislingen est le site dont la proportion de forêt est de loin la plus importante dans la zone d'observation d'IDF (figure 14).

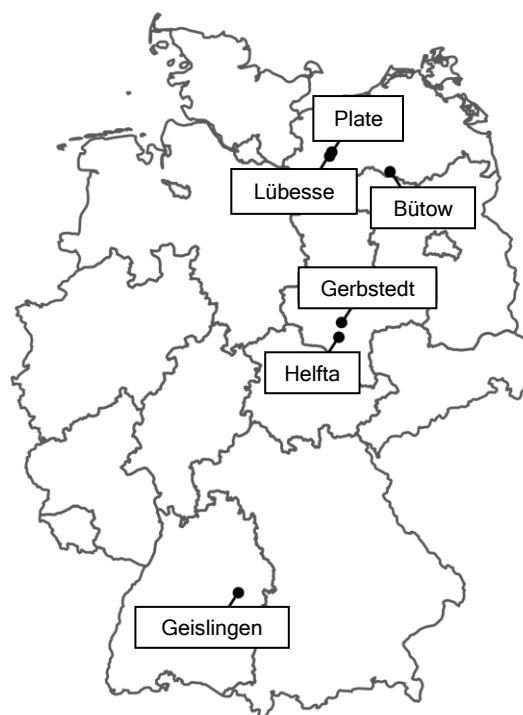


Figure 8 : Localisation des zones d'étude en 2018 (Helfta et Plate), 2019 (Gerbstedt et Lübesse) et 2020 (Bütow et Geislingen)

4.1.2 Programmation d'arrêt

Le Milan royal a été spécifié comme l'espèce ciblée pour laquelle un arrêt a dû être déclenché pour tous les sites (tableau 1). Dans la version 1 du réseau neuronal, on l'appelait le « Red-Kite », dans la version 2 le « Red-Black-Kite », qui comprenait alors également le Milan noir similaire. Pour les années 2019 et 2020, le Pygargue à queue blanche et d'autres aigles ont été ajoutés comme espèces ciblées, qui ne font toutefois pas l'objet de cette étude et sont évalués séparément. En 2020, la version 2 du réseau neuronal a ajouté l'espèce ciblée « Protégé », qui comprenait tous les grands oiseaux qui étaient auparavant classifiés comme « Aigle » mais n'étaient pas des aigles (par exemple, cigognes, grues).

Tableau 1 : Espèces ciblées programmées pour lesquelles l'éolienne a été arrêtée.

Site	Année	Réseau neuronal	Espèce ciblée (arrêt)			
Helfta	2018	Version 1	Milan royal			
Plate	2018	Version 1	Milan royal			
Gerbstedt	2019	Version 1	Milan royal	Aigle à queue blanche	Aigle	
Lübesse	2019	Version 1	Milan royal	Aigle à queue blanche	Aigle	
Bütow	2020	Version 2	Milan royal ou noir	Aigle à queue blanche	Aigle	Protégé
Geislingen	2020	Version 2	Milan royal ou noir	Aigle à queue blanche	Aigle	Protégé

Comme il n'y avait pas d'éoliennes sur les sites de Helfta, Plate et Geislingen au moment de l'étude, des éoliennes virtuelles ont été simulées pour ces sites et les arrêts ont été effectués virtuellement. Il existait déjà des éoliennes sur les sites de Gerbstedt, Lübesse et Bütow, qui ont été arrêtées sous forme réelle ou virtuelle pendant une partie des recherches. Selon la disponibilité sur le site, une à trois éoliennes ont été couvertes par IDF et arrêtées selon les besoins (tableau 2).

Comme décrit au chapitre 2.3, un cylindre d'éloignement intérieur et extérieur est placé autour de chaque éolienne (figure 10 à figure 14). Étant donné que ceux-ci sont adaptés aux éoliennes spécifiques au projet (temps d'arrêt et rayon du rotor) afin d'arrêter les éoliennes à temps en cas de besoin, ils sont de tailles différentes dans les différentes zones d'étude. Les rayons et les hauteurs des cylindres d'éloignement intérieur et extérieur de tous les sites d'étude sont indiqués dans le tableau 2. Pour le site de Bütow, deux périodes sont indiquées dans le tableau 2, car les cylindres ont été ajustés après environ un mois aux valeurs actualisées de la vitesse de vol du Milan royal et au temps nécessaire pour que les éoliennes passent en mode rotation (voir le chapitre 2.3 Arrêt).

Sur les sites de Helfta et de Plate, deux minutes ont été choisies comme temps d'hystérésis (tableau 2). Afin de minimiser davantage les arrêts multiples, le temps d'hystérésis a été étendu à trois minutes pour les sites de Gerbstedt, Lübesse, Bütow et Geislingen (tableau 2).

La durée entre l'émission du signal d'arrêt et le passage de l'éolienne en mode ralenti (TTC, Time To Collision) a été estimée à 30 secondes au début des études (voir chapitre 2.3) et vérifiée par des essais d'arrêt sur les sites de Lübesse, Gerbstedt et Bütow. Au cours de ce processus, les 30 secondes ont été confirmées ou minorées. Il n'a pas été procédé à un ajustement ultérieur, car les tests ont permis de confirmer que la valeur était raisonnable.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Oldenbourg, 07/10/2021

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tableau 2 : Caractérisation des sites par rapport aux éoliennes, leurs spécifications et les valeurs résultantes pour les cylindres d'éloignement sur lesquels est basé l'algorithme d'arrêt. Les cylindres commencent par le bas et ont une hauteur de H_{min} et H_{max} . (V : éolienne virtuelle, R : éolienne réelle, TTC : Time To Collision)

Site	Période de détection	Nombre d'éoliennes (V/R)	Arrêt virtuel/réel	Type d'éolienne	Hauteur du moyeu (m)	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du bord inférieur du rotor (m)	R_{min} (m)	H_{min} (m)	R_{max} (m)	H_{max} (m)	Hystérésis	TTC (s)
Helfta	15/08/2018 - 18/10/2018	3 (V)	virtuel	Enercon E-115	135	115	77,5	257,5	200	750	400	120	30
Plate	15/08/2018 - 18/10/2018	1 (V)	virtuel	Enercon E-115	135	115	77,5	257,5	200	750	400	120	30
Gerbstedt	12/07/2019 - 10/08/2019	3 (R)	réel	GE 1.5s	64,7	70,5	29,5	235,0	200	750	400	180	30
Lübesse	01/07/2019 - 19/09/2019	1 (R)	réel	Nordex S70	65	70	30	235,0	200	750	400	180	30
Bütow 1	30/04/2020 - 28/05/2020	2 (R)	1 virtuel 1 réel	Enercon E-101	149	101	98,5	251,0	200	750	400	180	30
Bütow 2	29/05/2020 - 28/07/2020	2 (R)	1 virtuel 1 réel	Enercon E-101	149	101	98,5	291,5	200	600	400	180	29
Geislingen	16/04/2020 - 16/06/2020	2 (V)	virtuel	SG705.54	73	54	46	227,0	200	750	400	180	30

4.1.3 Couverture spatiale et plan du site

La couverture spatiale d'un site décrit la capacité d'IDF à étudier l'espace tridimensionnel pertinent sous des contraintes telles que les ombres visuelles (par exemple, par des arbres ou d'autres éoliennes) ou les différences de relief, et montre comment ces influences affectent l'efficacité du système sur le site. Comme elles diffèrent d'un site à l'autre, les contraintes respectives et les caractéristiques particulières des différents sites sont examinées ci-dessous.

Le paysage de la zone d'étude de **Helfta** est principalement constitué de zones agricoles et ne contient pratiquement aucun élément susceptible de limiter la couverture spatiale du système IDF (figure 9). De plus, il n'y a pas d'éoliennes à Helfta, c'est pourquoi elles ne peuvent pas causer d'ombre visuelle (figure 15). Pour des raisons techniques, il n'y a pas d'images stockées des caméras grand angle pour le site de Helfta, contrairement aux autres sites.

À Helfta, IDF n'était qu'à 260 m des trois éoliennes virtuelles (figure 9). Le rayon de visibilité de 750 m couvrait ainsi entièrement les cylindres d'éloignement intérieurs des trois éoliennes virtuelles. Cependant, le bord extérieur du cylindre d'éloignement extérieur n'a pas pu être complètement recouvert dans toutes les directions. Cela n'a pas limité l'arrêt dans le cylindre d'éloignement intérieur, mais l'arrêt à l'aide de la méthode TTC dans le cylindre extérieur ne pouvait se produire qu'à la portée visuelle d'IDF.

Dans la zone d'étude à Helfta, un nid de Milan royal a été recensé à environ 2 000 m au nord-est du système IDF. Il était également connu d'après des études préliminaires que cette zone est fortement fréquentée par les Milans royaux en quête de nourriture.

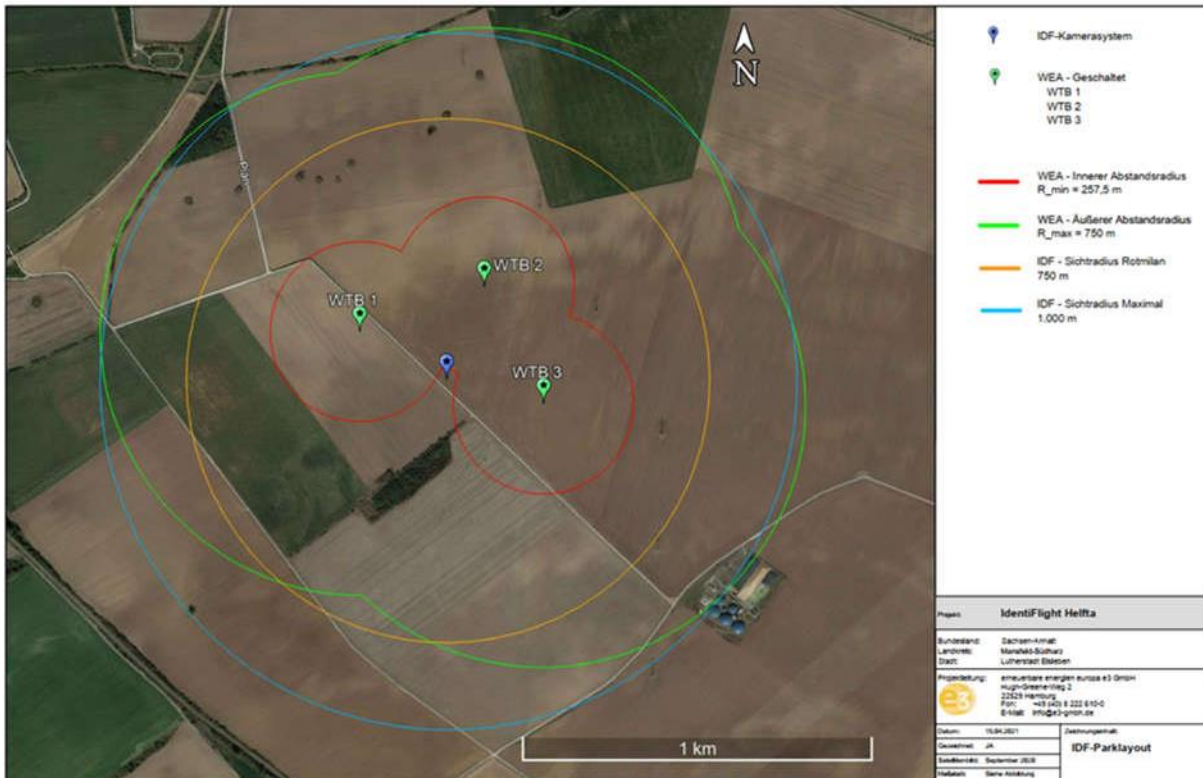


Figure 9 : Zone d'étude Helfta avec site IDF et emplacement de l'éolienne virtuelle

Le paysage de la zone d'étude de **Plate** se compose principalement de zones à usage agricole et ne montre pratiquement aucun élément vers le nord qui pourrait limiter la couverture spatiale du système IDF (figure 10). Au sud, il y a une rangée d'arbres à environ 300 m d'éloignement, qui ont dû être masqués afin d'éviter les interférences avec la caméra en raison des arbres en mouvement. Cela signifie que la détection des vols bas vers le sud n'est possible que dans une mesure limitée (figure 16 et figure 17). Les éoliennes n'étaient pas disponibles.

À Plate, IDF était à environ 250 m de l'éolienne virtuelle et donc sur le bord du cylindre d'éloignement intérieur (figure 10). Le rayon de visibilité de 750 m couvrait ainsi entièrement les cylindres d'éloignement intérieurs des trois éoliennes virtuelles. Le cylindre d'éloignement extérieur pourrait être complètement surveillé par IDF au sud, mais au nord, IDF n'a pas pu couvrir complètement le cylindre extérieur avec une visibilité de 750 m.

Dans la zone d'étude de Plate, un nid de Milan royal a été recensé à environ 1 300 m au nord-ouest du système IDF.

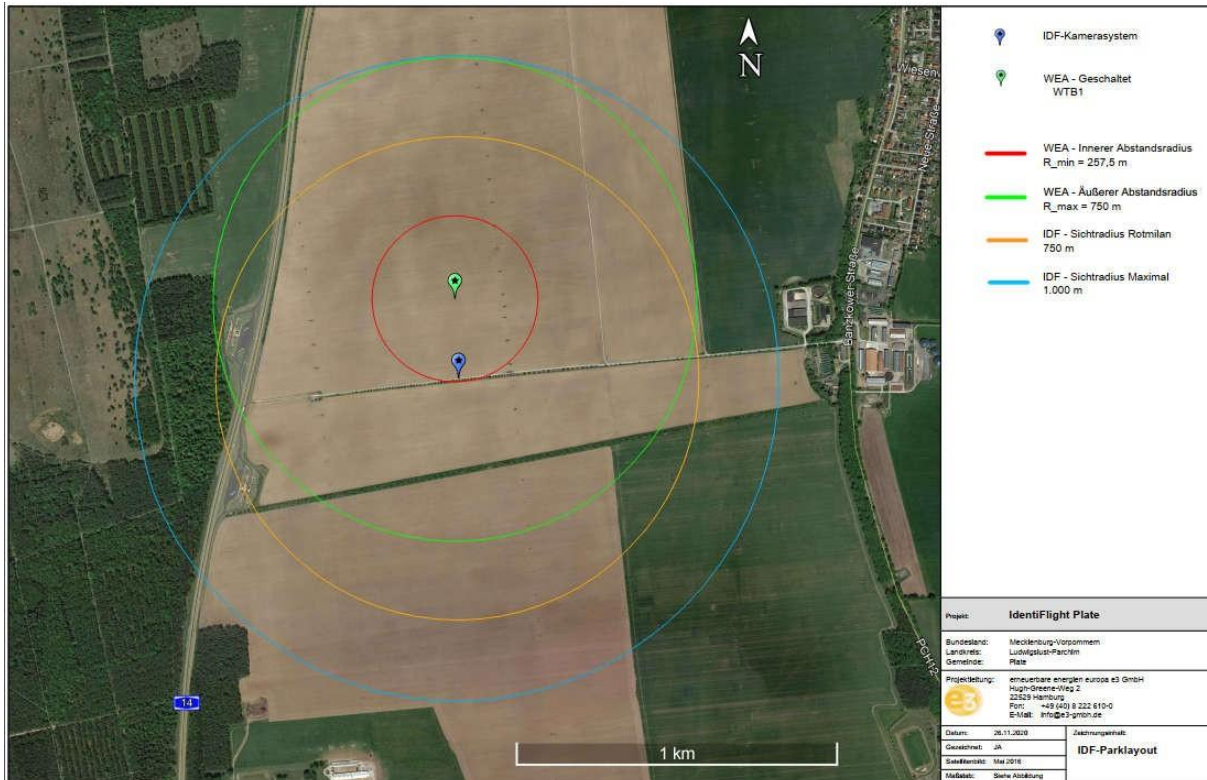


Figure 10 : Zone d'étude de Plate avec emplacement IDF et localisation de l'éolienne virtuelle

Le paysage de la zone d'étude de **Gerbstedt** est principalement constitué de zones agricoles et contient plusieurs haies ou structures ligneuses qui pourraient limiter la couverture spatiale du système IDF (figure 11). Surtout au sud-est du système IDF, il y a une rangée d'arbres sur le site, ce qui restreint la vue à proximité du sol en direction de l'éolienne 9 (figure 18 et figure 19). La zone d'étude fait partie du parc existant de Gerbstedt avec 9 systèmes GE 1.5s, qui fournissent un ombrage visuel isolé à petite échelle, en particulier vers le sud. Trois des neuf systèmes ont été surveillés sur place par le système IDF et ont effectivement été arrêtés (tableau 2).

À Gerbstedt, IDF était situé à environ 240 m de deux des trois éoliennes (7 et 9) et à environ 400 m de l'éolienne 6 (figure 11). Le rayon de visée de 750 m couvrait donc entièrement le cylindre d'éloignement intérieur des trois éoliennes. Les cylindres d'écartement extérieurs ne pourraient pas être complètement recouverts à l'ouest et à l'est et en particulier le cylindre d'écartement extérieur de l'éolienne 6 ne pourrait pas être complètement recouvert par IDF au sud.

Dans la zone d'étude de Gerbstedt, trois nids de Milans royaux ont été recensés à environ 3 000 m au sud du système IDF.

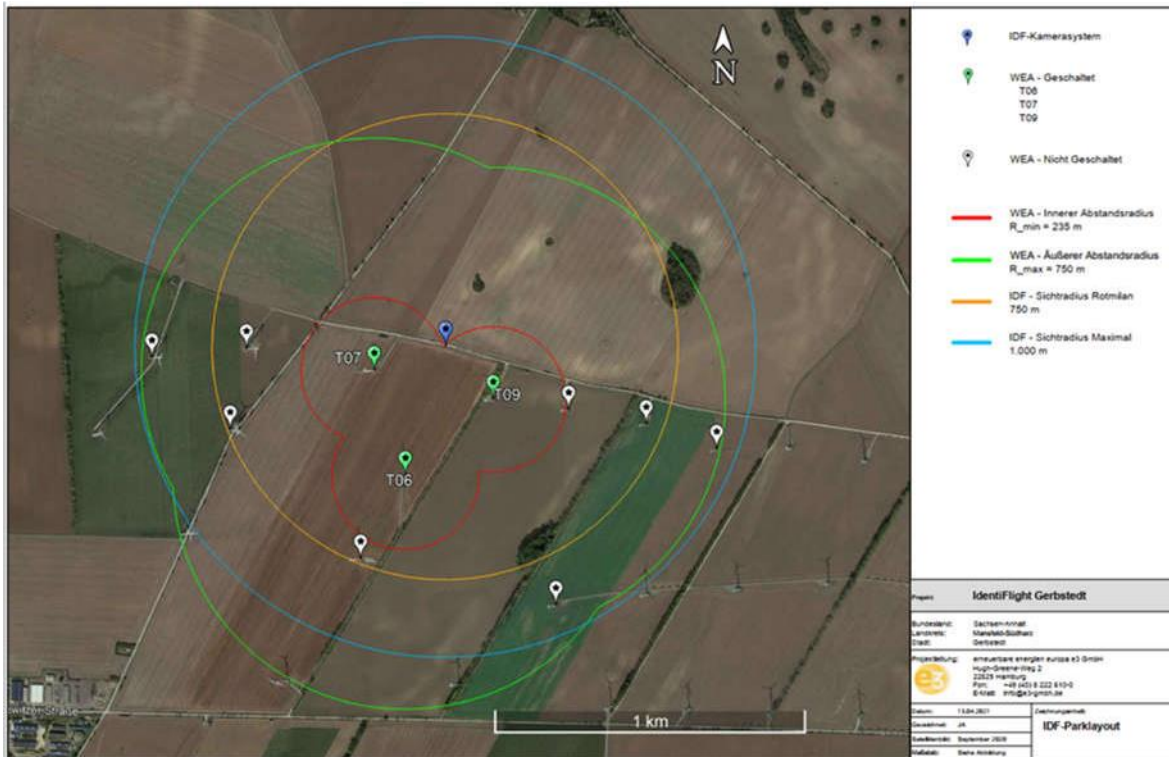


Figure 11 : Zone d'étude de Gerbstedt avec site IDF et emplacement de l'éolienne existante

Le paysage de la zone d'étude de **Lübesse** qui se compose principalement de zones agricoles et, à l'exception d'une petite zone forestière à la limite orientale du champ visuel d'IDF, ne montre pratiquement aucun élément qui pourrait limiter la couverture spatiale du système IDF (figure 12). La zone d'étude fait partie du parc existant de Lübesse avec 14 turbines Nordex S70, qui fournissent une occultation occasionnelle (figure 20 et figure 21). L'un de ces systèmes a été surveillé sur place par le système IDF et a effectivement été arrêté (tableau 2).

À Lübesse, IDF était situé à environ 150 m de l'éolienne surveillée. Le rayon de visibilité de 750 m couvrait ainsi entièrement le cylindre d'éloignement intérieur. Le cylindre d'éloignement extérieur a également pu être presque entièrement capturé par IDF (figure 12).

Dans la zone d'étude de Lübesse, un nid de Milan royal a été recensé dans le bois à environ 700 m à l'est du système IDF.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research

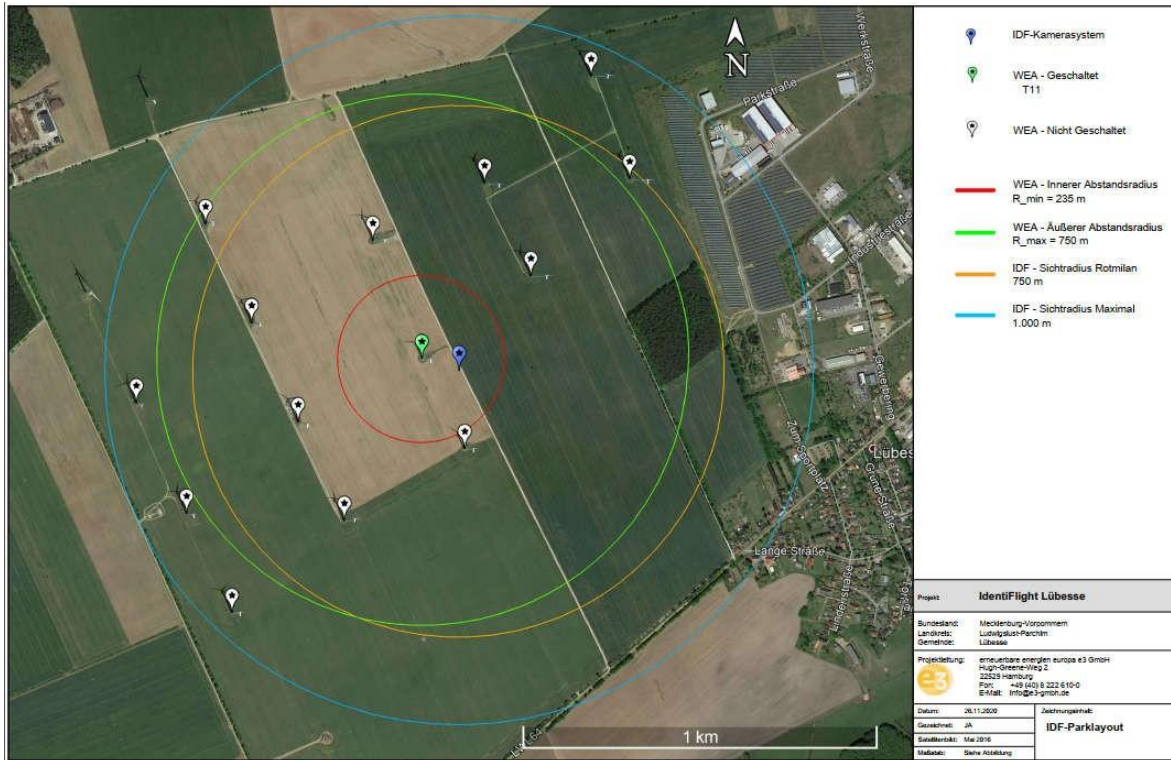


Figure 12 : Zone d'étude de Lübese avec site IDF et emplacement de l'éolienne existante

Le paysage de la zone d'étude de **Bütow** se compose principalement de zones agricoles et comprend plusieurs petites zones forestières (figure 13). En particulier, les zones forestières à l'est et au sud-ouest du système IDF ont entraîné des contraintes mineures du champ de vision dans la zone légèrement au-dessus de la ligne d'horizon (figure 22 et figure 23). La zone d'étude fait partie du parc Bütow existant avec 41 systèmes DEWind D4 (32 unités) et Enercon E-101 (9 unités). Certains de ces systèmes offraient une légère ombre visuelle (figure 23), l'emplacement ayant été choisi par IDF afin que les zones forestières avec des nids potentiels de Milan royal puissent être vues très clairement. L'éolienne 13, qui est située à l'est du système IDF, a été effectivement à l'arrêt, tandis que l'éolienne 11 à l'ouest du système IDF a été virtuellement simulée et arrêtée (tableau 2).

À Bütow, IDF était situé au milieu des deux éoliennes 11 et 13 à une distance d'environ 150 à 200 m chacune (figure 13). À Bütow, après environ un mois d'enquête, le calcul de la taille des cylindres d'éloignement a été ajusté aux valeurs actuelles de la vitesse de l'air et du temps d'arrêt des éoliennes sur le site, car à partir de ce moment-là, une base de données suffisante avait été créée par IDF pour utiliser les nouvelles valeurs déterminées (voir chapitre 2.3). À la suite de cette adaptation, le rayon du cylindre d'éloignement intérieur a légèrement augmenté et le rayon du cylindre d'éloignement extérieur a légèrement diminué (tableau 2, figure 13). Le rayon de visibilité de 750 m couvrait complètement les cylindres d'éloignement intérieur des deux éoliennes pour les deux variantes. Les cylindres d'éloignement extérieurs ne pouvaient pas être complètement

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

couverts dans la première variante, mais après avoir ajusté les cylindres, la quasi-totalité de la plage des cylindres extérieurs a été couverte.

Dans la zone d'étude de Bütow, un nid de Milan royal a été recensé dans le bois à environ 450 m à l'est du système IDF. Le nid d'aigle à cet endroit se trouvait donc dans la zone limite du cylindre d'éloignement intérieur.

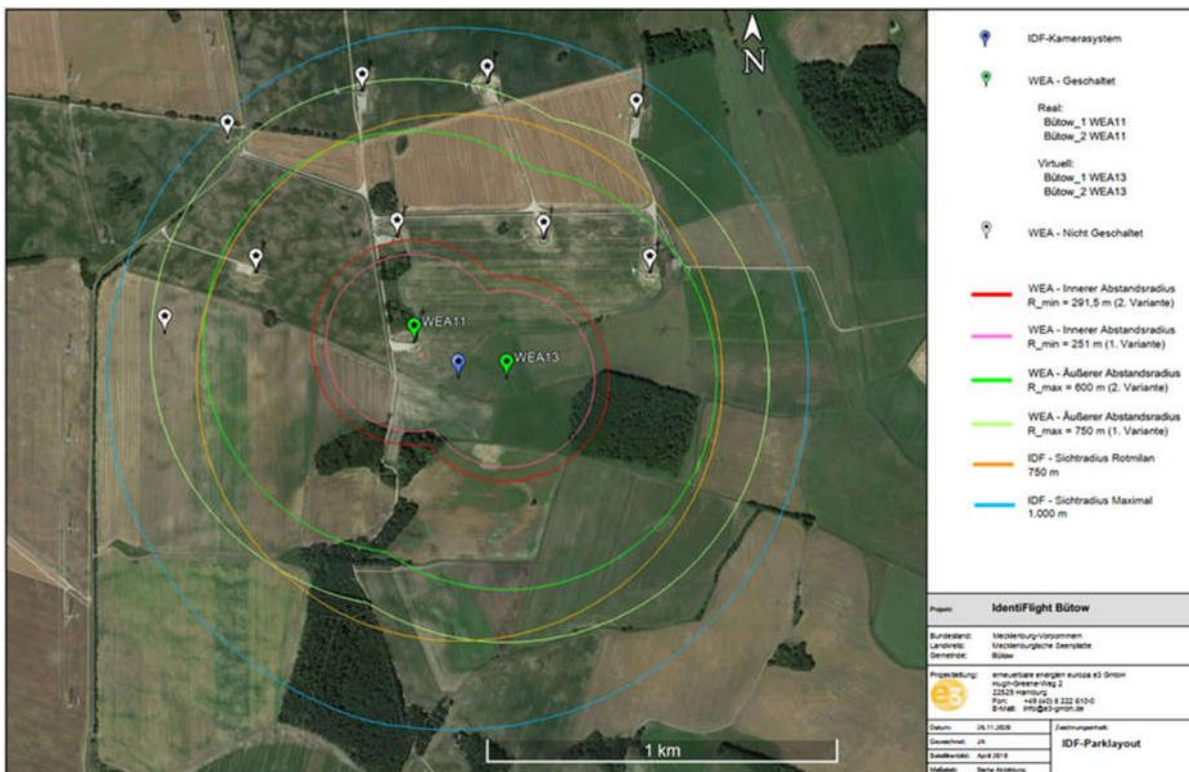


Figure 13 : Zone d'étude Bütow avec site IDF et situation de l'éolienne existante (ci-dessus)

Le paysage de la zone d'étude de **Geislingen** se compose en grande partie de zones agricoles. En outre, plusieurs structures sont présentes dans la zone d'étude qui ont restreint le champ de vision d'IDF, du moins à proximité du sol. Il s'agit, par exemple, de zones forestières plus importantes au nord et à l'ouest du système IDF (figure 14) et d'une porcherie ainsi que de plusieurs routes qui ont dû être masquées pour des raisons de protection des données, réduisant ainsi le champ de vision d'IDF (figure 24 et figure 25).

De plus, le terrain est fortement incliné vers l'ouest, ce qui a encore restreint le champ de vision d'IDF. La zone d'étude fait partie du champ d'essai d'énergie éolienne du Jura souabe WindForS⁴.

⁴ <https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/projekte/natforwinsent-naturschutz-im-windtestfeld/>, version du 27/05/2021

Dans quelle mesure Identiflight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

Au moment de l'étude, il n'y en avait que deux sur place et pas encore d'éoliennes. Dans la zone sud d'IDF, les mâts de mesure du vent assurent une faible visibilité, similaire à ce qui serait causé par les éoliennes (figure 24 et figure 25).

À Geislingen, IDF était situé relativement loin au nord des deux éoliennes prévues, à une distance d'environ 300 m et 450 m respectivement (figure 14). Ces positions par rapport aux éoliennes n'étaient pas optimales en raison du grand éloignement, mais ont dû être choisies à Geislingen en raison de l'alimentation électrique limitée, qui a dû être prise en compte en conséquence dans les évaluations. Le rayon de visibilité de 750 m couvrait complètement les cylindres d'éloignement intérieurs des deux éoliennes, mais ne couvrait que partiellement les cylindres d'éloignement extérieurs. En particulier, le bord sud du cylindre d'éloignement extérieur de l'éolienne sud ne pouvait être recouvert que de manière très limitée par IDF.

Dans la zone d'étude de Geislingen, il y avait un nid de Milan royal connu transmissible dans la zone forestière à environ 250 m au nord du système IDF.

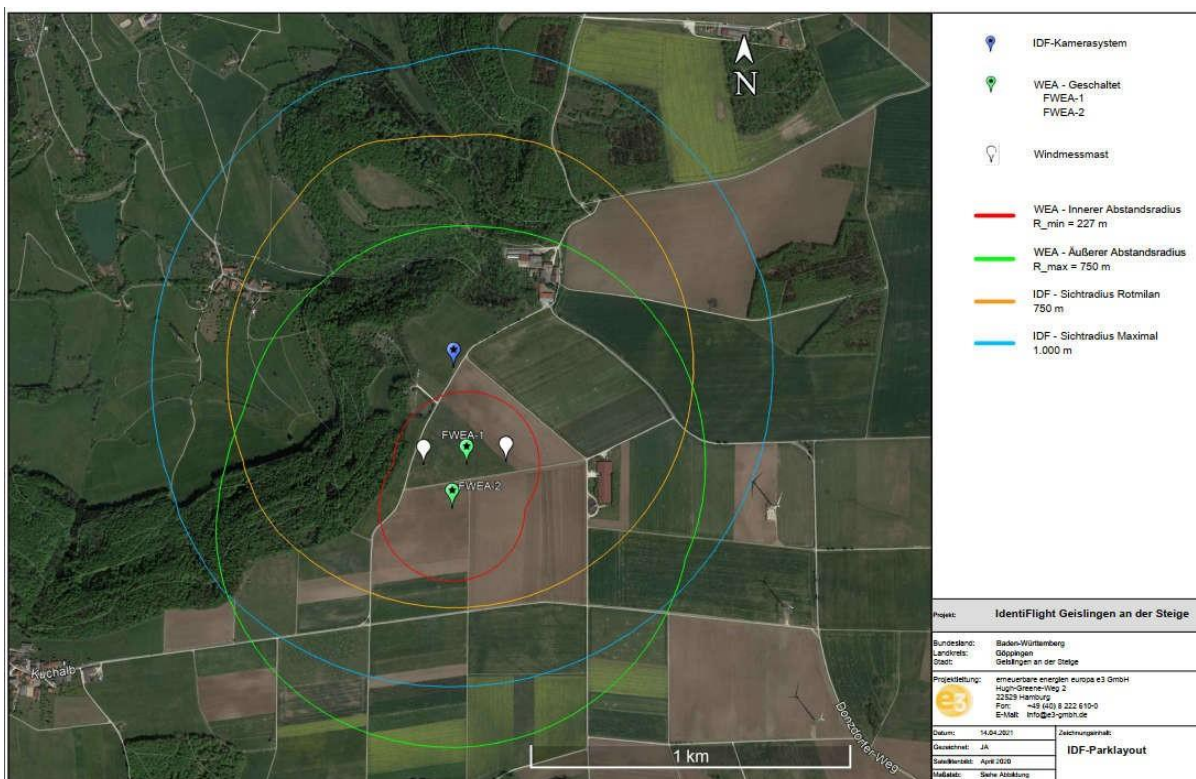


Figure 14 : Zone d'étude de Geislingen avec site IDF et emplacement de l'éolienne virtuelle

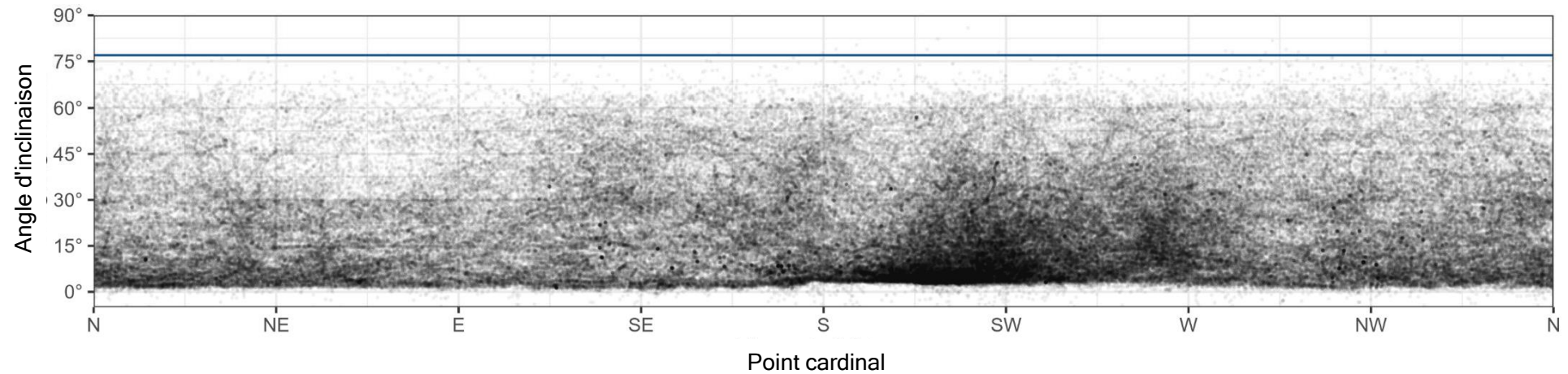


Figure 15 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Helfta. Ces données montrent le champ de vision réel d'IDF ainsi que les structures masquant la vue derrière lesquelles aucun point de données n'a été généré.

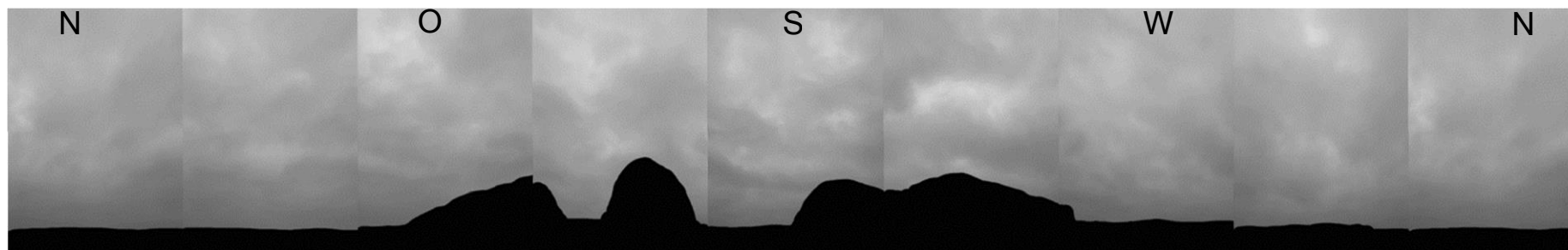


Figure 16 : Champ de vision des caméras grand angle avec masquage sur le site de Plate.

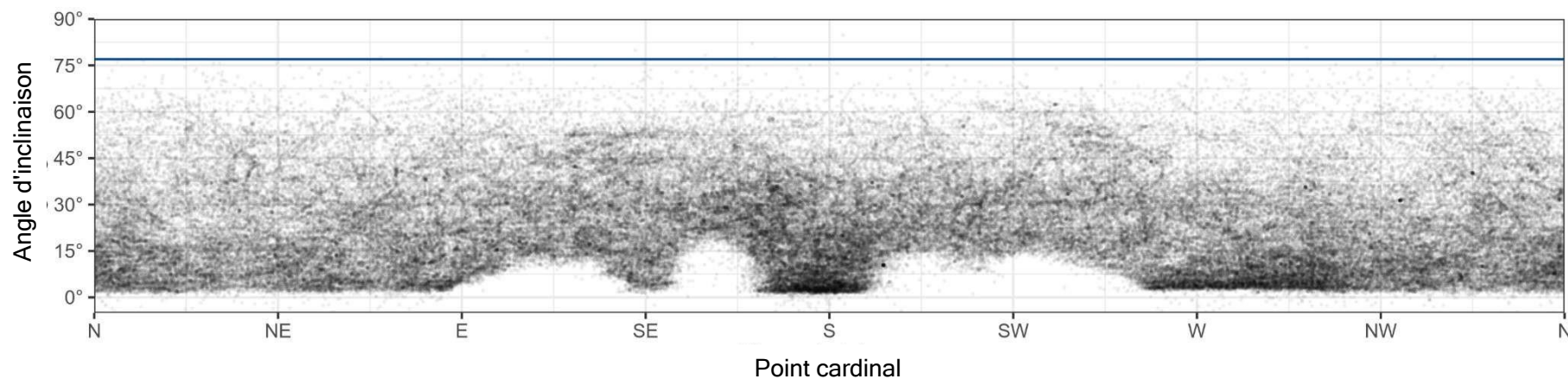


Figure 17 : Nuage de données des données totales d'IDF sur le site de Plate. Ces données montrent le champ de vision réel d'IDF ainsi que les structures masquant la vue derrière lesquelles aucun point de données n'a été généré.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
 Environmental Research



Figure 18 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Gerbstedt.

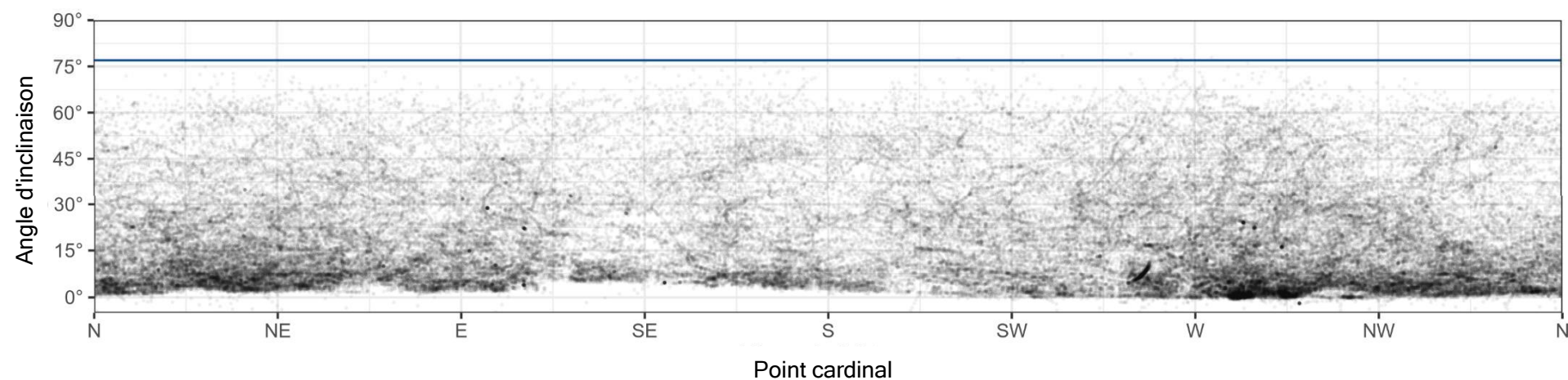


Figure 19 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Gerbstedt. Ces données montrent le champ de vision réel d'IDF ainsi que les structures masquant la vue derrière lesquelles aucun point de données n'a été généré.

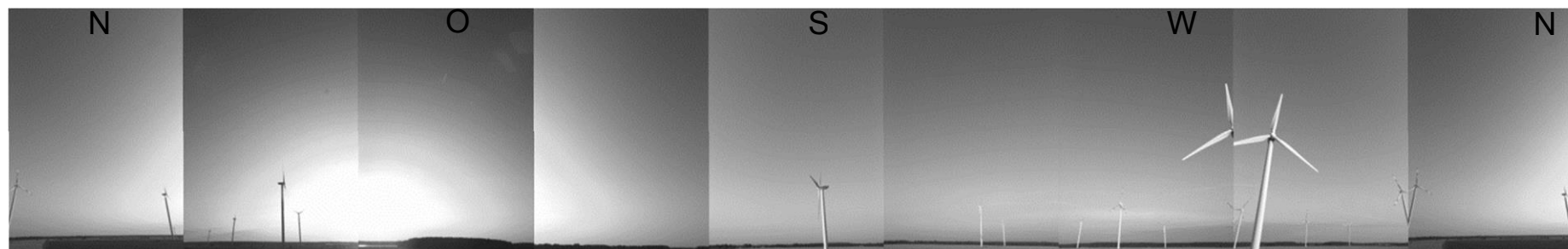


Figure 20 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Lübesse.

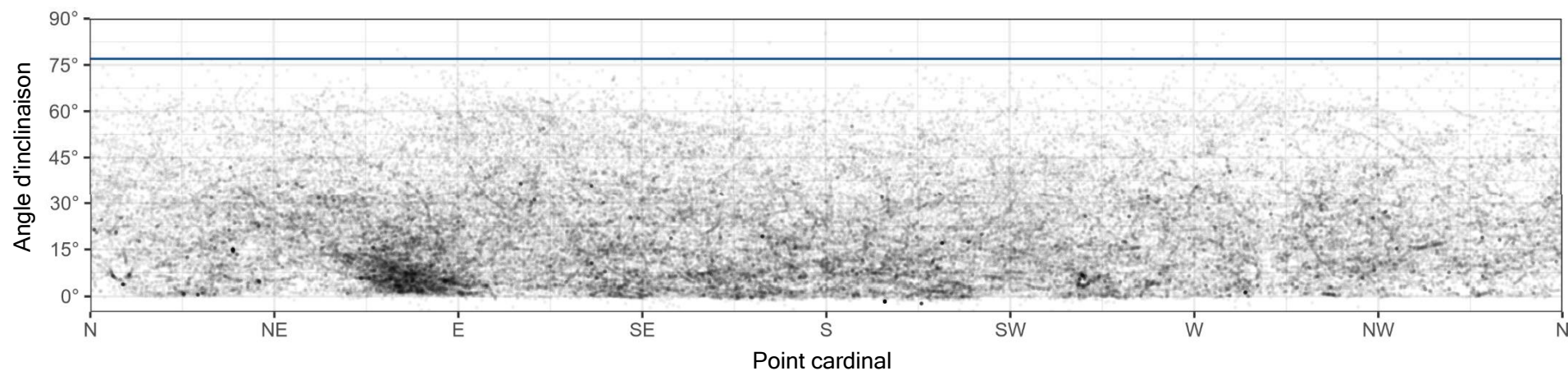


Figure 21 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Lübesse. Ces données montrent le champ de vision réel d'IDF ainsi que les structures masquant la vue derrière lesquelles aucun point de données n'a été généré.

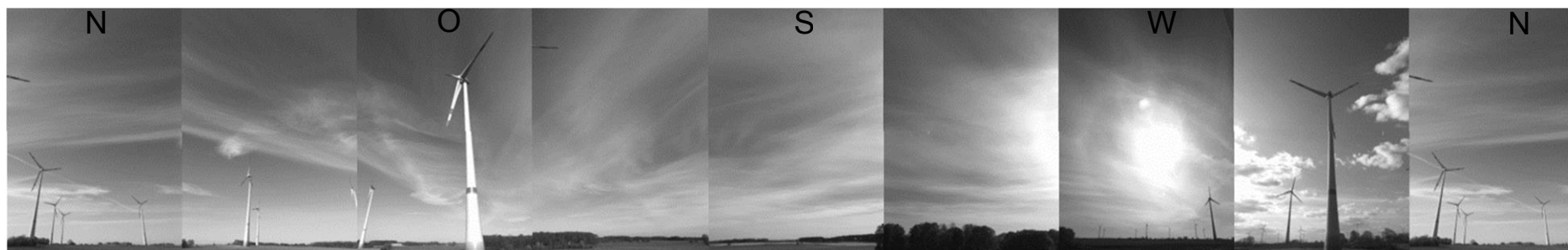


Figure 22 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Bütow.

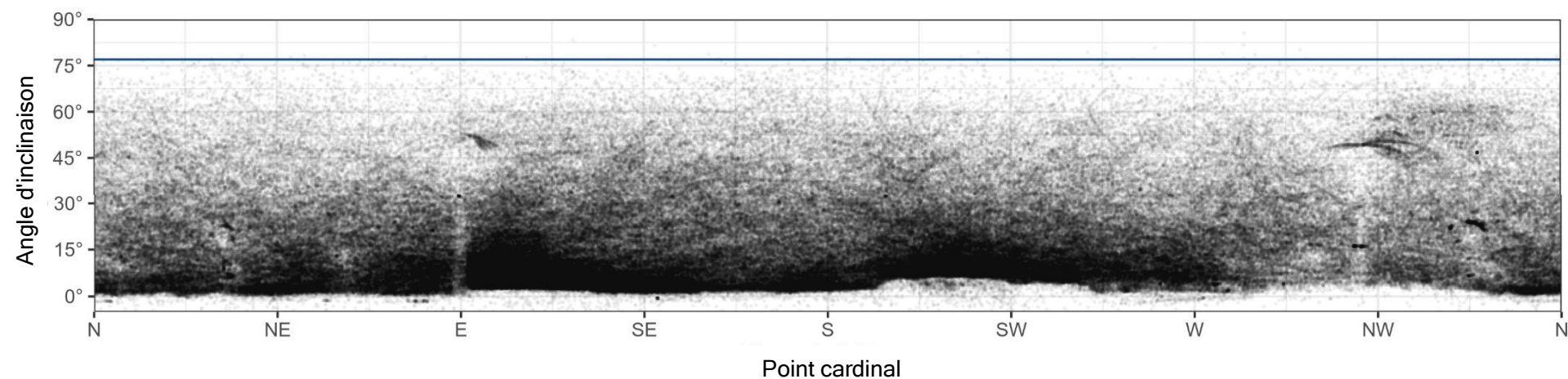


Figure 23 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Bütow. Ces données montrent le champ de vision réel d'IDF ainsi que les structures masquant la vue derrière lesquelles aucun point de données n'a été généré.

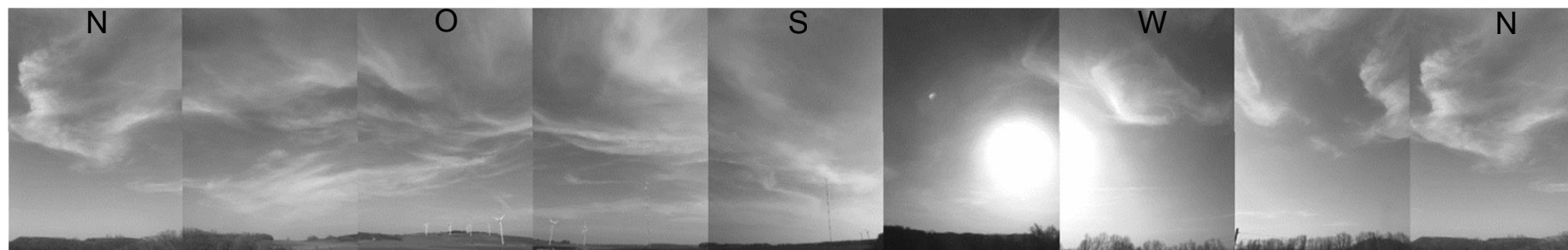


Figure 24 : Champ de vision des caméras grand angle sur le site de Geislingen.

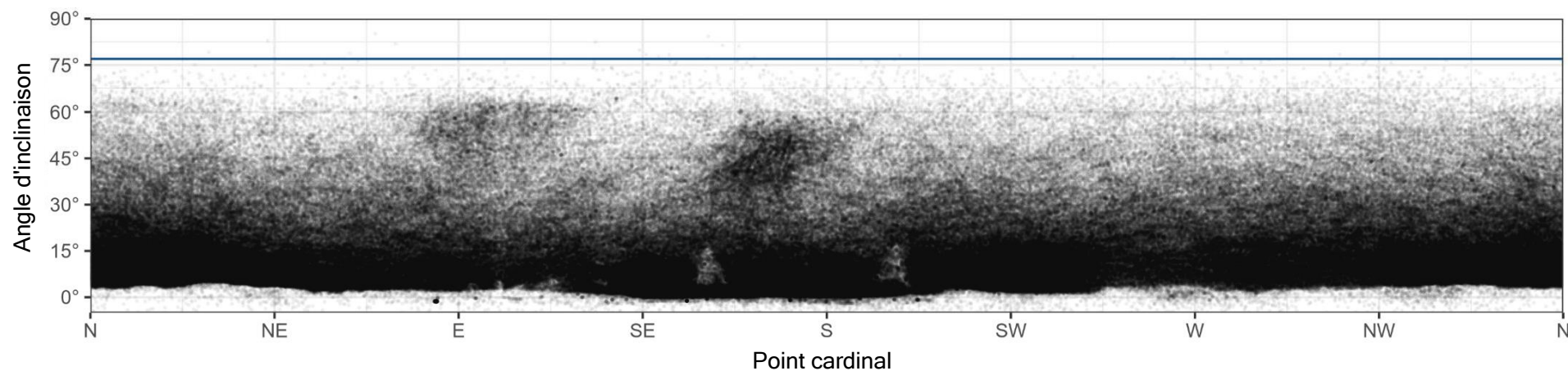


Figure 25 : Nuage de données des données générales d'IDF sur le site de Geislingen. Ces données montrent le champ de vision réel d'IDF ainsi que les structures masquant la vue derrière lesquelles aucun point de données n'a été généré.

4.1.4 Couverture temporelle

4.1.4.1 Aperçu

La durée des phases d'enquête respectives a varié entre 60 et 90 jours, sauf à Gerbstedt où elle a dû être interrompue après 30 jours en raison d'actes de vandalisme. Il en résulte un total de 393 jours d'étude pour toutes les zones d'étude. Après déduction des défaillances techniques, des données complètes sont disponibles pour un total de 364 jours, qui ont été répartis de mi-avril à mi-octobre (tableau 3).

Cela se traduit par une disponibilité temporelle des systèmes IDF de 93 %, si l'on évalue (de manière raisonnable) les jours de problèmes d'alimentation électrique sont également comptés comme indisponibles.

Les défaillances du système peuvent avoir différentes causes. Une grande partie (12 jours sur 29 avec des pannes totales ou partielles) peut être attribuée à des problèmes d'alimentation électrique. Il faut tenir compte du fait que celles-ci sont dues en partie à l'arrêt de l'ensemble du parc éolien ou sont liées au fait qu'un générateur a été utilisé dans les premières phases d'étude et que des dysfonctionnements techniques ont conduit à des pannes. Dans le fonctionnement normal d'IDF dans les parcs éoliens, ces problèmes ne sont plus à prévoir. Sans ces défaillances, le nombre de jours perdus liés au système aurait été réduit de 29 à 17. Il en résulte une disponibilité technique d'IDF d'au moins 95 %.

Cependant, il y a également eu des défaillances dues à des composants défectueux et à des mises à jour logicielles prévues.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif chronologique des observations.

Site	Début	Fin	Nombre de jours	Jours complets enregistrés	Défaillances partielles	Jours d'échec entiers
Helfta	15/08/2018	18/10/2018	65	58	4	3
Plate	15/08/2018	18/10/2018	65	63	1	1
Gerbstedt	12/07/2019	10/08/2019	30	27	0	3
Lübesse	01/07/2019	19/09/2019	81	67	0	14
Bütow	30/04/2020	28/07/2020	90	87	3	0
Geislingen	16/04/2020	16/06/2020	62	62	0	0
Total			393	364	8	21

4.1.4.2 Spécificités du site

Comme il n'y avait pas d'éoliennes sur le site de **Helfta** au moment de l'étude, IDF a été alimenté en électricité par un générateur. Les trois jours d'échec complet et les quatre jours d'échec partiel (environ 20 heures, tableau 3) ont été causés par des problèmes avec le générateur. Si IDF est utilisé dans un parc éolien, IDF peut être connecté à l'alimentation électrique du parc éolien et les problèmes qui conduisent à des pannes de ce type peuvent être évités.

Au moment de l'étude, il n'y avait pas non plus d'éoliennes sur le site de **Plate** et IDF était alimenté en électricité par un générateur. Pendant toute la période d'étude, il y a eu des pannes d'une journée complète et une panne partielle, toutes deux causées par des problèmes d'alimentation électrique du générateur (tableau 3). Lorsqu'il est déployé dans un parc existant, ce type de défaillance peut être évité.

Au moment de l'étude, il y avait déjà des éoliennes dans le parc existant sur le site de **Gerbstedt**, grâce auxquelles IDF pouvait être alimenté en électricité. Sur le site de Gerbstedt, IDF n'a pas fonctionné pendant trois jours (tableau 3), l'électricité ayant été coupée en raison de travaux de maintenance sur l'ensemble du parc éolien. Étant donné que les systèmes n'étaient pas en service à ce moment-là et que les pannes étaient un processus planifié à l'avance, ces pannes doivent être considérées séparément car il n'y avait aucun risque de collision.

Des systèmes existants étaient également déjà en place à **Lübesse**, ce qui a permis à IDF d'obtenir de l'énergie à partir de l'éolienne. A Lübesse, il y a eu un total de 14 jours de panne (tableau 3). La plupart des pannes sont dues à un défaut du mécanisme de rotation de la caméra stéréo, qui a été constaté au plus tard un jour après la panne. Après avoir remplacé le composant concerné, le système a dû être recalibré, ce qui a entraîné une panne prolongée de 12 jours.

Dans le parc existant de **Bütow**, l'alimentation électrique a également été fournie via l'éolienne. Les trois défaillances partielles de Bütow (tableau 3) étaient dues à des problèmes logiciels ou à des composants défectueux. Ces erreurs peuvent se produire pendant le fonctionnement et sont généralement reconnues rapidement par des diagnostics d'erreur automatiques, de sorte que la panne puisse être traitée rapidement.

Au moment de l'étude d'IDF, il n'y avait aucune éolienne existante à **Geislingen**. Cependant, il était possible de se passer d'un groupe électrogène, car un raccordement électrique direct via une ligne 400 V pouvait être mis en place sur le site. Il n'y a eu aucune défaillance du système à Geislingen.

4.2 Données de référence

Afin de tester les performances d'un système comme IdentiFlight, il est nécessaire de collecter des données de référence à l'aide d'un deuxième système (KNE 2019). Dans la présente étude, les données de référence d'un total de trois « systèmes secondaires » ont été utilisées :

1. Un drone a été utilisé pour étudier la précision du positionnement d'IDF.
2. À l'aide d'un télémètre laser (LRF, laser rangefinder), le taux de détection des oiseaux par IDF a été étudié. Le LRF permet l'enregistrement de trajectoires de vol précises en termes de hauteur et de position.
3. Sur la base des données d'un Milan royal transmises par GPS sur le site de Geislingen, le taux de détection des oiseaux a également pu être vérifié par IDF. Cette procédure correspond à celle de l'Institut ornithologique suisse lors du test d'un système similaire, DTBird (HANAGASIOGLU *et al.* 2015), ainsi que dans le projet de recherche en cours NatForWINSENT⁵ (ASCHWANDEN & LIECHTI 2020).

4.2.1 Drone

Afin de pouvoir tester la précision de la détermination de la position des objets par le système IDF sous différents angles, des vols d'essai ont été effectués avec un drone (figure 26). Les vols de drones ont eu lieu sur le site de Plate en 2018, avec des vols effectués à différentes hauteurs (50 m et 100 m), depuis différentes directions et à différentes distances (maximum 150 m du système IDF).

Le modèle de vol du drone a été déterminé à l'avance et enregistré par un émetteur GPS intégré. Le centre de ce modèle correspondait au centre du mât du système IDF à partir duquel huit secteurs d'un cercle (150 m de rayon) ont été survolés l'un après l'autre dans le sens des aiguilles d'une montre (figure 44). Dans le même temps, l'itinéraire de vol respectif doit être enregistré et documenté par IdentiFlight afin que les deux ensembles de données puissent être comparés par la suite. Le drone et IDF avaient tous deux accès au même serveur de temps (de.pool.ntp.org), ce qui garantissait un horodatage synchrone. La vitesse de vol du drone était programmée à 24 km/h (6,7 m/s).

Un drone DJI (PHANTOM 4 PRO, modèle GL300F, diagonale 350 mm) a été utilisé pour les vols de drones. Le fabricant du drone donne une précision de : $\pm 0,5$ m en vertical pour le vol stationnaire et une précision de $\pm 1,5$ m en horizontal.⁶

⁵ https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Aschwanden_Musiol_KNE-Konferenz.pdf, version du 06/05/2020

⁶ <https://www.dji.com/de/phantom-4-pro/info>, version du 07/04/2020



Figure 26 : Test de détection avec un drone localisé par GPS. La petite image montre une photo du drone prise par IDF à une distance d'environ 150 m.

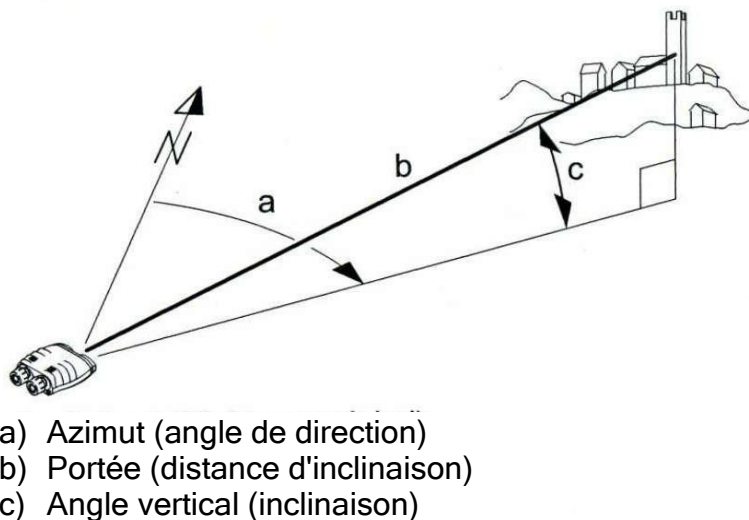
4.2.2 Laser Range Finder

Afin de pouvoir examiner les performances de détection des oiseaux par IDF, des données de référence ont été collectées à l'aide d'un télémètre laser (LRF, laser range finder). Le LRF est actionné par un observateur et, sur simple pression d'un bouton, mesure la distance inclinée, l'azimut et l'angle vertical d'un objet cible visé avec le faisceau laser (figure 27). L'appareil utilise ces paramètres pour calculer la hauteur de l'objet cible au-dessus du sol par rapport à la position de l'observateur. La position de l'observateur peut être déterminée par le smartphone via GPS ou indiquée par l'observateur comme une position fixe sur une carte dans l'ordinateur. La génération multiple de points de données d'un oiseau en vol (maximum environ 12 par minute lié au système) crée une séquence correspondante de points de vol en trois dimensions. Ces données ainsi qu'un horodatage référencé seront

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

stockés soit par transmission Bluetooth sur un smartphone Android, soit directement dans un ordinateur connecté. Une trajectoire de vol (trace) avec une précision de position correspondante peut alors être reconstruite à partir de ces points de mesure.

Un LRF de Safran Vectronix AG (modèle Vector 21 Aero, grossissement 7x) a été utilisé pour la présente étude. Le fabricant donne la précision de la mesure d'éloignement avec +/- 5 m et celle de la mesure d'angle avec +/- 0,2° à 0,6°.



- a) Azimut (angle de direction)
- b) Portée (distance d'inclinaison)
- c) Angle vertical (inclinaison)

Figure 27 : Acquisition des données du LRF Vector 21 Aero (extrait de la notice d'utilisation)

Les données de référence des itinéraires de vol du Milan royal ont été recueillies avec le LRF sur les six sites d'étude (figure 28). Sur les sites de Helfta, Plate, Lübesse et Bütow, les données LRF ont été enregistrées sur 25 jours pendant 6 heures chacun (6 x 45 min d'observation et 15 min de pause), réparties sur la période d'étude respective. Sur le site de Gerbstedt, en raison d'une défaillance d'IDF liée au vandalisme, les données LRF n'ont pu être collectées que pendant six jours. Sur le site de Geislingen, les données LRF ont été collectées sur neuf jours dans le cadre de NatForWINSENT II.

Les phases d'étude ont varié selon l'heure de la journée, mais se sont concentrées principalement sur le moment de la plus forte activité de vol du Milan royal entre 9 h et 18 h (HEUCK *et al.* 2019). Pour chaque piste LRF, l'appartenance à l'espèce ainsi que d'autres particularités, telles que les oiseaux présents au même moment ou le comportement de l'oiseau cible, ont également été enregistrées. L'enregistrement était toujours réalisé avec deux personnes, dont l'une opérait le LRF et l'autre observait l'espace aérien et enregistrerait les données.

Sur les sites de Helfta et Gerbstedt, l'acquisition des données LRF a été réalisée par le bureau Ökotox GbR et par le bureau d'architecture paysagiste Oevermann sur les sites Plate, Lübesse et Bütow

Sur le site de Geislingen, les trajectoires de vol de référence ont été enregistrées en LRF par l'Institut suisse d'ornithologie dans le cadre du projet NatForWINSSENT II⁷.

Avec l'aide des enregistrements LRF, parallèlement à l'enregistrement des données par IDF, un échantillon indépendant de trajectoires de Milans royaux a pu être généré dans le champ de vision d'IDF.

La localisation à l'aide de LRF a trois sources potentielles d'erreur qui ont dû être prises en compte lors de l'analyse des données : les horodatages d'IDF et du LRF n'étaient pas congruents, les informations de position de l'observateur ne correspondaient pas à la réalité et les pistes LRF contenaient un décalage angulaire dû à une mesure d'azimut incorrecte.

Le décalage entre les données du LRF et celles d'IDF pourrait se produire en raison de l'utilisation du LRF en conjonction avec un smartphone. L'horloge interne d'un smartphone, qui sert d'horodateur, ne correspond pas à une heure de référence officielle, raison pour laquelle l'erreur n'a pu être corrigée qu'après avoir installé une application correspondante. Pour les données déjà collectées avec un horodatage incorrect, l'horodatage correct n'a pu être reconstitué par la suite. Ces données n'ont pas été prises en compte dans la suite de l'évaluation et ont dû être exclues.

Si la position de l'observateur ne correspondait pas à la réalité, ce qui pouvait se produire en raison d'une détection incorrecte de la position par un smartphone, une reconstruction de la position réelle de l'observateur était possible à partir des autres données du jour d'enregistrement. Afin d'exclure généralement cette erreur, la position de l'observateur dans la présente analyse a été calculée comme la médiane des positions de l'observateur pour la journée, les informations de position divergentes étant exclues et non extraites directement des enregistrements.

Si les pistes LRF montraient une erreur d'angle due à une mesure d'azimut incorrecte, les données ne pouvaient être reconstruites que dans une mesure limitée. Si le décalage angulaire était trop important, le parcours réel de la trajectoire ne pouvait plus être tracé et les données étaient exclues de toute évaluation ultérieure.

En raison des erreurs importantes et largement incompréhensibles dans les données LRF du site de Lübesse, ce site a été exclu de l'évaluation ultérieure du taux de détection, car les données LRF de ce site n'ont pas la qualité requise comme données de référence. Cependant, cela ne concerne que le critère du taux de détection ; pour les évaluations allant au-delà, les données IDF de Lübesse peuvent être utilisées sans restriction.

⁷ <https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/projekte/natforwinsent-ii/>, version du 27/11/2020

Dans quelle mesure IdentFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research

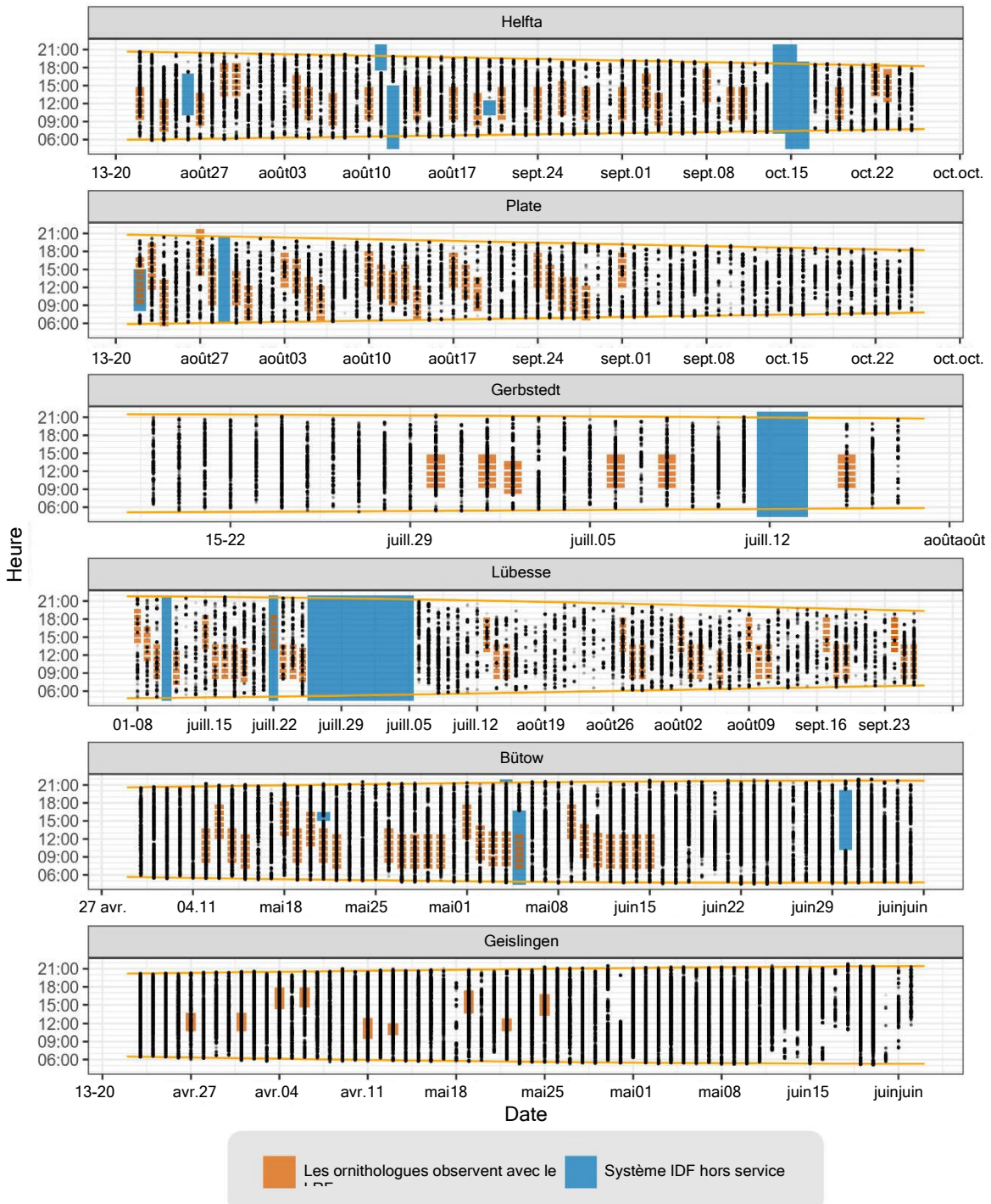


Figure 28 : Répartition des données d'IDF et du LRF sur l'heure du lever au coucher du soleil (lignes jaunes) et sur la période d'enregistrement. Chaque position d'oiseau enregistrée par le système IDF est représentée par un point noir. Les cases oranges représentent les phases de la collecte de données LRF. Les temps d'arrêt IDF sont marqués en bleu.

4.2.3 Télémétrie GPS

En plus des enregistrements par LRF, les données GPS d'un Milan royal mâle transmises étaient disponibles sur le site de Geislingen, ce qui a pu être utilisé pour tester la précision de détection d'IDF.

Le Milan royal mâle « Donzi » était déjà équipé d'un émetteur GPS, modèle OrniTrack - E25B 3G, (figure 29) en 2019 dans le cadre du projet NatForWINSENT⁸.

Lors de l'étude IDF sur le site de Geislingen en 2020, le site de nidification de ce Milan royal était à environ 250 m au nord du système IDF installé.

L'émetteur GPS du Milan royal détecté par télémètre a été réglé de manière à enregistrer les données de position de l'oiseau au moins toutes les 2 minutes lorsque l'état de charge de la batterie est supérieur à 75 % ; si l'état de charge de la batterie tombe en dessous de 75 %, des points de données ont été collectés moins fréquemment. En plus de ces paramètres généraux, la fonction dite geofence permet de définir certaines zones de la pièce dans lesquelles des points de données doivent être collectés plus fréquemment (en fonction de l'état de charge de la batterie, ici au maximum toutes les 2 s). Dans le cas du Milan royal mâle avec émetteur « Donzi », ces zones de clôture géographique couvraient également, entre autres, le rayon d'étude d'IDF, de sorte que les données de position de ce Milan royal (en fonction de l'état de charge de la batterie) étaient largement disponibles dans une résolution très précise pour cette zone.

Pour chaque point de données de l'émetteur GPS, on a enregistré, entre autres, la vitesse (km/h), la direction (°), l'altitude (m ASL) déterminée par triangulation GPS et l'altitude barométrique (m ASL.) du Milan royal qui avait été transmis. Sur la base de ces données, un autre enregistrement de données de référence indépendant des mouvements de vol pourrait être généré, qui pourrait être comparé aux mouvements de vol enregistrés par IDF.

Nos sincères remerciements à l'Institut suisse d'ornithologie pour la fourniture des données et la coopération constructive.

⁸ <https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/projekte/natforwinsent-ii/>, version du 19/11/2020



Figure 29 : Le Milan royal « Donzi » portant un émetteur sur le site de Geislingen en 2020, dont l'émetteur GPS est clairement visible sur les images prises par IDF.

4.3 Évaluation et analyse statistique

4.3.1 Logiciel d'évaluation

Un traitement efficace des grandes quantités de données a été rendu possible par le développement d'une solution logicielle propre basée sur le logiciel « R » d'OekoFor GbR, qui croise les données des systèmes de référence avec celles d'IDF et les visualise dans leur ensemble. Il y a trois onglets proposant des fonctions différentes dans l'interface du logiciel : « Aperçu des données IDF », « Taux de détection » et « Curtailment ».

L'onglet « Aperçu des données IDF » a été utilisé pour visualiser les données IDF générales et a permis de filtrer ces données selon divers paramètres (par exemple selon le lieu, l'identification de l'espèce ou la date) et de visualiser les traces individuelles en détail. Les images des traces sélectionnées ainsi qu'une vue cartographique des traces et une représentation de l'altitude de vol au cours du temps ont été affichées. Les informations sur les espèces ont été codées différemment en couleur (figure 30).

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

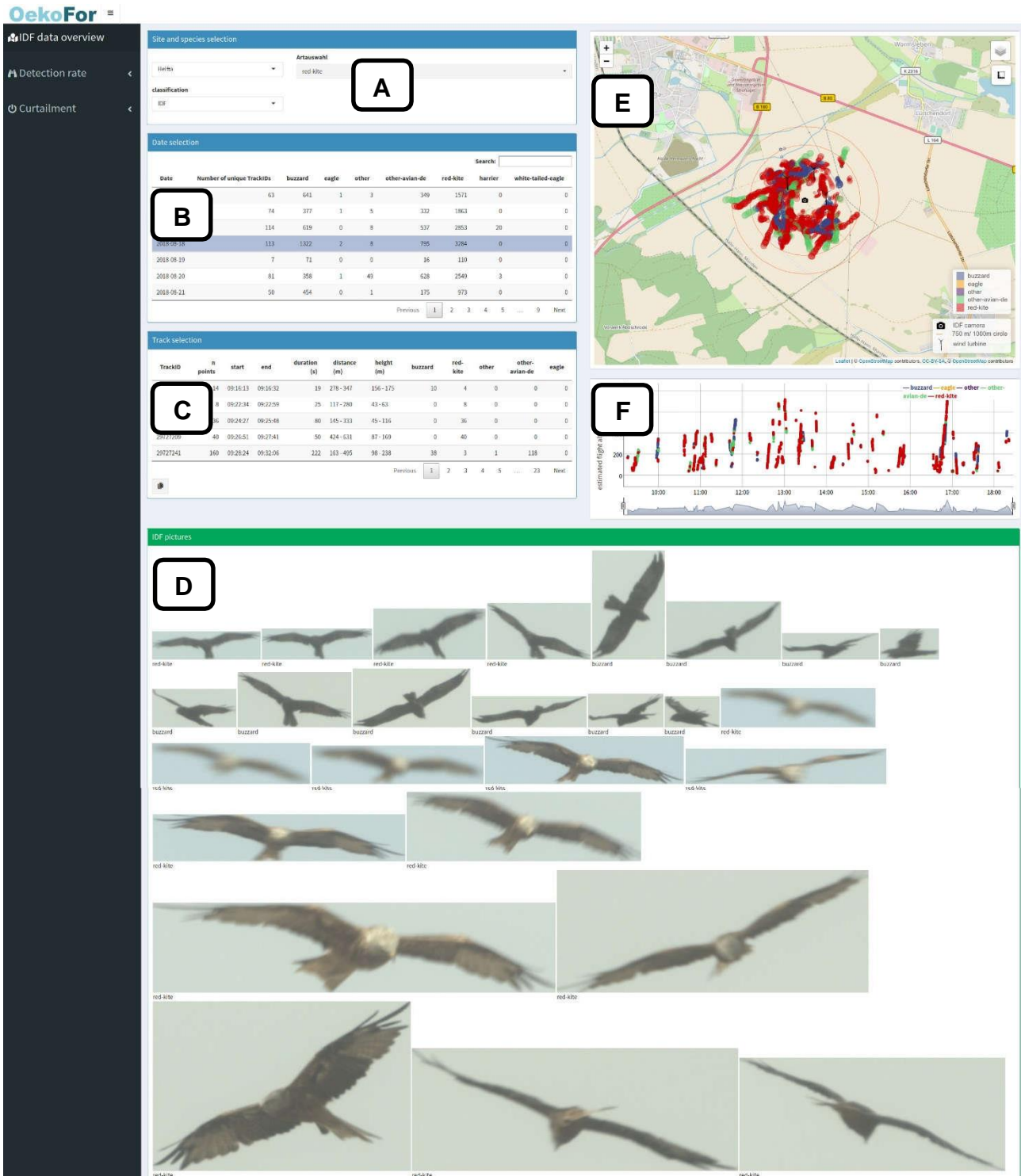


Figure 30 : Interface de visualisation des données IDF. Cette vue offrirait la possibilité de filtrer les données IDF selon l'emplacement par type (A) et balise (B) et de sélectionner des traces individuelles (C). Ainsi les images des traces sélectionnées (D) ainsi qu'une supervision cartographique des traces ont été prises (E) et une représentation de l'altitude de vol au cours du temps (F), les informations sur les espèces étant codées par couleur.

Dans l'onglet « Taux de détection », les données IDF ont été mélangées avec celles des systèmes de référence (données LRF et données GPS). Cette vue permet de visualiser chaque trace de référence au cas par cas avec la trace IDF associée (figure 31). Pour chaque oiseau enregistré par un système de référence (une trace de référence), il a été possible d'évaluer si IDF a également enregistré cet oiseau (« positif ») ou non (« négatif »), ou si l'oiseau était ou n'était pas visible par IDF ou si un autre oiseau protégé était détecté par IDF au même moment (« neutre »). Les catégories attribuées (« positif », « négatif » ou « neutre ») ont ensuite été prises en compte en conséquence dans l'évaluation et sont décrites en détail dans la section suivante (section 4.3.2).

Le registre « Curtailment » a permis de vérifier les traces IDF dans lesquelles un Milan royal était détecté de manière vérifiable (traces de Milan royal redéfinies, voir chapitre 5.1) et où un arrêt aurait dû avoir lieu parce que l'oiseau se trouvait dans le cylindre d'éloignement intérieur.

La vue « Curtailment » (Figure 32) offrait un aperçu détaillé des traces individuelles de Milans royaux qui ont ensuite été déterminées et des paramètres enregistrés par IDF (temps de détection de l'oiseau par IDF (à l'extérieur ou à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur) et la classification de l'oiseau par IDF (correctement reconnu comme Milan royal ou non) ainsi que l'action ultérieure par IDF (déclenchement d'arrêt ou pas).

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

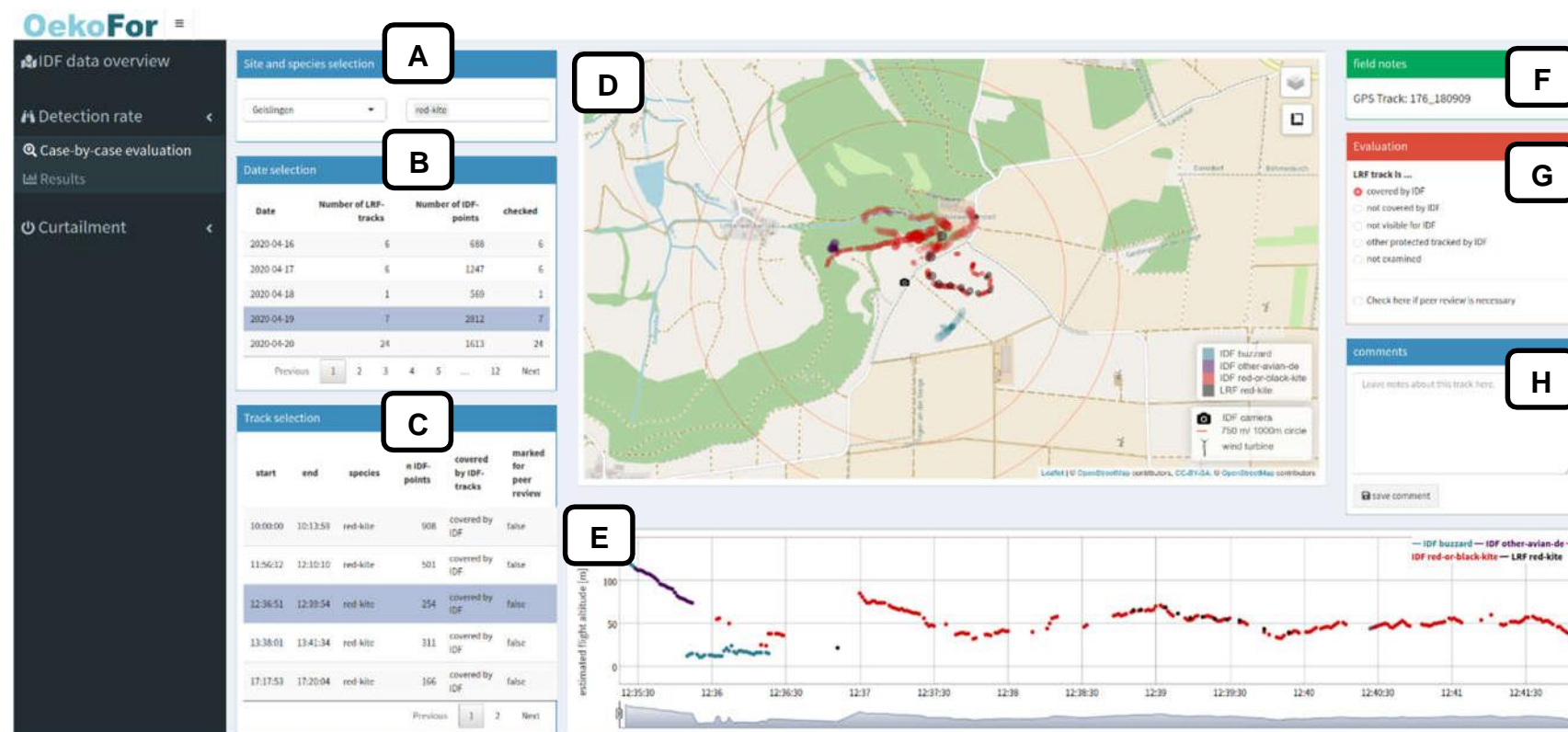


Figure 31 : Surface d'évaluation des performances de détection d'IDF par rapport aux trajectoires LRF et GPS. Cette vue offrait la possibilité de filtrer les données totales selon l'emplacement, le type (A) et le jour (B) et de sélectionner des traces de référence individuelles (C). Les images des données sélectionnées, une vue cartographique des traces (D) et l'altitude au cours du temps (E) ont été affichées, les informations sur l'espèce et la trace de référence étant codées par couleur. Les notes des ornithologues à partir des fiches de suivi des traces enregistrées ont également été fournies (F). Chaque trace de référence a été évaluée par IDF en fonction de sa découverte (G) et a pu être accompagnée d'un commentaire (H).

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research



Figure 32 : Interface utilisateur pour vérifier les processus d'arrêt. Cette vue offre la possibilité de filtrer les vols de Milan royal traversant le cylindre d'éloignement intérieur par lieu (A) et par jour (B) et de sélectionner des traces individuelles (C). Les images des traces sélectionnées ainsi qu'un aperçu cartographique des traces (D) et une représentation de l'altitude de vol dans le temps (E) ont été affichés. Les informations indiquant si et à partir de quand un arrêt a eu lieu pour lesquelles les données individuelles ont été codées par couleur.

4.3.2 Taux de détection

4.3.2.1 Données de référence du TLR et du GPS

Au total, 872 traces LRF et 668 traces GPS ont été évaluées en ce qui concerne leur détection par IDF. Il s'agissait de traces enregistrées pendant les heures de fonctionnement d'IDF (sans coupure d'alimentation électrique) et se trouvant à une distance horizontale de 750 m d'IDF et dans une zone de visibilité pour IDF.

Pour déterminer les performances de détection, les traces LRF et GPS collectées ont été considérées individuellement et classées dans l'une des catégories énumérées (tableau 4).

Tableau 4 : Catégories d'évaluation des données de référence des traces TLR et GPS.

Traces valides	Déecté	Oiseau également détecté par IDF
	Non détecté	Oiseau non détecté par IDF - sans raison apparente
Traces invalides	Non valide	Oiseau non détecté par IDF - l'oiseau n'était pas visible par IDF
	Non valide	Oiseau non détecté par IDF - un autre oiseau a été détecté par IDF en même temps

La catégorie « Déecté » a été appliquée si une trajectoire spatialement similaire (position et altitude) était détectée par IDF en même temps qu'une trace LRF ou GPS (figure 33). Cette évaluation était plus fiable pour les traces GPS que pour les données LRF, car la possibilité d'erreurs de mesure potentielles était plus grande avec les détections LRF (voir chapitre 4.2.2).

Une trace LRF ou GPS a été classée comme « Non enregistrée » s'il n'a pas été possible de déterminer une trace IDF temporellement et spatialement appropriée pour la trace (figure 34). La difficulté avec la catégorie « Non enregistré » a été de séparer cette catégorie des cas dans lesquels l'oiseau n'était pas visible par IDF ou dans lesquels IDF suivait simultanément un autre oiseau classé comme protégé. Étant donné que le système IDF, selon le fabricant, met jusqu'à 30 secondes pour basculer entre deux oiseaux différents, ce temps a été fixé comme valeur limite dans l'évaluation d'une détection techniquement possible d'un oiseau par IDF.

Si l'une des deux catégories « enregistré » ou « non enregistré » a été attribuée, les traces LRF ou GPS pertinentes ont été classées comme « valides » et ont été incluses dans l'évaluation (voir la section 5.4.1).

En revanche, les traces LRF ou GPS qui remplissaient l'une des conditions suivantes ont été classées comme « non valides » et exclues de l'évaluation (voir la section 5.4.1) :

L'oiseau mesuré par le LRF ou le GPS n'était pas visible par IDF car l'oiseau mesuré était clairement dans une zone d'ombre visuelle (devant ou derrière un objet ou en dessous de la ligne d'horizon) ou dans une zone masquée d'IDF (figure 35). Cette estimation a généralement été réalisée de manière très raisonnable et uniquement dans les cas clairement évalués comme non visibles par IDF.

Les traces LRF ou GPS ont également été classées comme « non valides » si IDF poursuivait en même temps un autre oiseau d'une espèce ciblée et, pour cette raison, n'a pas enregistré l'oiseau mesuré avec le LRF ou le GPS (figure 36).

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

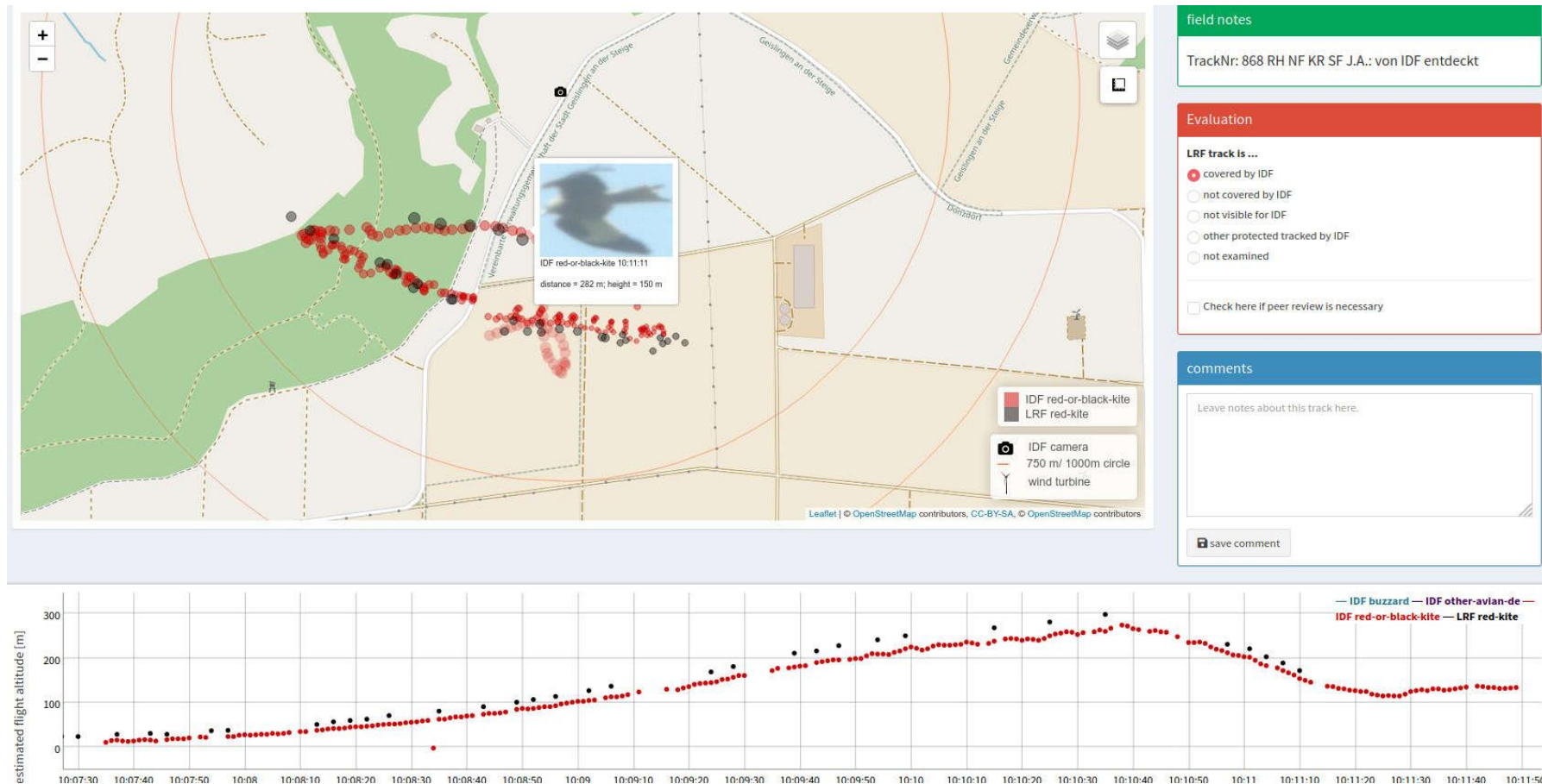


Figure 33 : Exemple d'évaluation de détection – catégorie « Détecté ». Le Milan royal détecté par LRF a également été détecté par IDF. Site de Geislingen, 06/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

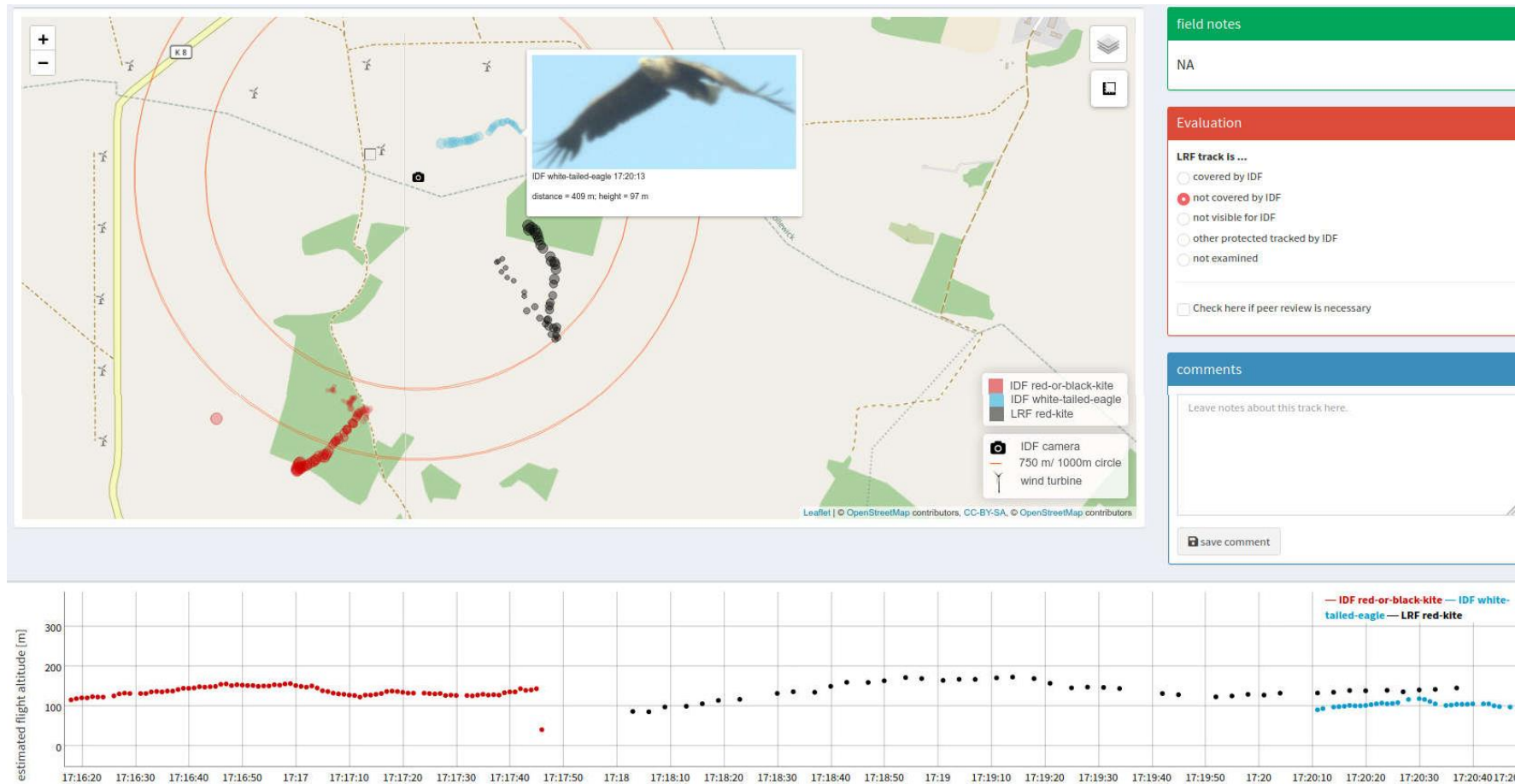


Figure 33 : Exemple d'évaluation de détection – catégorie « Non détecté ». Le Milan royal capturé par LRF n'a pas été détecté par IDF, bien qu'aucun autre oiseau n'ait été détecté par IDF pendant plus de 30 secondes avant qu'IDF ne détecte un Pygargue à queue blanche. Site de Bütow, 06/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

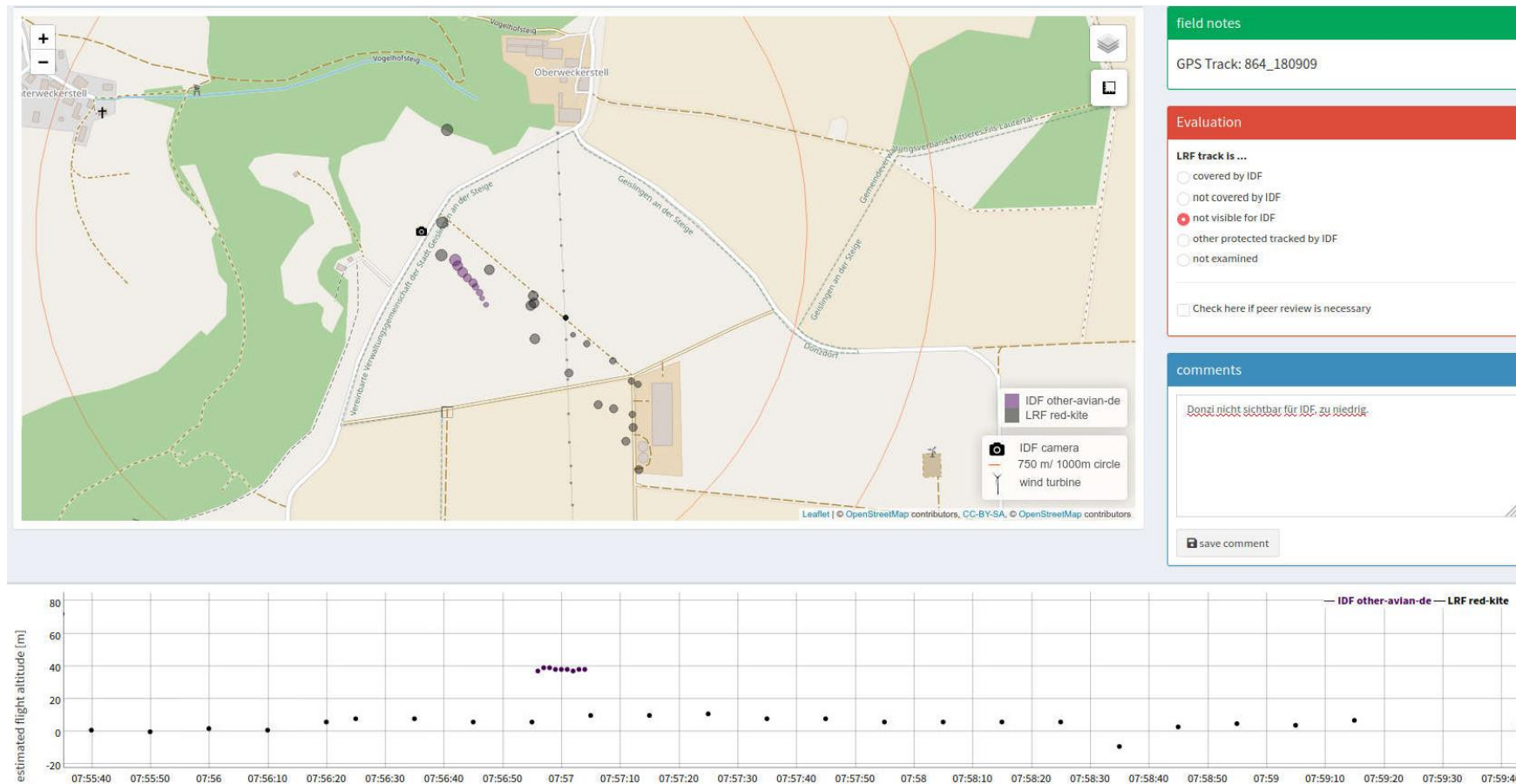


Figure 35 : Exemple pour l'évaluation de la détection – catégorie « Non valide ». Le Milan royal « Donzi », qui est localisé par son émetteur GPS (dans la figure, désignée comme « LRF red kite ») décolle d'un poteau électrique et vole très bas, invisible par IDF, sous l'horizon jusqu'à son nid au nord d'IDF. Site de Geislingen, 06/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

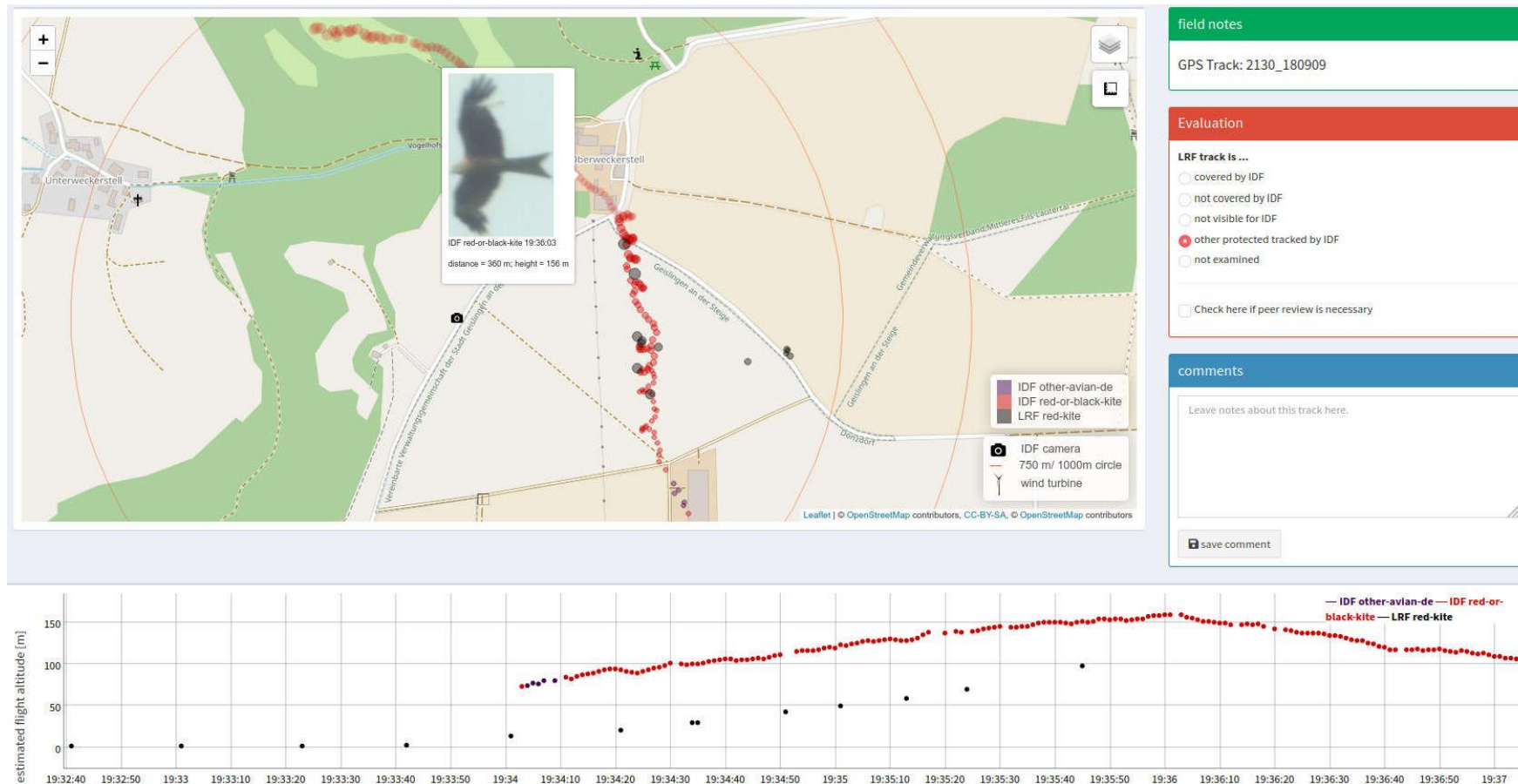


Figure 36 : Exemple d'évaluation de détection – catégorie « Non valide ». Un Milan royal détecté par IDF est suivi par « Donzi ». Ici, c'est uniquement l'altitude de vol qui permet de voir que les Milans royaux détectés sont deux spécimens. En plus des points d'enregistrement IDF, la figure montre les données GPS du Milan royal (autrement appelé « LRF red kite »). Site de Geislingen, 07/06/2020.

4.3.2.2 Facteur d'influence des précipitations

Le taux de détection des IDF peut être réduit par des influences météorologiques telles que les précipitations, car ces influences peuvent affecter la visibilité des objets en vol, tout comme la perception par l'œil humain.

Pour cette raison, les données sur les précipitations ont été collectées sur les sites de Helfta et Plate en 2018 par une petite station météorologique installée localement. Des données de précipitations sont également disponibles pour 2020 sur le site de Geislingen, qui ont été collectées dans le cadre du projet NatForWINSENT II et mises à disposition pour la présente étude.

Afin d'évaluer l'influence des précipitations sur le taux de détection par IDF, les données de précipitations disponibles ont été combinées avec les données de détection IDF correspondantes pour les sites respectifs.

4.3.2.3 Facteur d'influence de la position du soleil

Selon le fabricant, la vue directe vers le soleil depuis IDF entraîne un « angle mort » de 15° autour du soleil en raison de la surexposition causée par la forte luminosité. Un oiseau ne peut pas être détecté par le système IDF dans cette zone.

Il a été supposé que lorsque le ciel est couvert, aucun effet concernant une éventuelle surexposition ne peut être détecté et donc la position de l'oiseau par rapport au soleil ne devrait avoir aucune influence sur les performances de détection d'IDF. En revanche, l'effet devrait être particulièrement sensible par ciel dégagé.

Afin de vérifier ces informations, l'influence de la position du soleil sur les performances de détection d'IDF sur le site de Bütow a été étudiée en 2020. À cette fin, la situation météorologique respective a été photographiée toutes les minutes avec une caméra (GoPro Hero 7 Black) (figure 37). À partir de ces données, des périodes de ciel couvert (60 heures) et des périodes de ciel dégagé (112 heures) ont été identifiées sur une période de 19 jours.

Afin de déterminer l'influence de la position du soleil sur les performances de détection, l'angle de différence minimum du premier point d'une trajectoire par rapport à la position du soleil a été calculé pour les deux situations nuageuses et examiné pour les différences entre l'angle de différence minimum lorsque le ciel est couvert ou lorsque le ciel est clair. Il convient de noter que, pour des raisons géométriques, une distribution de fréquence uniforme ne peut pas être supposée. De plus, la distribution des fréquences est influencée par la distribution des oiseaux dans l'espace et le cours de la position du soleil. Par exemple, les très grandes différences d'angles proches de 180° sont rares et ne peuvent se produire qu'au lever ou au coucher du soleil si l'oiseau est à l'horizon dans la direction opposée au soleil à ce moment-là.

Plus tard dans la journée, cependant, des angles de différence aussi importants ne peuvent plus se produire, l'angle de différence serait mathématiquement dans la direction opposée au-dessous de l'horizon.



Figure 37 : Images de la caméra météo de Bütow du 14 juin 2020, à gauche à 8 h 23 par ciel couvert, à droite à 18 h 20 par ciel dégagé.

4.3.3 Classification

La base pour l'évaluation des performances de classification sont les images stockées par IDF, qui sont disponibles pour le point de données enregistré chaque seconde. À cette fin, un total de 863 100 éléments individuels provenant de 39 782 traces ont été évalués (tableau 5).

À partir des enquêtes menées en 2018 et 2019 sur les sites de Helfta, Plate, Lübesse et Gerbstedt, toutes les traces enregistrées ont été déterminées par les ornithologues d'ARSU GmbH et d'OekoFor GbR (tableau 6, chapitre 5.1). Sur les sites de l'année 2020 (Bütow et Geislingen), une telle activité de vol a été enregistrée que toutes les images n'ont pas pu être visualisées et que seul un nombre de traces comparable à celui des années précédentes a été déterminé. À Geislingen, il y a eu un total de 10 jours entre le 20 avril et le 18 mai 2020, pour Bütow 18 jours entre le 13 mai et le 8 juin 2020. Un échantillon suffisamment grand a pu être assuré pour toutes les années d'étude (tableau 5). Pour toutes les déterminations ultérieures, l'outil logiciel viInspector du fabricant d'IDF a été utilisé.

Cet outil logiciel a permis d'évaluer collectivement les points de données synthétisés par IDF sous forme de trace (voir chapitre 2.2.1). Étant donné que les points de données sont combinés en une seule piste s'ils sont proches les uns des autres dans le temps et l'espace et très similaires en termes de direction de vol, il se pourrait également qu'IDF

ait combiné les trajectoires de vol de différents oiseaux en une seule piste si les individus volaient très près les uns des autres. Ces traces mixtes ont été divisées selon les oiseaux détectés dans l'évaluation de la classification.

Tableau 5 : Base de données pour les performances de classification d'IDF

	Traces	Positions individuelles
Helfta	10 072	248 287
Plate	8 120	149 707
Lübesse	5 554	86 014
Gerbstedt	4 711	105 118
Bütow	4 673	145 100
Geislingen	6 652	128 874
Total	39 782	863 100

Pour évaluer les performances de classification, deux rayons d'éloignement autour d'IDF ont été examinés, un jusqu'à 250 m, ce qui correspond approximativement au rayon du cylindre d'éloignement intérieur autour de l'éolienne. D'autre part, jusqu'à 750 m, ce qui correspond à la portée de détection d'IDF selon le fabricant ou au rayon du cylindre d'éloignement extérieur.

4.3.4 Efficacité et efficacité de l'arrêt

Pour tester l'efficacité et l'efficacité des arrêts générés par IDF, seules des traces de Milans royaux identifiés au préalable ont été utilisées, quand un arrêt était déclenché par un passage dans le cylindre d'éloignement intérieur.

Les arrêts dus à la détection d'un Milan royal dans le cylindre d'éloignement extérieur n'ont pas été examinés plus avant, car la génération de l'arrêt est basée sur une prédiction de l'algorithme (« course de collision », basée sur le comportement de vol et la vitesse de vol de l'oiseau, voir chapitre 2.3), ce qui n'a pas pu être vérifié en détail. C'est pourquoi nous n'avons vérifié ici que les arrêts basés sur le critère qui s'est effectivement produit (espèces ciblées situées dans le cylindre d'éloignement intérieur) d'autant plus qu'il s'agit d'arrêts obligatoires et non facultatifs comme dans le cylindre extérieur.

Sur la base de la position déterminée de l'oiseau (distance par rapport à l'éolienne et altitude de vol) au moment de l'arrêt, il a été possible de calculer dans combien de cas l'arrêt s'est produit en dehors

du cylindre d'éloignement intérieur, lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur ou seulement à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur.

Pour le cas « arrêt lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur », il faut noter qu'IDF ne peut générer un arrêt que lorsque l'espèce ciblée (ici le Milan royal) a été détectée dans le cylindre d'éloignement intérieur, ce qui signifie que l'espèce ciblée doit déjà avoir été dans le cylindre d'éloignement intérieur pendant au moins un point de données. Pour cette raison, des zones tampons horizontales et verticales ont été supposées pour le cas « d'arrêt lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur », dans lequel un arrêt devait avoir lieu afin d'être évalué comme correct. Les zones tampons s'appliquent depuis le bord du cylindre d'éloignement intérieur vers l'éolienne. Il a été fixé à 25 m pour le tampon horizontal et 10 m pour le tampon vertical. Pour une vitesse médiane de 8,5 m/s (voir chapitre 4.3.5), 25 m de tampon horizontal correspondent à un tampon temporel d'environ 3 secondes. Dans ce délai, le système IDF peut détecter un objet en vol, le classer et déclencher un arrêt si nécessaire.

4.3.5 Comportement de vol du Milan royal

Les positions des Milans royaux déterminées par IDF permettent de tracer les trajectoires de vol des oiseaux enregistrés de manière détaillée dans l'espace et dans le temps (figure 38 à figure 40, voir également le chapitre 5.2). De cette façon, l'altitude et la vitesse peuvent être calculées à la fois horizontalement et verticalement. La vitesse de vol peut être utilisée pour déterminer le temps qu'il faut à l'oiseau, à une certaine distance de l'éolienne, pour entrer dans le rayon du rotor par le côté, par le bas ou par le haut. Sur la base de ces résultats, les paramètres nécessaires pour les cylindres d'éloignement (voir chapitre 2.3) peuvent être dérivés.

Le système IDF ne détecte pas les Milans royaux au hasard, mais cible en priorité les oiseaux se trouvant dans la zone de danger (proximité de l'éolienne, vol à hauteur de rotor). De plus, les oiseaux volant très bas sous l'horizon ou devant le fond sont mal détectés par le système IDF par rapport à ceux devant un fond clair. Cela signifie que la distribution des altitudes de vol basée sur les données IDF n'est pas directement comparable à celle déterminée à partir des oiseaux détectés par télémètre, car les plages d'altitude auxquelles le système IDF donne la priorité sont surreprésentées.

L'altitude calculée par IDF fait référence à l'altitude par rapport à la hauteur de la caméra stéréo (4 m à 10 m, selon le site). Cela est dû au fait que, d'une part, aucun modèle numérique de terrain précis n'était disponible pour les sites étudiés et, d'autre part, que les hauteurs de site du système IDF et des éoliennes virtuelles ou réelles examinées ne différaient que de quelques mètres, voire pas du tout. Cette différence réside dans les fluctuations de la précision de détection du système IDF et n'a donc pas été considérée comme pertinente. Dans les évaluations ultérieures, l'altitude au-dessus de la caméra est donc assimilée à l'altitude au-dessus du sol. Cependant, cela doit être pris en compte lors de la détermination des altitudes de vol aux endroits où les hauteurs entre le système IDF et l'éolienne diffèrent davantage.

Pour le calcul de l'altitude et de la vitesse de vol du Milan royal, seules les traces des six zones d'étude ont été utilisées et ont pu être déterminées de manière fiable comme des traces de Milan royal sur la base des images.

Une trace IDF est constituée de la totalité de tous les points de données qu'IDF attribue à un seul objet en vol (voir chapitre 2.2.1). Pour calculer la vitesse de vol du Milan royal, seuls les points de données des traces avec un intervalle maximum de 1,5 s et un minimum de 0,5 s ont été utilisés. Cela a permis de s'assurer que seules des trajectoires suffisamment précises et cohérentes soient utilisées pour le calcul de la vitesse dans la figure 38. Le mouvement de l'oiseau entre les points de données individuels pourrait donc être supposé être rectiligne, même si la trajectoire de vol de l'oiseau dans son ensemble (tous les points de données de la trace sont reliés) décrit, par exemple, une forme circulaire (figure 38).

De plus, seules les traces pour lesquelles des vitesses < 40 m/s (144 km/h) sont ressorties dans les points de données individuels ont été utilisées pour les calculs. Pour les vitesses ≥ 40 m/s, il a été supposé qu'il s'agissait de sauts entre différents individus incorrectement affectés à une seule trace par IDF, ou d'autres erreurs de mesure. De plus, une tentative a été faite pour n'utiliser que les mesures les plus précises possibles des points de données par IDF. C'est pourquoi les points à une distance horizontale de plus de 600 m des sites IDF et ceux avec une altitude de plus de 400 m ont été exclus du calcul.

Étant donné que l'altitude et la vitesse calculées peuvent fluctuer considérablement entre les points individuels pour des raisons techniques, une « moyenne mobile » a été calculée. Celle-ci est une médiane de l'altitude et de la vitesse de chaque point avec les deux points avant et les deux points après. Cette méthode se rapproche de l'altitude de vol et de la vitesse réelles de l'oiseau en faisant la moyenne des erreurs de mesure d'IDF. L'altitude de vol a été calculée comme la hauteur de l'oiseau au-dessus de la position de la caméra stéréo IDF à une hauteur d'environ 10 m.

De cette façon, un total de 76 175 altitudes et vitesses médianes ont été calculées. Cela correspond à plus de 20 heures d'enregistrement continu toutes les secondes, réparties sur les différents individus de Milan royal dans les six zones d'étude.

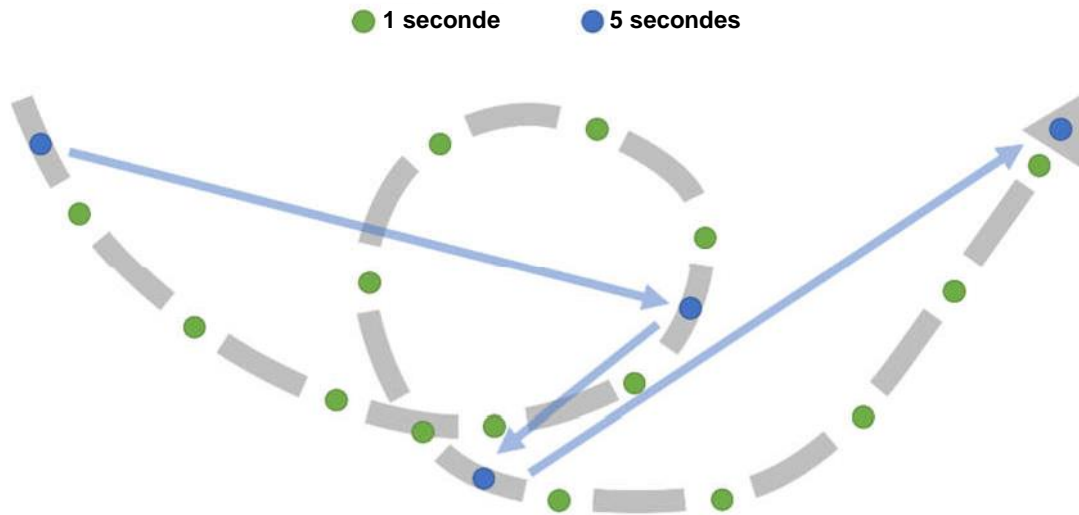


Figure 38 : Croquis schématique d'une trajectoire (ligne en pointillés gris), qui a été enregistrée toutes les secondes (points verts) ou toutes les 5 secondes (points bleus). Les flèches bleues montrent la distance directe entre les points de mesure bleus, mais cela ne représente pas la distance réelle parcourue par l'oiseau. C'est pourquoi seuls les points de données avec une distance maximale de 1,5 s ont été utilisés pour calculer la vitesse de vol.

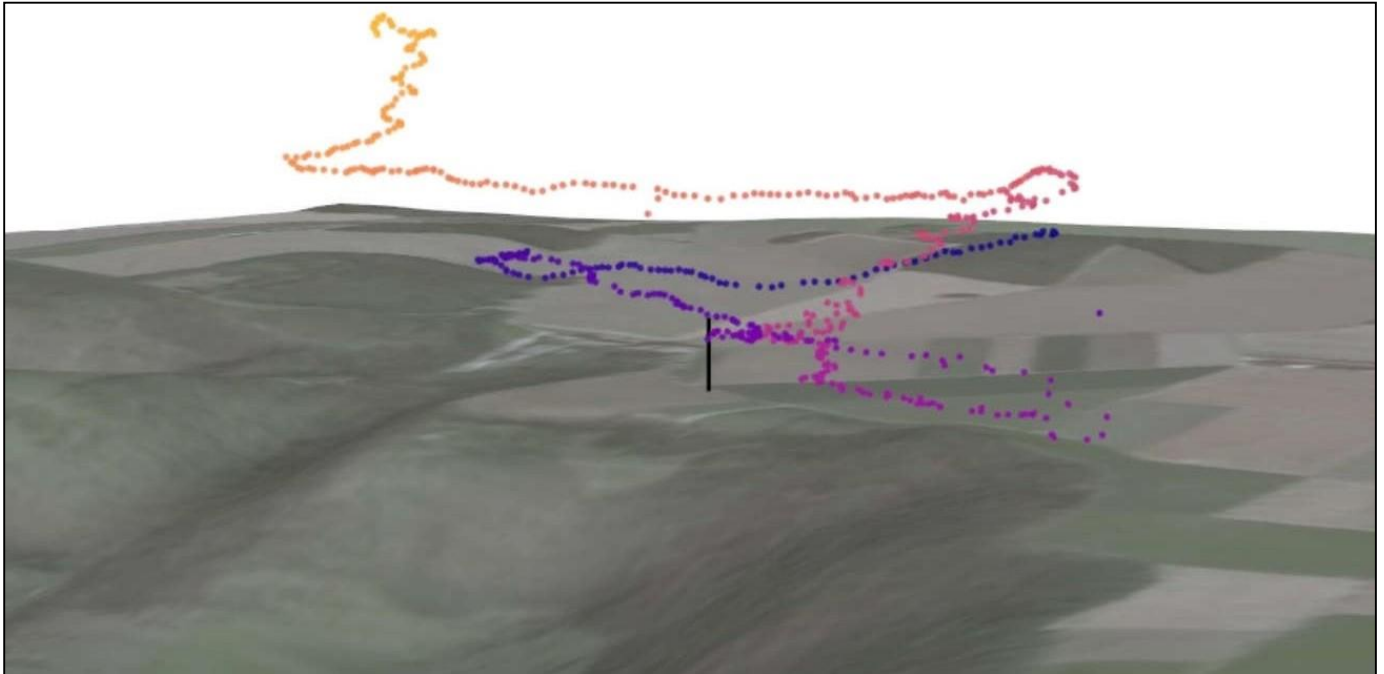


Figure 39 : Illustration 3D d'une trajectoire du Milan royal. La trajectoire est composée de 627 détections individuelles. La ligne noire au centre marque la position du système IDF (pas à l'échelle). Site de Geislingen, 03/06/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Oldenbourg, 07/10/2021

The Regional Planning and
Environmental Research Group

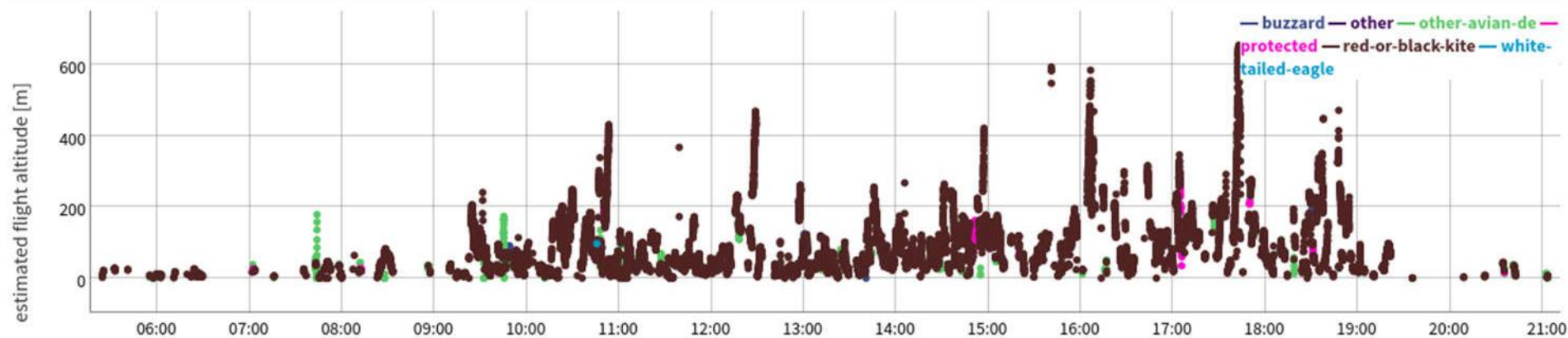


Figure 40 : Répartition typique de la hauteur des traces de Milans royaux identifiés par IDF. La répartition verticale des pistes, qui a été utilisée pour déterminer les altitudes de vol, est clairement visible. Base de données : tous les points de Milan royal d'une journée d'échantillonnage sur le site de Geislingen, 01/06/2020.

5 Résultats

5.1 Base de données obtenue

Dans cette étude, un total de 77 254 trajectoires de vol (traces) d'objets détectés en vol ont été enregistrées par IDF sur les six sites d'étude. Au total, toutes les traces génèrent plus de 1,8 million de points de données. Une détermination ultérieure de toutes les traces n'a pas été possible en raison de l'abondance des données sur les sites de Bütow et de Geislingen (voir chapitre 4.3.3). Le Milan royal a été déterminé de manière fiable dans 8 522 traces, avec lesquelles 275 394 points de données ont pu être collectés pour cette espèce (tableau 6).

Tableau 6 : Nombre de traces évaluées et de points individuels pour la performance de classification d'IDF

	Données totales		Milans royaux identifiés	
	Traces	Positions individuelles	Traces	Positions individuelles
Helfta	10 072	248 287	1 963	69 429
Plate	8 120	149 707	1 379	35 077
Lübesse	5 554	86 014	989	21 880
Gerbstedt	4 711	105 118	1 079	34 403
Bütow	22 417	442 966	1 813	43 243
Geislingen	26 380	806 798	1 299	71 362
Total	77 254	1 838 890	8 522	275 394

Les données collectées par IDF sont disponibles sous forme d'informations ponctuelles dans l'espace tridimensionnel. Si l'on regarde la distribution horizontale des positions de tous les oiseaux enregistrés autour d'un système IDF installé, il devient évident que la distribution locale de l'activité des oiseaux entre les sites montre des différences significatives (figure 41). Par exemple, à Plate, une zone d'activité aviaire particulièrement élevée se trouvait au nord et plus au sud d'IDF. Ces informations fournissent des informations sur les zones particulièrement fréquentées à proximité d'IDF et permettent également de tirer des conclusions sur la portée de détection horizontale générale d'IDF.

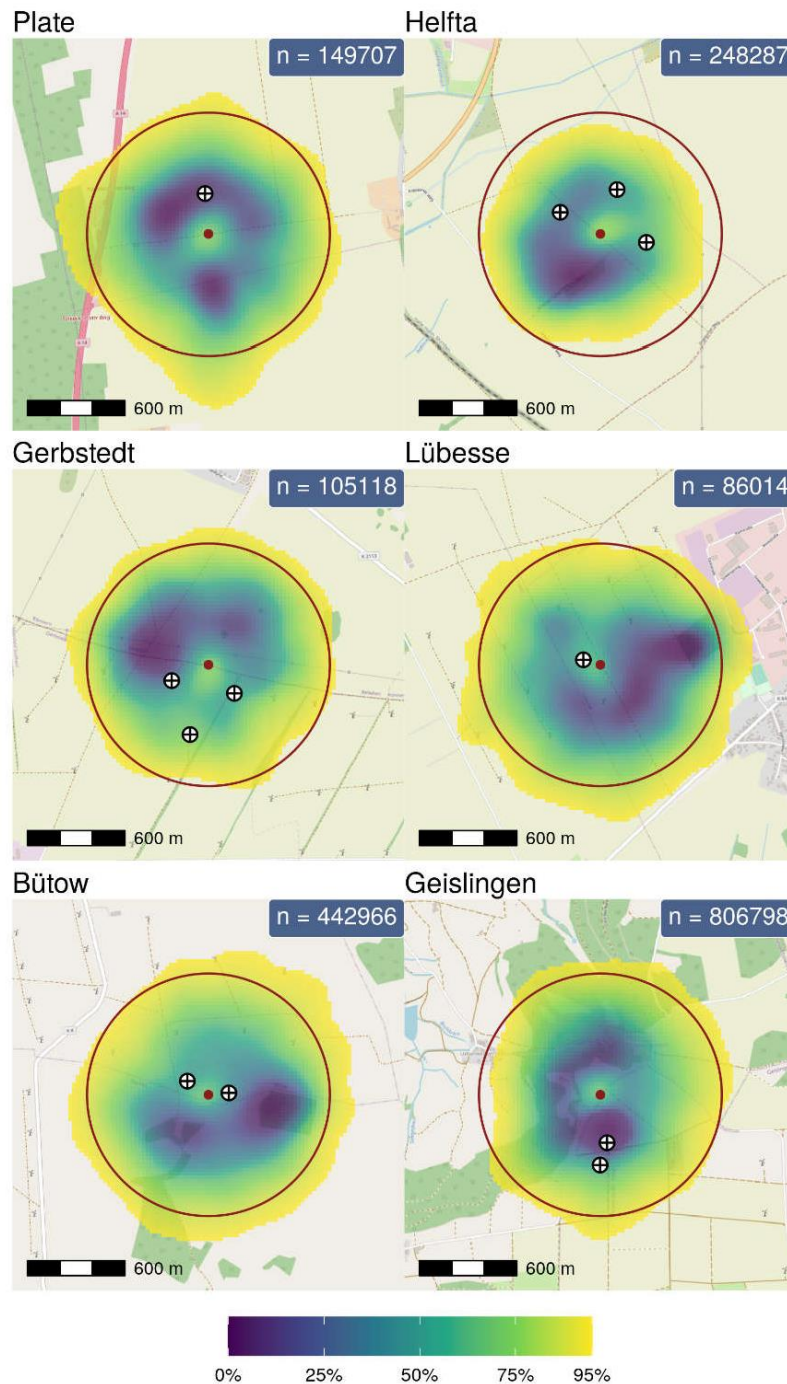


Figure 41 : Estimation de la densité des noyaux des sites de toutes les trajectoires enregistrées par IDF (toutes les espèces d'oiseaux). Plus la couleur est foncée, plus l'activité enregistrée par IDF est élevée. Le dégradé de couleur doit être lu de manière cumulative, de sorte que, par exemple, 50 % de l'activité mesurée s'est produite dans les zones dont les couleurs vont de 0 à 50 %. Le système IDF installé est marqué par un point rouge et le rayon de 750 m autour d'IDF par un cercle rouge. Les éoliennes virtuelles ou réelles sont signalées par des symboles en noir et blanc.

En regardant la distribution des Milans royaux enregistrés à partir de la position d'IDF dans les directions horizontale et verticale, des vues détaillées de l'activité de vol du Milan royal dans toutes les directions autour d'IDF peuvent être générées, mais sans connaître la distance respective à IDF. De plus, il convient de noter que la projection bidimensionnelle d'un « dôme » autour d'IDF provoque une distorsion croissante de l'affichage à mesure que l'angle d'inclinaison augmente, et par conséquent les nuages de points apparaissent moins denses avec la même activité (figure 42 et figure 43).

Sur le site de Helfta, il y a une forte concentration de l'activité du Milan royal enregistrée dans la zone sud-est, à plat au-dessus de l'horizon. Dans cette zone se trouve un petit bois, qui contenait parfois des charognes, ce qui avait un fort effet d'attraction. A Lübesse, une concentration d'activité de vol est visible au-dessus de la forêt de reproduction à l'est (distance d'environ 700 m, voir figure 12). Une augmentation tout aussi notable de l'activité de vol peut également être observée sur le site de Bütow, la zone forestière accueillant le site de reproduction d'un couple de Milans royaux n'étant qu'à environ 400 à 500 m. À Geislingen, l'activité est généralement accrue dans le nord (bords gauche et droit de l'image), où le site de reproduction n'est éloigné que de 250 m. Il y a aussi une concentration notable dans le sud. Là, les activités de chasse se sont multipliées autour d'une porcherie (voir aussi la figure 51).

Les différences absolues dans l'activité de vol du Milan royal avec une densité globale de points significativement plus élevée à Helfta, Bütow et Geislingen peuvent également être observées par rapport à des densités plus faibles à Plate, Gerbstedt et Lübesse.

Tous les sites ont montré une activité globale du Milan royal suffisamment élevée pour pouvoir y réaliser les études sur l'efficacité d'IDF vis-à-vis du Milan royal.

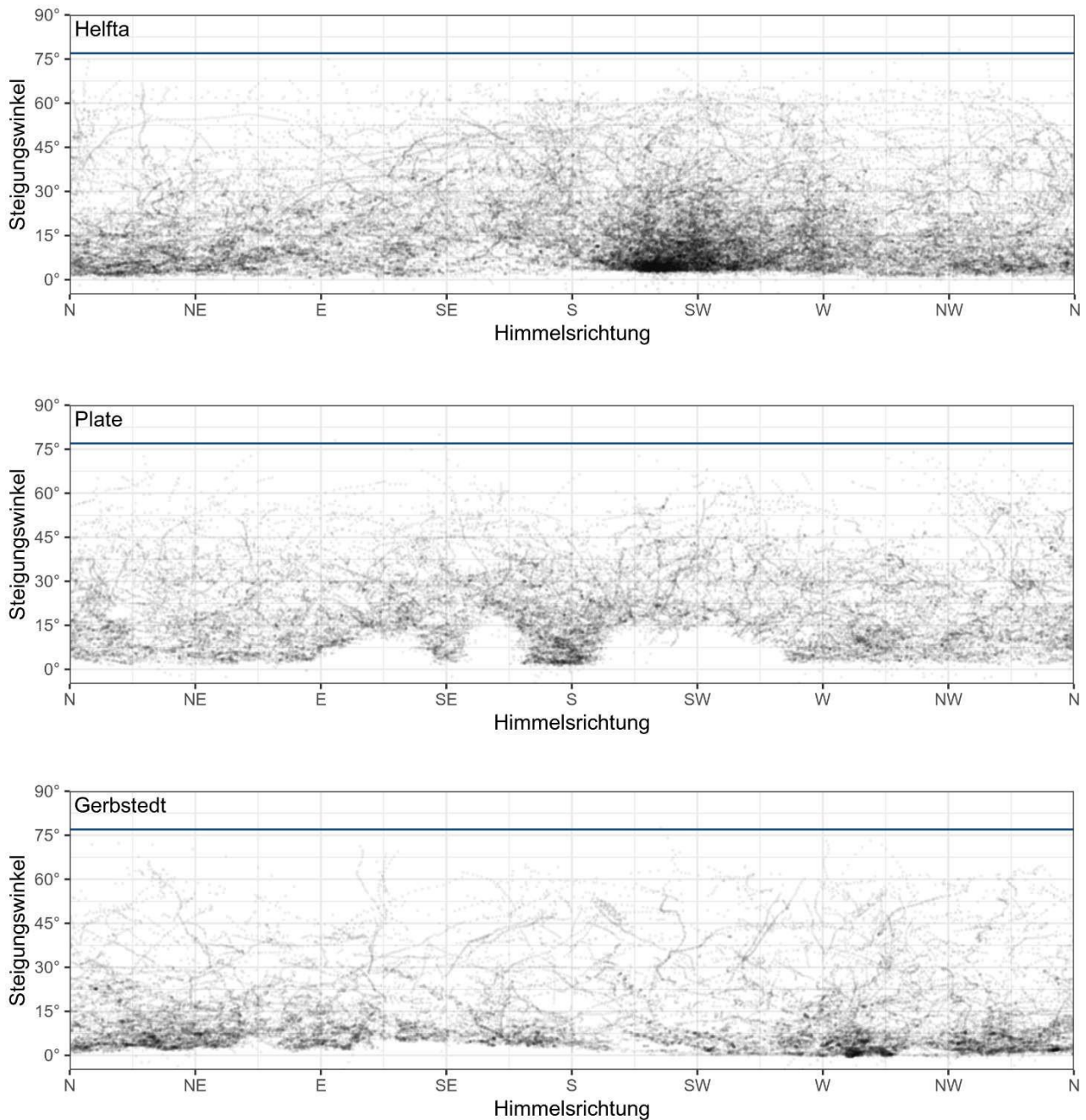


Figure 42 : **Activité du Milan royal sur les sites de Helfta, Plate et Gerbstedt. Les illustrations montrent toutes les positions des Milans royaux (Red-Black-Kite) enregistrées par IDF sur la direction cardinale et l'angle d'inclinaison. L'angle d'inclinaison maximal de la caméra stéréo IDF de 77° est marqué par une ligne bleue.**

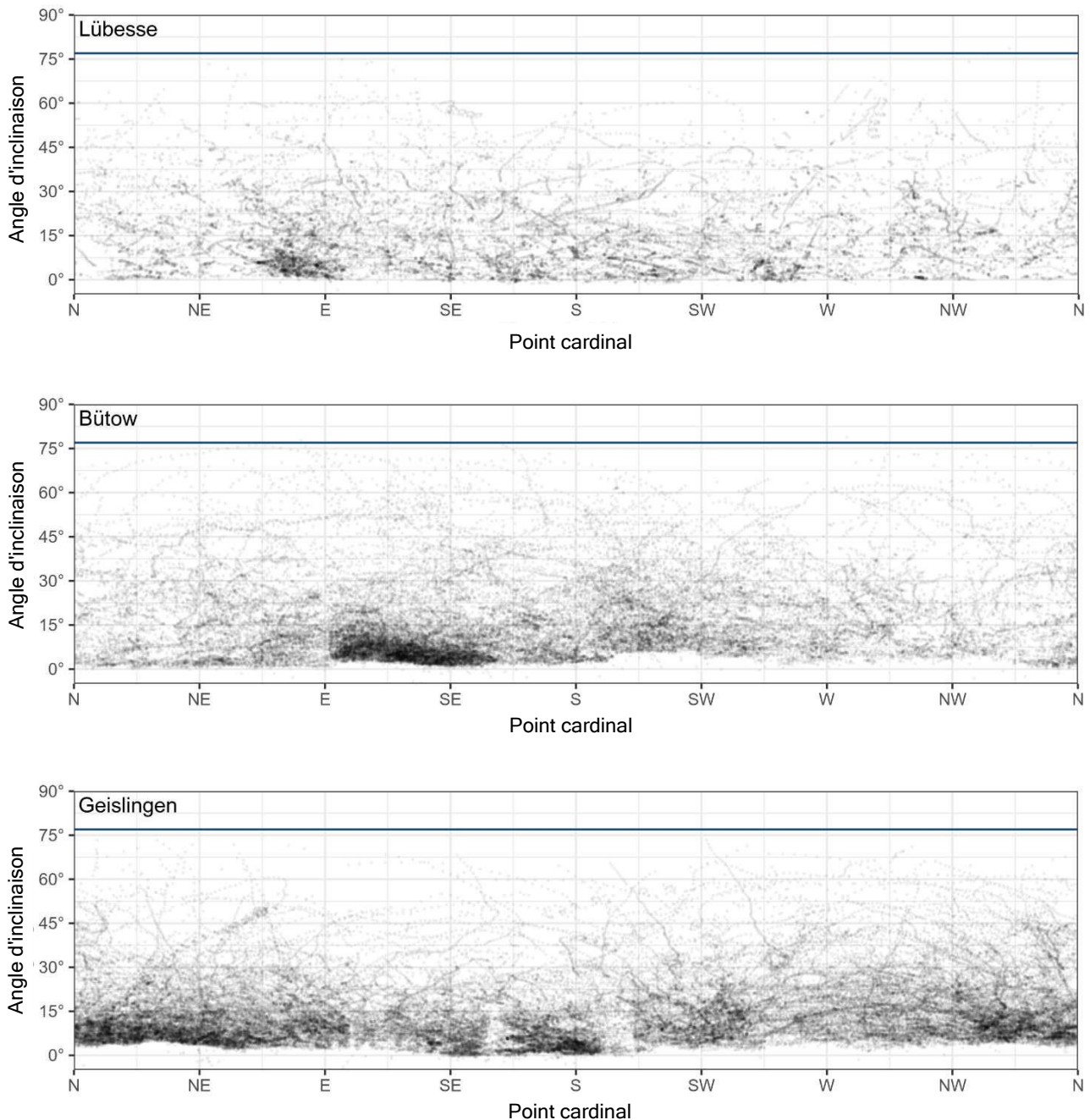


Figure 43 : **Activité du Milan royal sur les sites de Lübesse, Bütow et Geislingen. Les illustrations montrent toutes les positions des Milans royaux (Red-Black-Kite) enregistrées par IDF sur la direction cardinale et l'angle d'inclinaison. L'angle d'inclinaison maximal de la caméra stéréo IDF de 77° est marqué par une ligne bleue.**

5.2 Précision de détection

5.2.1 Données GPS d'un drone

Globalement, les trajectoires du drone enregistrées par IDF montrent un très haut degré de correspondance avec les points GPS des vols du drone. Il n'y a pas de différences de précision en ce qui concerne les deux hauteurs de vol testées (50 m et 100 m) (figure 44 et figure 45).

Horizontalement, l'écart médian des points de mesure IDF par rapport aux positions des drones GPS est d'environ 8 m. Ce résultat correspond à l'erreur attendue de la localisation GPS du drone en combinaison avec la précision de mesure d'IDF de +/- 5 % (figure 45).

Verticalement, l'écart médian des points de mesure IDF par rapport aux positions des drones GPS est encore plus faible, allant de 1,7 m à 3,2 m (figure 45). Compte tenu de ce niveau de concordance élevé, il convient de noter qu'IDF n'a pas été formé sur le drone en tant qu'espèce ciblée.

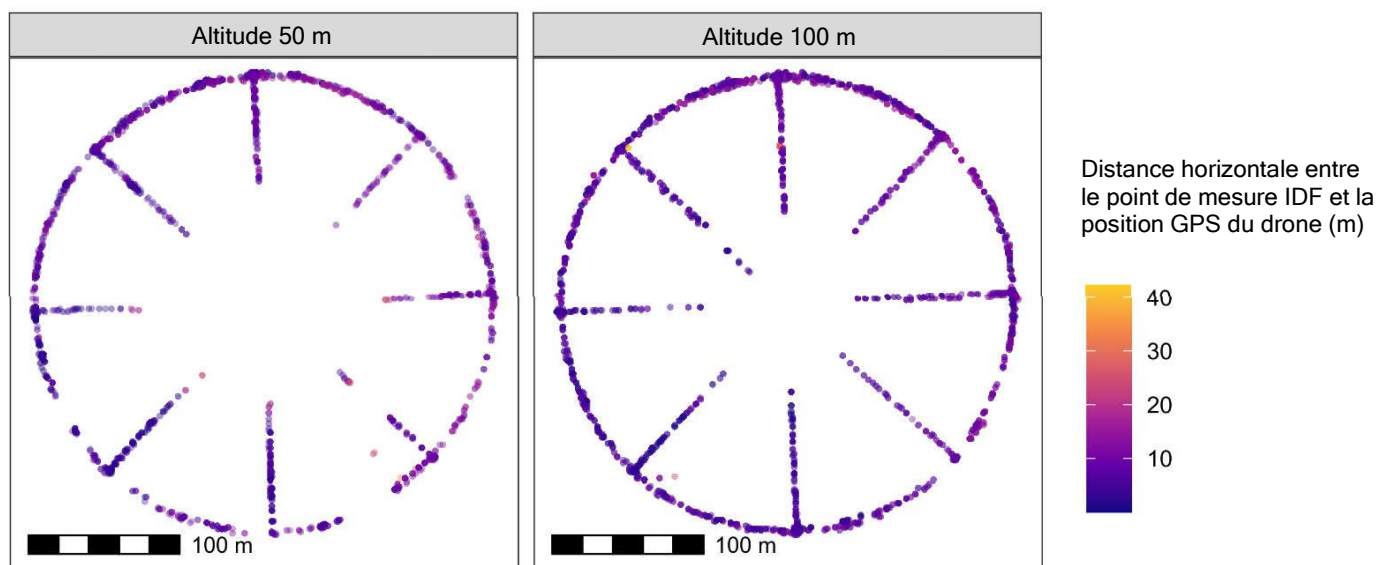


Figure 44 : Emplacements du drone par IDF à différentes altitudes de vol (50 m et 100 m). Le dégradé de couleurs montre la différence entre la détermination de la position horizontale par IDF et la position GPS du drone. Le rayon des trajectoires de vol est de 150 m.

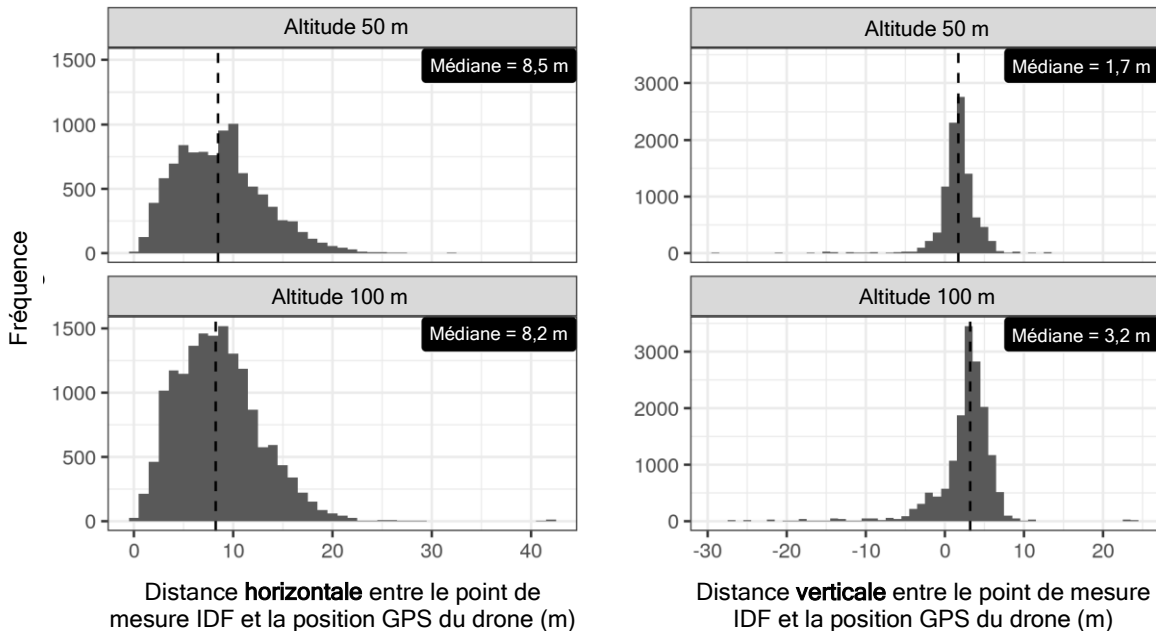


Figure 45 : Écart entre la position GPS du drone par rapport à la position horizontale (gauche) et verticale (droite) par IDF pour deux altitudes différentes (50 m et 100 m).

5.2.2 Données LRF et données GPS du Milan royal avec un émetteur

La comparaison des vols du Milan royal, qui ont été enregistrés par des systèmes de référence et comprennent les données des enregistrements LRF ainsi que l'émetteur GPS du Milan royal « Donzi », ont principalement servi à déterminer le taux de détection et non la précision de la localisation.

Si l'on regarde la correspondance entre les emplacements IDF et les données LRF, il devient évident que les données IDF montrent en partie un degré élevé de précision de position en ce qui concerne les sites de LRF (figure 46). Dans de tels cas, le niveau élevé de concordance entre IDF et LRF a permis d'évaluer clairement si l'oiseau enregistré par LRF était également enregistré par IDF.

Cependant, en raison des interférences avec la boussole électronique pour la détermination de l'azimut, des désalignements angulaires peuvent facilement se produire lors de la localisation par le LRF (figure 47 et figure 48). L'évaluation pour savoir s'il s'agit du même oiseau dépend de la situation des données respectives. Les exemples de la figure 47 et de la figure 48 montrent des trajectoires de vol simultanées pour IDF et le LRF avec suffisamment de positions individuelles pour pouvoir conclure qu'il doit s'agir du même oiseau. Si cela n'avait pas été le cas, par exemple parce qu'il n'y avait eu que quelques points sans chevauchement temporel, et s'il y avait eu également un décalage angulaire (qui ne serait pas reconnaissable dans un tel cas), il n'aurait pas été possible d'évaluer s'il s'agissait du même oiseau et il fallait supposer qu'IDF

n'avait pas détecté l'oiseau enregistré par le LRF. De tels cas se sont produits particulièrement fréquemment sur le site de Lübesse, c'est pourquoi les données LRF sur ce site n'ont pas pu être utilisées comme données de référence pour le taux de détection.

Si l'on regarde la précision de la localisation par rapport à l'émetteur GPS, on peut voir que les données IDF montrent un degré élevé de concordance avec les données GPS (figure 49 et figure 50). La détermination de l'altitude de vol est partiellement cohérente (figure 49), mais dans certains cas, les altitudes de vol entre les données IDF et les données GPS diffèrent de manière plus significative (figure 50). Ceci est probablement dû au fait que la détermination de l'altitude avec les émetteurs GPS peut être relativement imprécise. Le haut niveau de concordance entre les données d'IDF et celles de l'émetteur GPS a rendu très fiable l'évaluation visant à déterminer si l'oiseau détecté par IDF était « Donzi ».

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

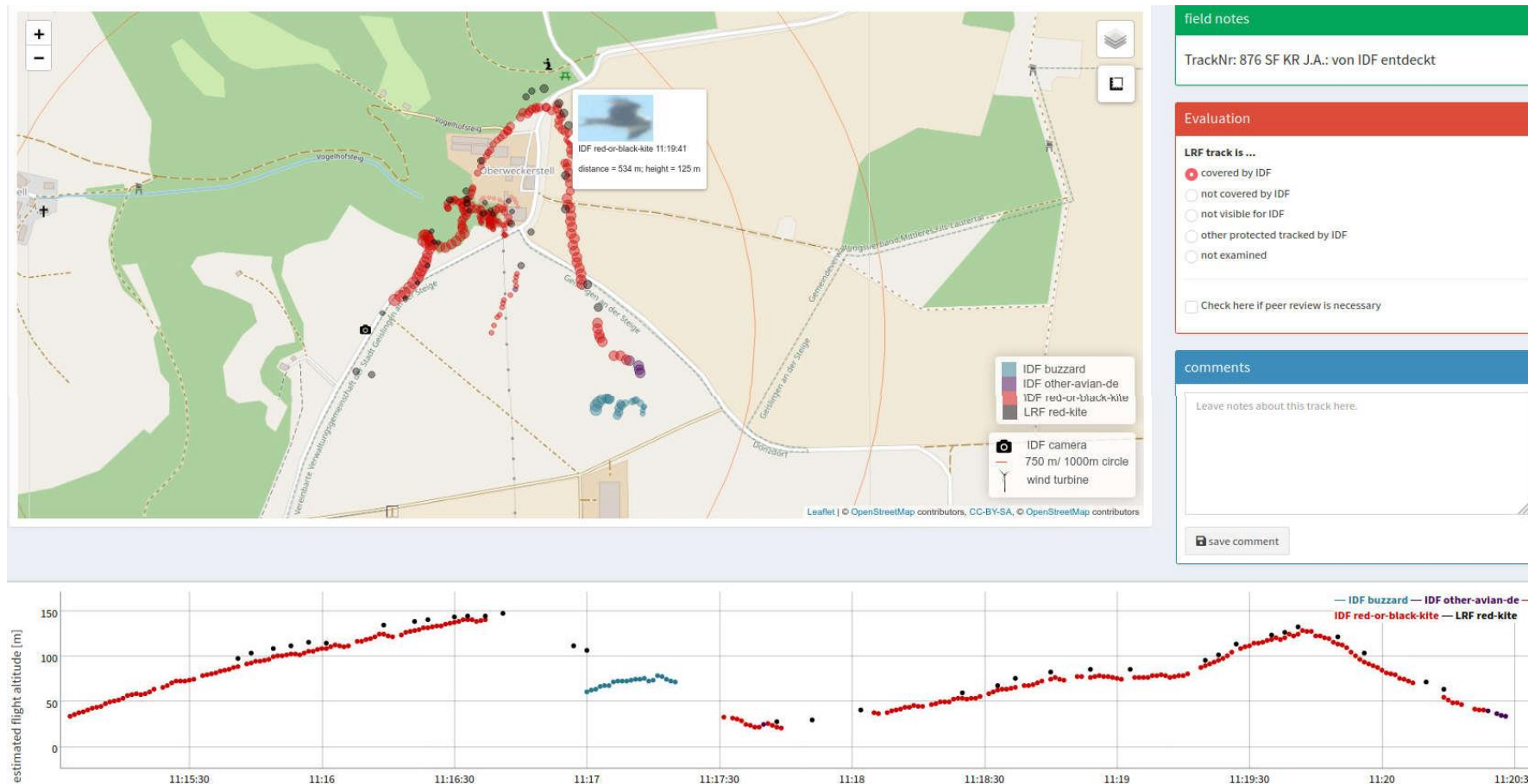


Figure 46 : Exemple de précision de détection par LRF : la trajectoire de vol enregistrée a également été enregistrée par IDF. Verticalement, les points de données se superposent très bien. Horizontalement, il y a un léger décalage basé sur un décalage en azimut du LRF. Site de Geislingen, 06/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

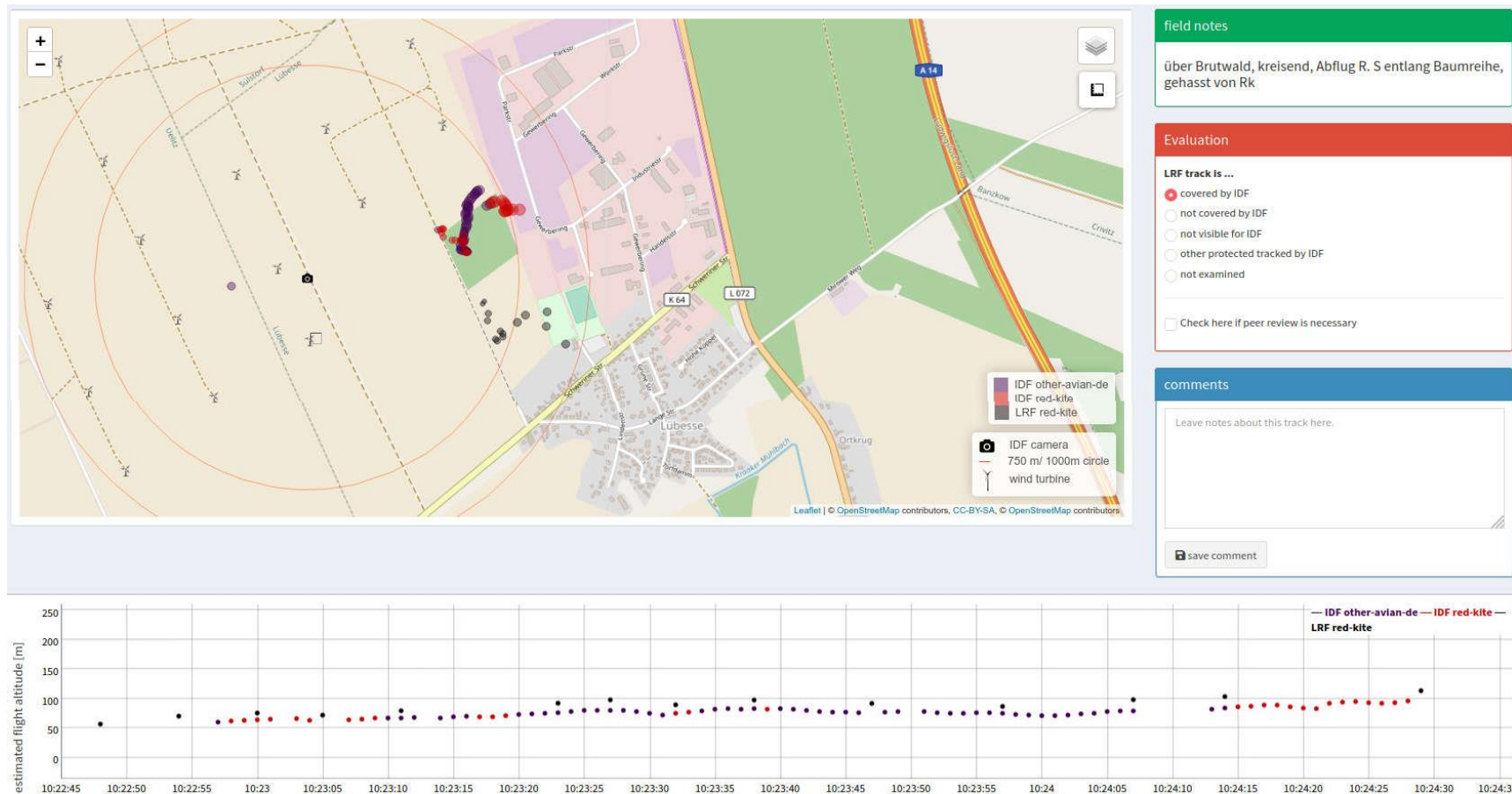


Figure 47 : Traces LRF et IDF avec un décalage angulaire important sur le site de Lübese. Dans cet exemple, le décalage est visible à travers les trajectoires similaires et le commentaire sur la détection LRF. Site de Lübese, 18/09/2029.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research

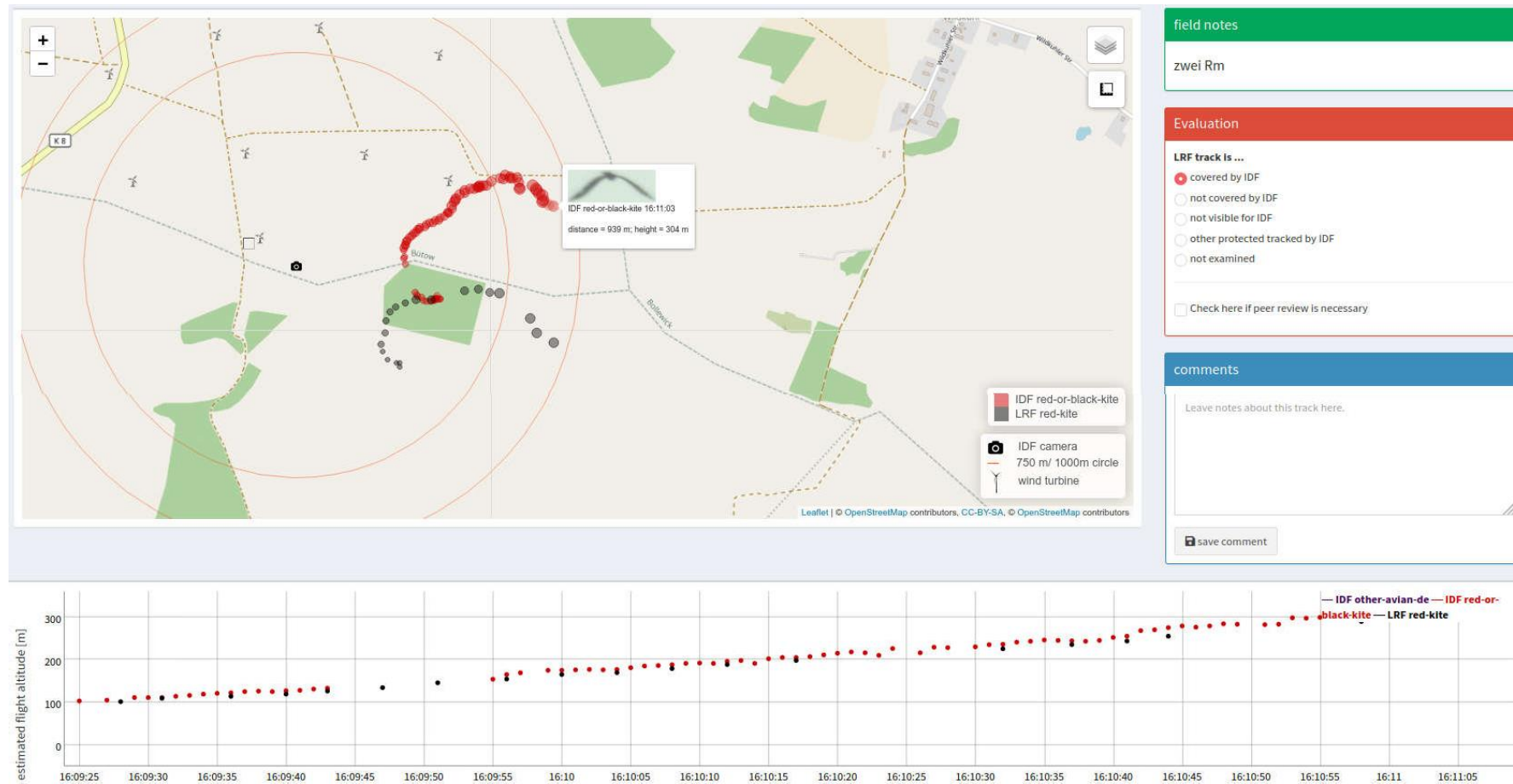


Figure 48 : Trace LRF et IDF avec décalage angulaire sur le site de Bütow. Dans cet exemple également, le décalage est clairement visible en raison de la similitude des trajectoires et de la concordance de la distribution des hauteurs. Site de Bütow, 13/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

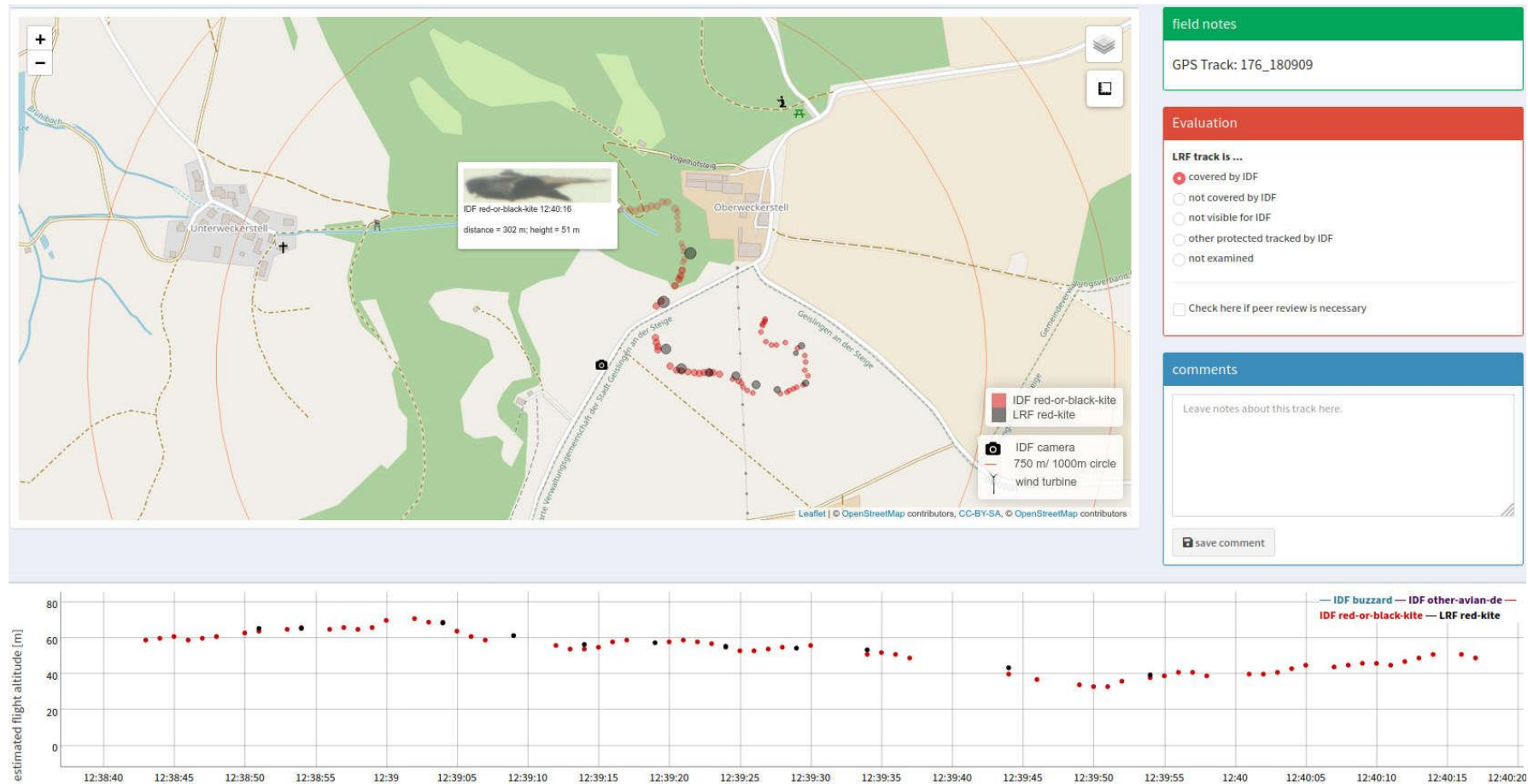


Figure 49 : Trace GPS et IDF d'un Milan royal avec une grande précision de localisation spatiale. Site de Geislingen, 19/04/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

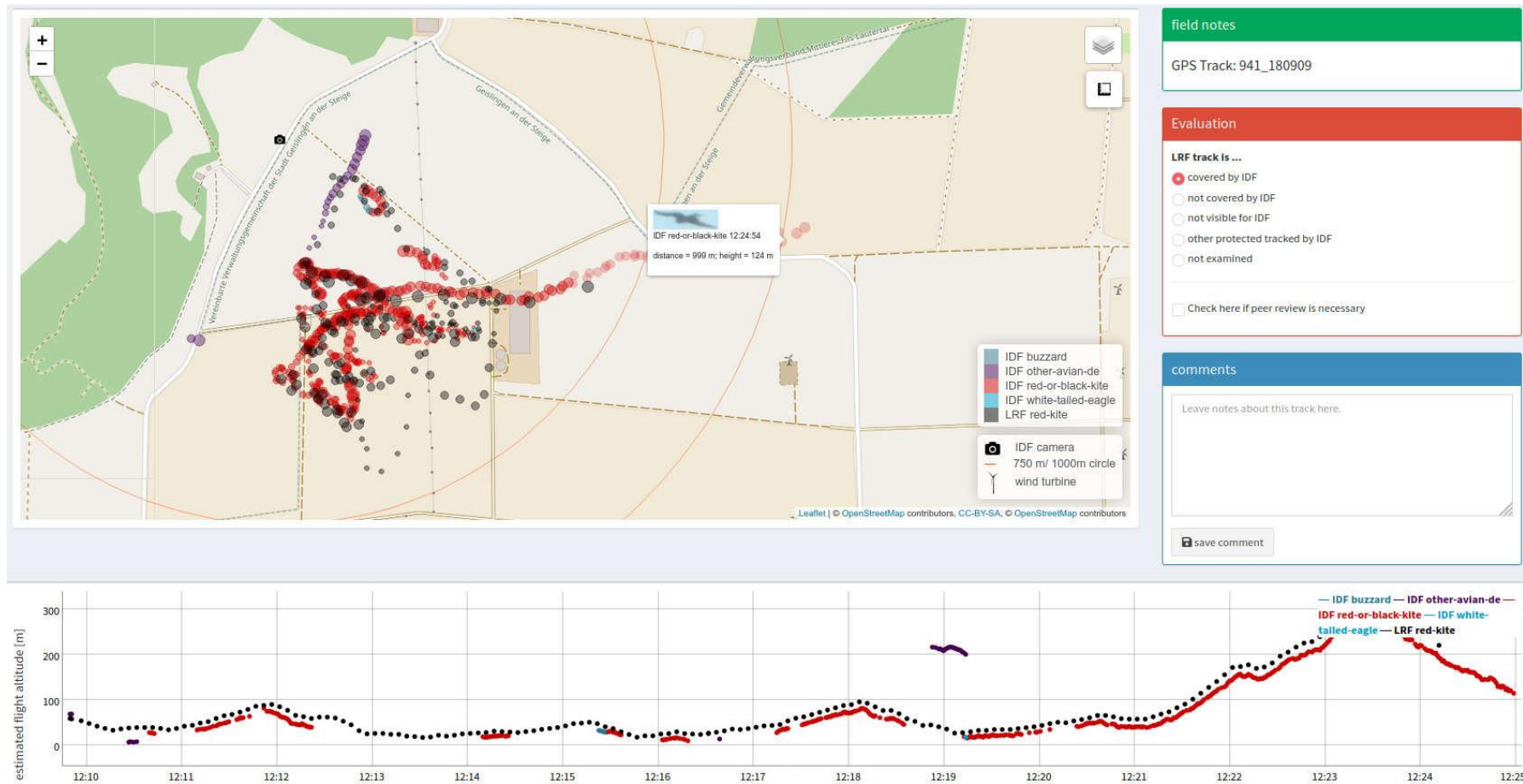


Figure 50 : Trace GPS et IDF d'un Milan royal avec une grande précision de localisation spatiale, mais une détermination de hauteur différente. Le GPS positionne l'oiseau plus haut qu'IDF. Site de Geislingen, 07/05/2020.

5.3 Portée de détection

La portée de détection d'IDF pour la détection sûre des Milans royaux a été calculée à partir du total de 275 394 positions individuelles de Milans royaux identifiés ultérieurement. La portée de détection de 750 m spécifiée pour le Milan royal correspond bien à la distribution des noyaux de 95 % sur la base des données disponibles et va même au-delà globalement (tableau 7 et figure 51). Ici, cependant, la répartition des Milans royaux dans le paysage entourant le système IDF joue un rôle majeur. À Lübesse, la forêt de reproduction était située à environ 700 m, à Bütow à environ 300 m à l'est d'IDF, ce qui a entraîné une activité de vol particulièrement élevée dans ces zones et par conséquent plus d'enregistrements à cette distance (figure 51). En comparaison, les données de Lübesse notamment montrent clairement que la répartition des points de localisation indiqués en dessous d'une distance de 750 m dépend principalement de la répartition spatiale de l'activité des oiseaux et non des performances de la caméra par rapport à la portée de détection.

Le tableau 7 résume les portées de détection détectées en pourcentage à 95 % et 99 % ainsi que les distances maximales détectées pour la distance horizontale, la hauteur verticale au-dessus d'IDF et la distance de rayon. Cela montre que 95 % des activités du Milan royal ont été détectées à une distance horizontale de 803 m. Ce résultat dépasse la portée de détection de 750 m spécifiée par le fabricant pour le Milan royal.

Tableau 7 : Distances détectées des Milans royaux identifiés.

	en pourcentage 95 %	en pourcentage 99 %	Distance maximale prouvée
Distance horizontale	803 m	1 006 m	1 199 m
Hauteur verticale	407 m	599 m	1 103 m
Distance de rayon	861 m	1 070 m	1 199 m

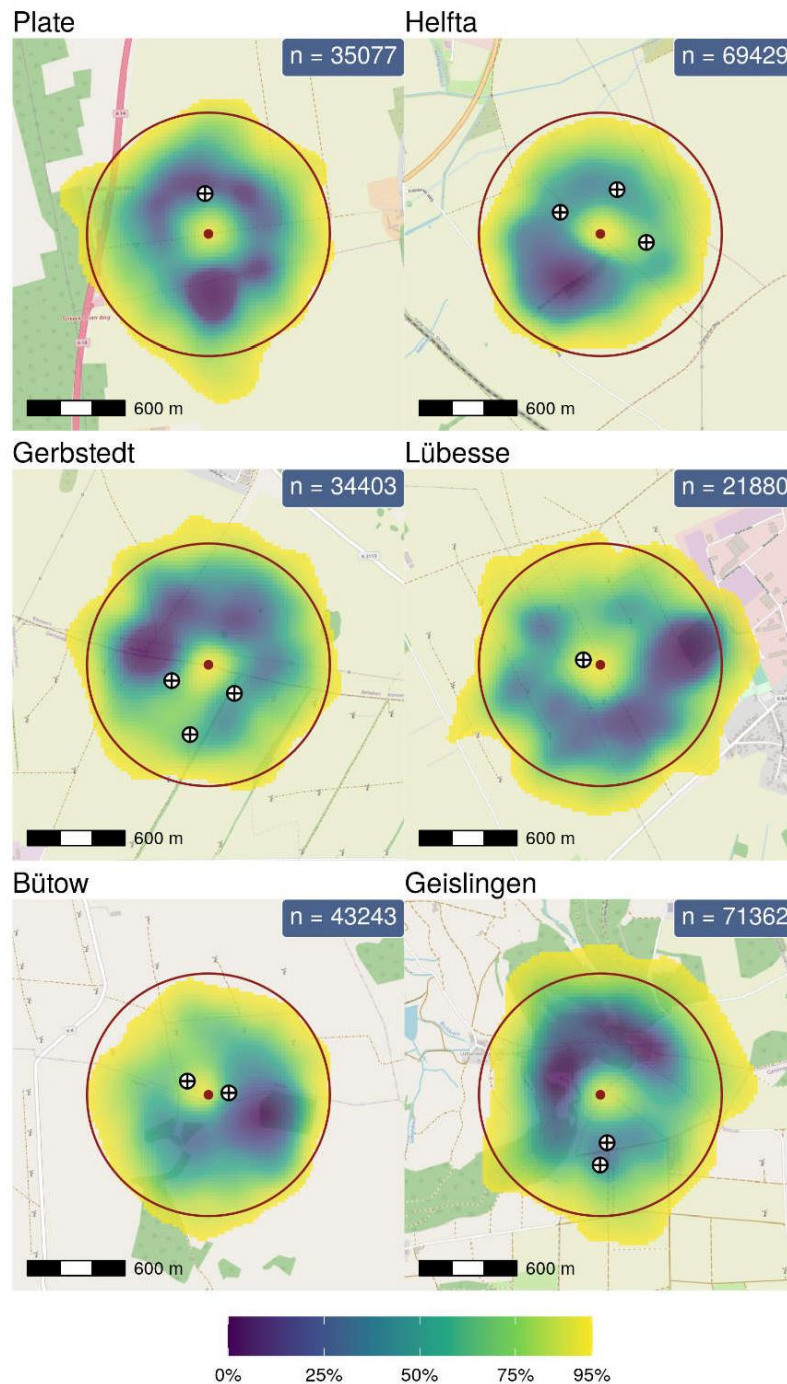


Figure 51 : Estimation du noyau de densité des détections de tous les Milans royaux détections par IDF. Plus la couleur est foncée, plus l'activité enregistrée par IDF est élevée. Le dégradé de couleur doit être lu de manière cumulative, de sorte que, par exemple, 50 % de l'activité mesurée s'est produite dans les zones dont les couleurs vont de 0 à 50 %. Le système IDF installé est marqué par un point rouge et le rayon de 750 m autour d'IDF par un cercle rouge. Les éoliennes virtuelles ou réelles sont signalées par des symboles en noir et blanc.

5.4 Taux de détection

5.4.1 Performances de détection par rapport aux échantillons de référence

Le taux de détection d'IDF a été déterminé aux six emplacements sur la base des trajectoires mesurées avec le LRF et également sur la base des données GPS du Milan royal à Geislingen avec un émetteur. Cet ensemble de données de trajectoires LRF et GPS a servi d'échantillon de référence pour déterminer les performances de détection d'IDF, où seules les trajectoires classées comme « valides » ont été utilisées en excluant les trajectoires « non valides » (non visibles pour IDF ou IDF suivant un autre oiseau protégé en même temps, tableau 4 et chapitre 4.3.2).

De cette façon, un ensemble de données de référence composé de 476 trajectoires de vol GPS valides et de 626 trajectoires de vol LRF valides a pu être formé, ce qui correspond à un total de 1 102 trajectoires de vol de référence valides (tableau 8).

Sur le site de Geislingen, le Milan royal « Donzi » transmis par GPS a été classé comme non visible par IDF (140 des 668 traces, tableau 8). Cela est dû au fait que ce Milan royal volait souvent très bas dans la zone de la barrière géographique et sous l'horizon et n'était donc pas ou difficilement visible par IDF (figure 55). Il est également frappant de constater que sur les sites de Bütow et Geislingen, qui ont montré un niveau d'activité de vol particulièrement élevé, IDF a relativement souvent enregistré des oiseaux autres que ceux localisés par le LRF ou par l'émetteur GPS (tableau 8).

Tableau 8 : Dérivation de l'échantillon de référence des traces TLR et GPS

Année	Site	Méthode	Nombre de traces	Non visible	Autre oiseau	Traces valides
2018	Helfta	LRF	107	0	4	103
2018	Plate	LRF	65	9	4	52
2019	Gerbstedt	LRF	63	8	0	55
2020	Bütow	LRF	419	20	92	307
2020	Geislingen	LRF	115	3	3	109
2020	Geislingen	GPS	668	140	52	476
	Total	LRF et GPS	1 437	180	155	1 102

Les figures 52 à 57 montrent des exemples de trajectoires de référence avec les trajectoires enregistrées par IDF. Dans la plupart des cas, les Milans royaux des trajectoires de référence ont également été enregistrés par IDF. La figure 53 montre un cas particulier dans lequel IDF détecte le Milan royal « Donzi » alors qu'il poursuit un autre Milan royal. Ici, IDF oscille du sud-ouest à l'est en 20 secondes et détecte le Milan royal pour un point et revient au Milan royal capturé précédemment. La trajectoire de référence de « Donzi » montre qu'il s'est éloigné de la zone de collision au sud d'IDF et n'était donc probablement plus détecté par IDF.

Une hiérarchisation similaire existe dans les cas où IDF détecte un oiseau autre que la trajectoire de vol de référence (figure 56 et figure 57), ce qui ne permet pas de comprendre en détail pourquoi IDF décide de poursuivre un oiseau.

Sur un total de 1 102 trajectoires de référence valides, 1 011 (92 %) ont été détectées par IDF (tableau 9). Cinq des six sites ont montré des taux de capture assez constants entre 85 et 96 %.

Les chapitres 4.2.2 et 5.2.2 font déjà référence aux sources d'erreur dans les détections LRF en général et en particulier sur le site de Lübesse. Pour cette raison, le site de Lübesse a été exclu de cette analyse.

Tableau 9 : Taux d'acquisition obtenus par IDF sur les sites d'étude par rapport aux échantillons de référence des trajectoires de vol qui ont été collectés à l'aide du télémètre laser (LRF) et des données de télémétrie (GPS).

Année	Site	Méthode	Traces valides	Détecté	Non détecté	Taux de détection
2018	Helfta	LRF	103	99	4	96 %
2018	Plate	LRF	52	48	4	92 %
2019	Gerbstedt	LRF	55	52	3	95 %
2020	Bütow	LRF	307	261	46	85 %
2020	Geislingen	LRF	109	100	9	92 %
2020	Geislingen	GPS	476	451	25	95 %
	Total	LRF et GPS	1 102	1 011	91	92 %

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

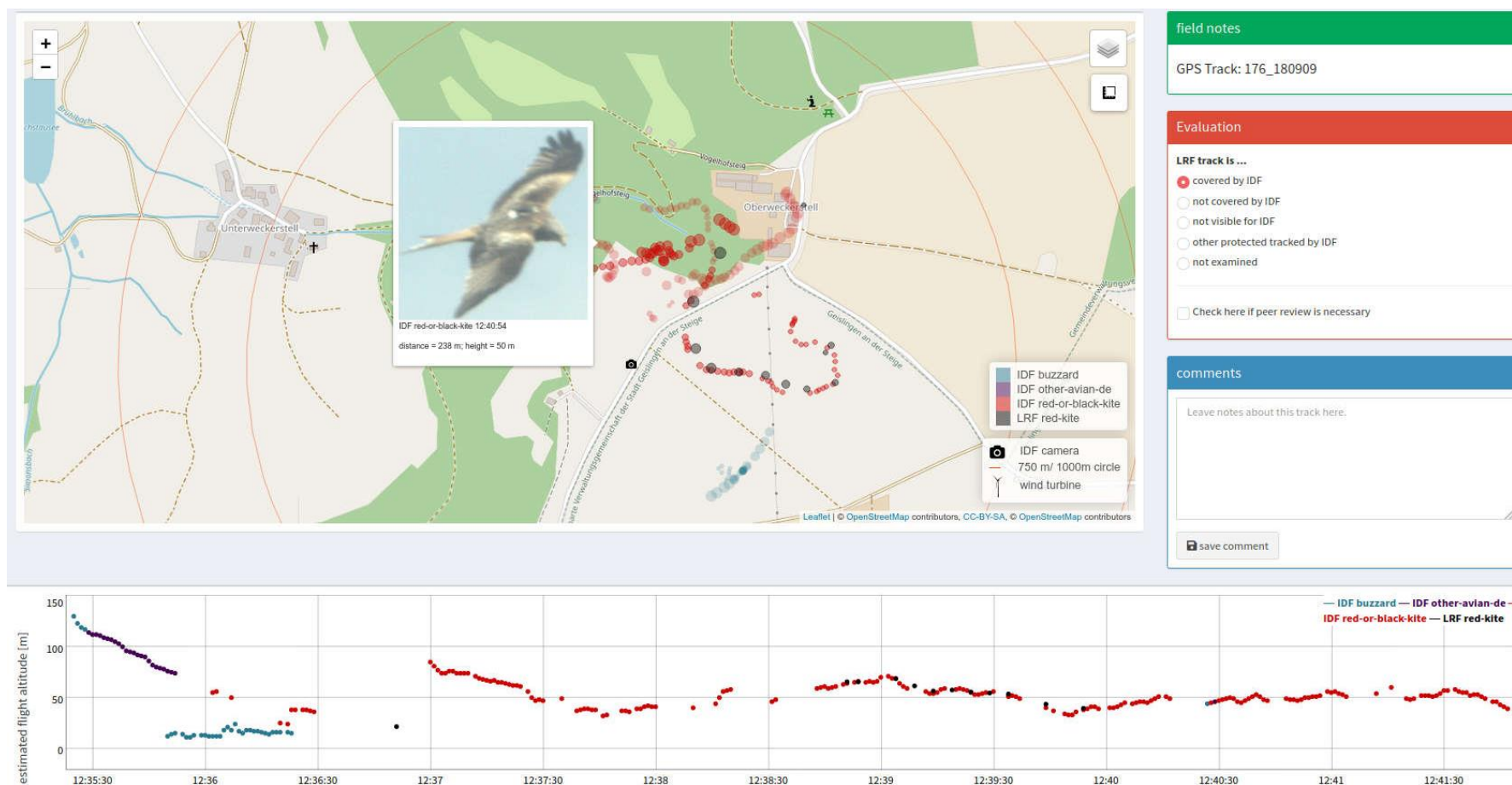


Figure 52 : Trace GPS (points gris, étiquetés différemment « LRF red kite » dans l'illustration) d'un Milan royal qui a également été détecté par IDF (points rouges) pendant environ une minute. L'émetteur GPS sur le dos du Milan royal est clairement visible. Site de Geislingen, 19/04/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

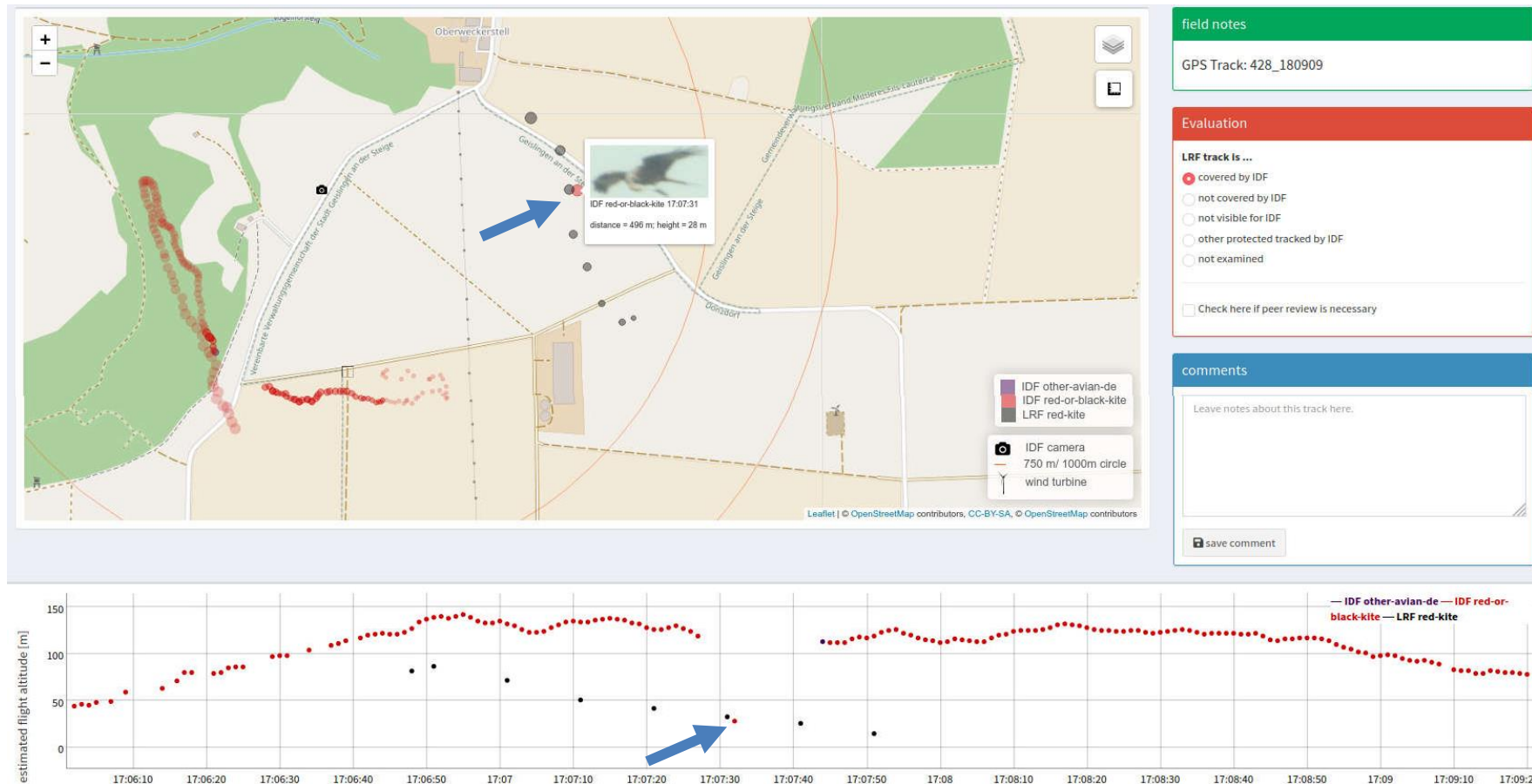


Figure 53 : Trace GPS (points gris, différemment marqués « LRF Milan royal » sur la figure) d'un Milan royal qui a également été brièvement détecté par IDF (points rouges). « Donzi » a été enregistré par un point (flèches bleues) lors de la détection d'un autre Milan royal, avant que IDF ne revienne à l'oiseau d'origine. Site de Geislingen, 24/04/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

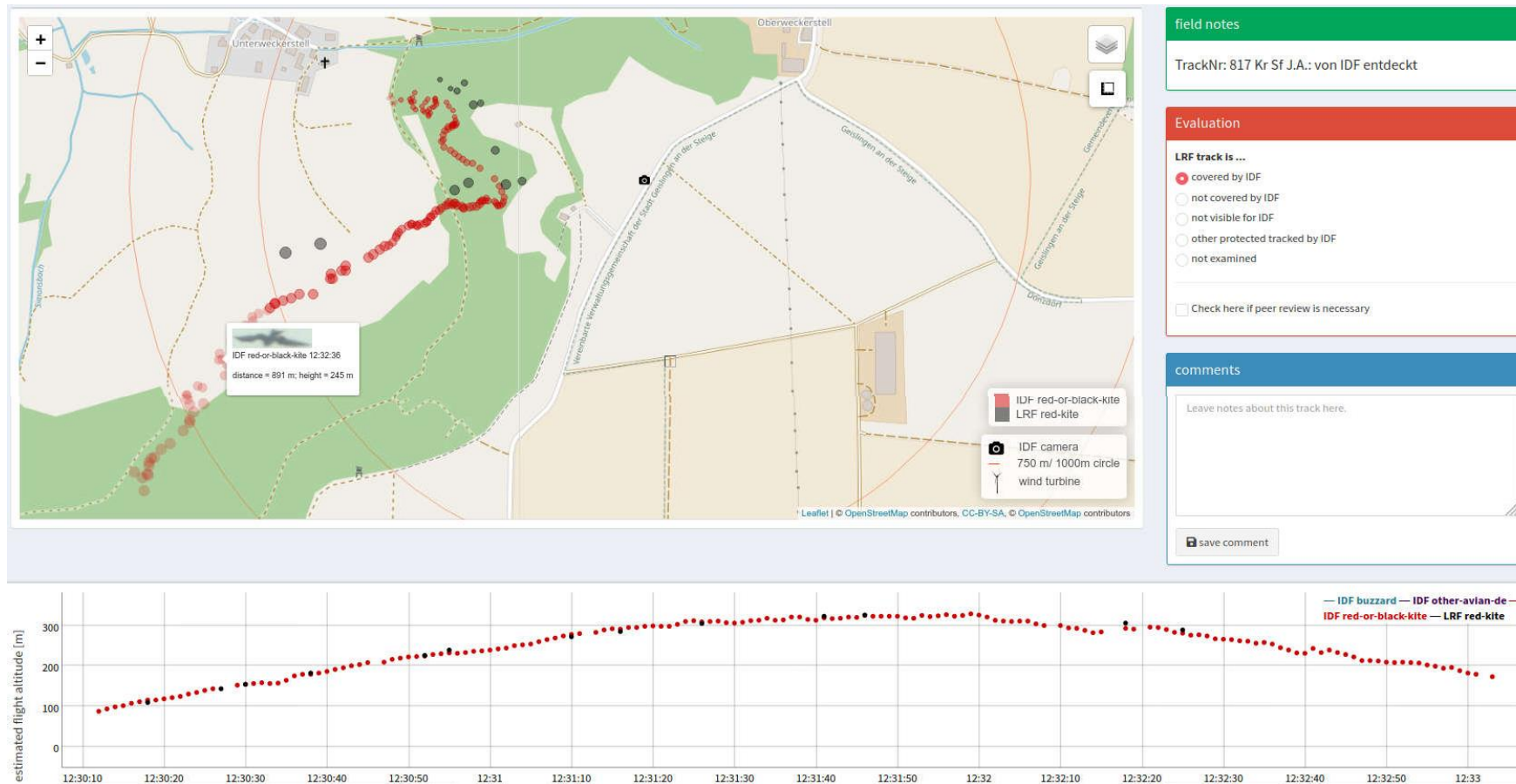


Figure 54 : Exemples de trajectoires de Milans royaux sur le site de Geislingen, qui ont été enregistrées à la fois par IDF (points rouges) et le LRF (points gris). Site de Geislingen, 24/04/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

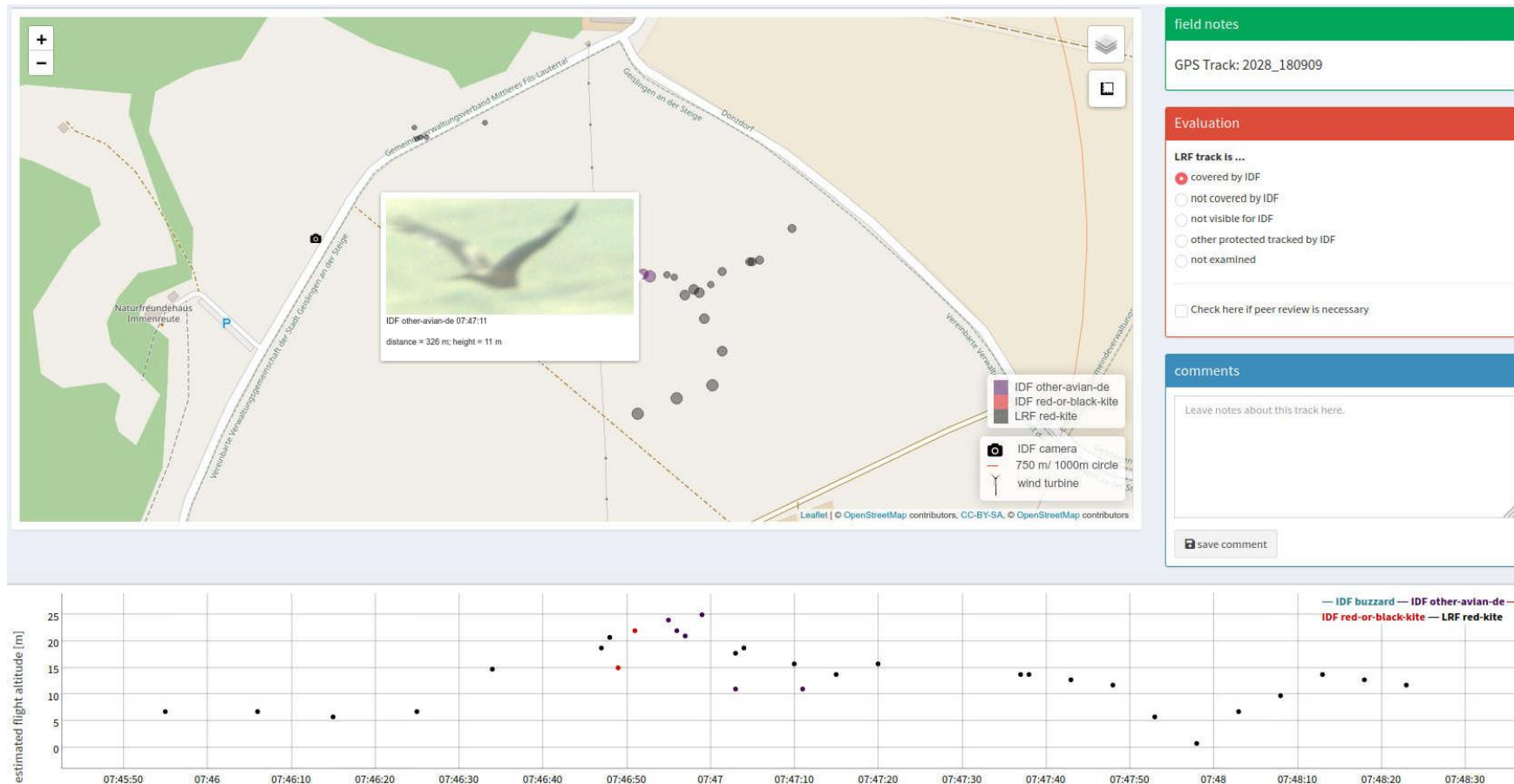


Figure 55 : Milan royal volant à basse altitude « Donzi » (données GPS, points gris ; marqué de manière déviée par « LRF red kite » sur la figure), qui a été détecté par IDF devant l'arrière-plan (points rouges), mais partiellement non identifié comme Milan royal (points violets). Site de Geislingen, 06/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research



Figure 56 : Milan royal volant à basse altitude « Donzi » (données GPS, points gris ; marqué de manière déviée par « LRF red kite » sur la figure), qui n'est pas détecté par IDF. Au même moment, IDF a enregistré un autre Milan royal (points rouges et jaunes). Site de Geislingen, 27/04/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

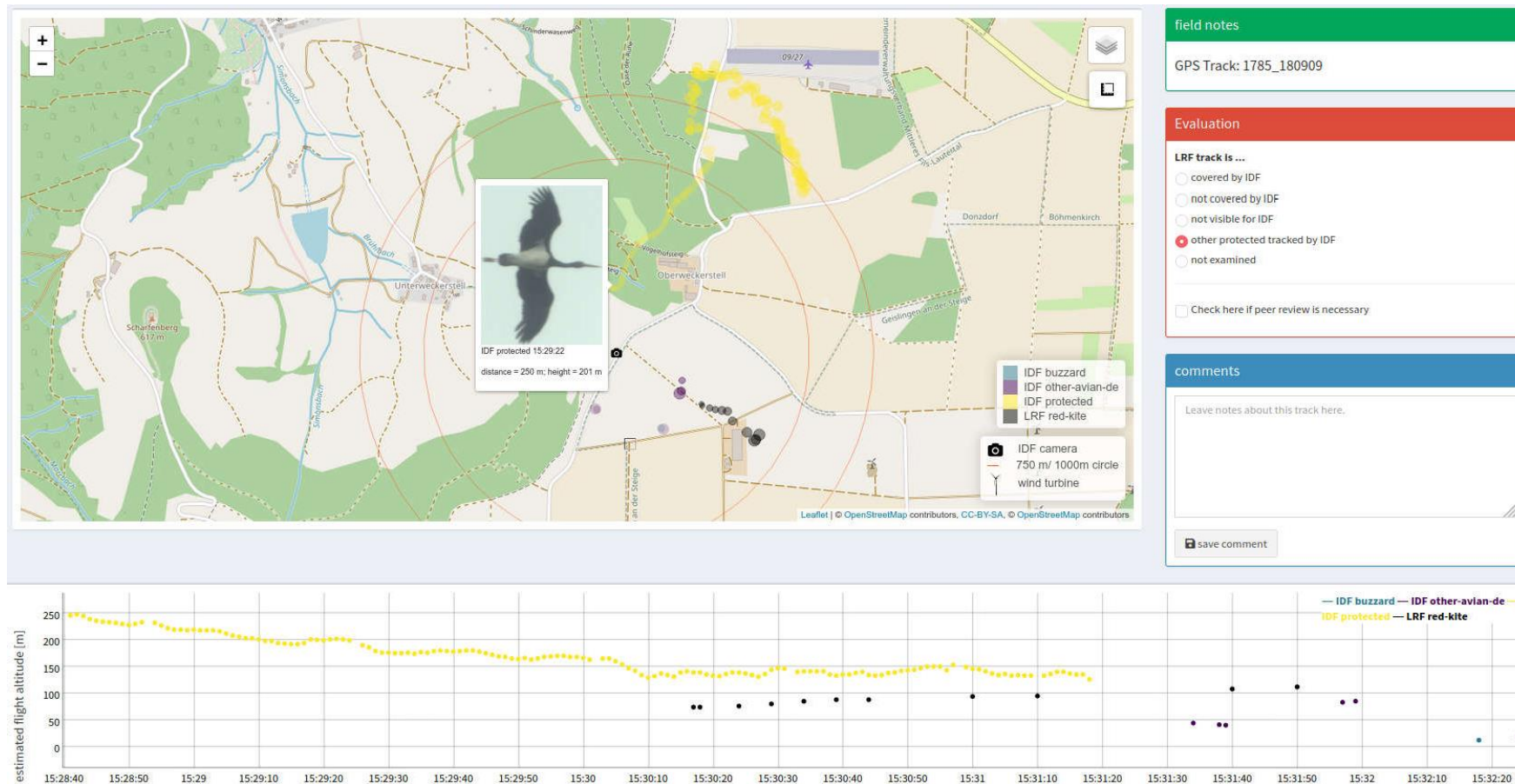


Figure 57 : Trace GPS (points gris, différemment marqués « LRF red kite » sur la figure) du Milan royal « Donzi », à une altitude de vol clairement visible au-dessus de l'horizon pour IDF. Dans ce cas, « Donzi » n'a pas été enregistré par IDF, car au même moment une cigogne noire, reconnue comme « protégée » (points jaunes), a été détectée par IDF. Site de Geislingen, 29/05/2020.

5.4.2 Facteur d'influence des précipitations

Sur la base des données de précipitations sur les sites de Helfta, Plate et Geislingen (voir chapitre 4.3.2.2), l'influence des précipitations sur le taux de détection IDF a été étudiée.

Sur les sites de Helfta et de Plate, il n'est globalement tombé que peu de précipitations pendant les observations de IDF en 2018. En comparaison, il a plu bien plus fréquemment sur le site de Geislingen en 2020 (figure 58). Si on regarde les données d'enregistrement d'IDF en fonction des événements de précipitations enregistrés, il devient particulièrement clair sur le site de Geislingen qu'IDF a enregistré des activités de vol même lorsqu'il pleuvait. Dans les cas de précipitations et sans activité de vol enregistrée par IDF, il n'est pas possible de dire (sur la base de ces données) si une performance réduite de la caméra par IDF pourrait être la raison, ou si une activité de vol généralement faible ou inexistante des oiseaux sous la pluie est le facteur déterminant.

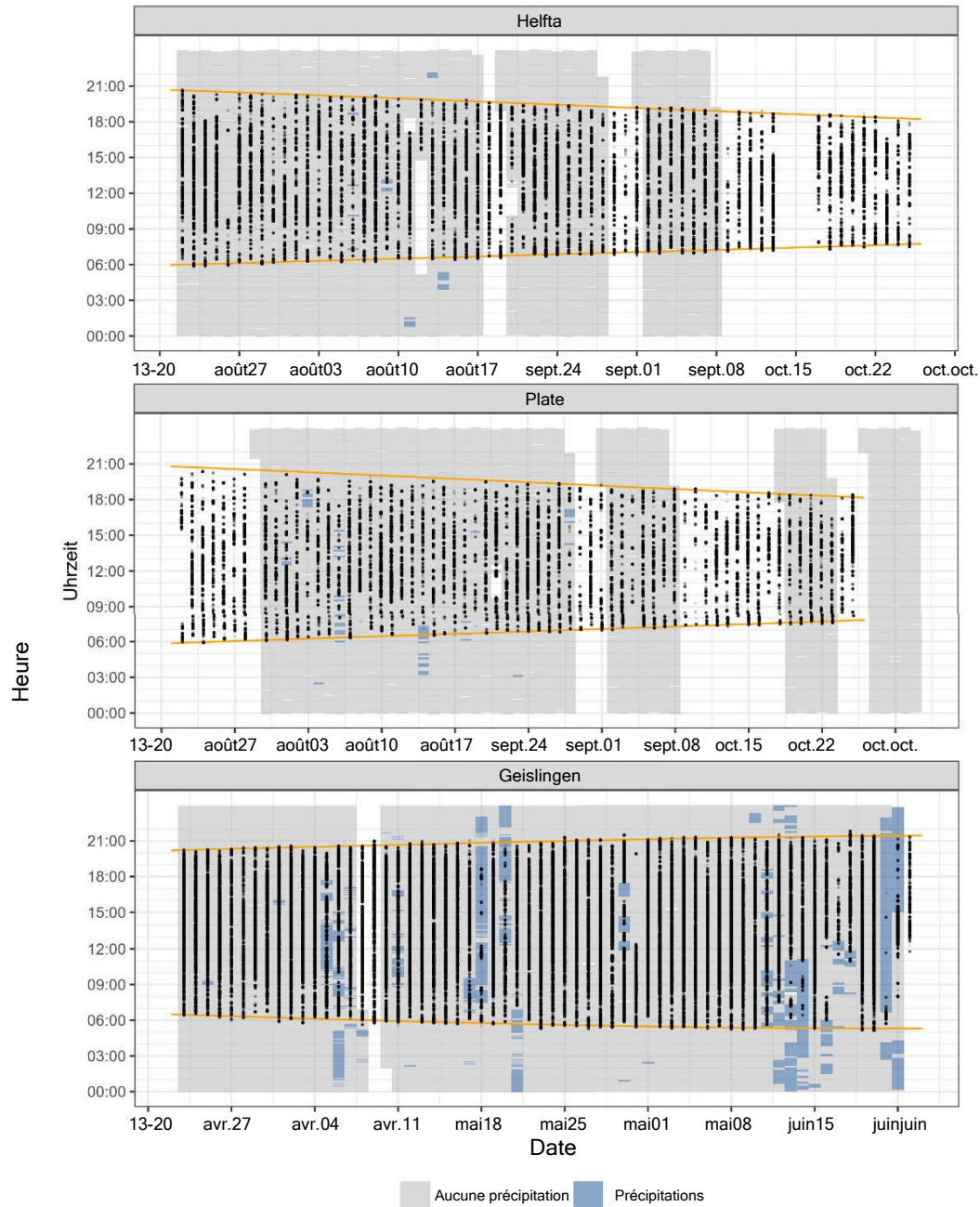


Figure 58 : Répartition de tous les points de détection par IDF par rapport aux précipitations sur la période de détection respective aux sites de Helfta (2018), Plate (2018) et Geislingen (2020). Les périodes colorées en gris signifient aucune précipitation, les périodes colorées en bleu indiquent les événements de précipitations. Aucune valeur de précipitations n'est disponible pour les zones non colorées pendant la période des relevés IDF. Le lever et le coucher du soleil sont chacun marqués d'une ligne orange.

5.4.3 Facteur d'influence de la position du soleil

Étant donné que, selon le fabricant, la vision directe d'IDF vers le soleil entraîne un « angle mort » de 15° autour du soleil en raison d'une surexposition causée par la forte luminosité, l'influence de la position du soleil sur les performances de détection d'IDF a été étudiée.

À cette fin, l'angle de différence minimum du premier point (= événement de détection) d'une trajectoire par rapport à la position du soleil a été calculé pour différentes situations nuageuses et examiné pour les différences entre l'angle de différence minimum pour un ciel couvert et un ciel dégagé.

Si vous considérez la distribution des angles de différence du premier emplacement d'une trajectoire de vol par la caméra stéréo avec un ciel couvert et dégagé, il devient évident que la détection est possible jusqu'à un angle de différence de <5° (vue presque directe au soleil) (figure 59). Il n'y a pas de différence perceptible entre les angles de différence minimum lorsque le ciel est couvert ou dégagé.

Une détection fiable semble être donnée au moins sous un angle de 10°. La zone de 10° autour d'un point dans le ciel ne couvre qu'environ 1,5 % de la surface du dôme céleste. Un angle mort de 10° autour du soleil aurait donc très peu d'effet sur la probabilité absolue de détection d'IDF. D'après les données disponibles, l'angle mort est donc nettement plus petit que celui indiqué par le fabricant.

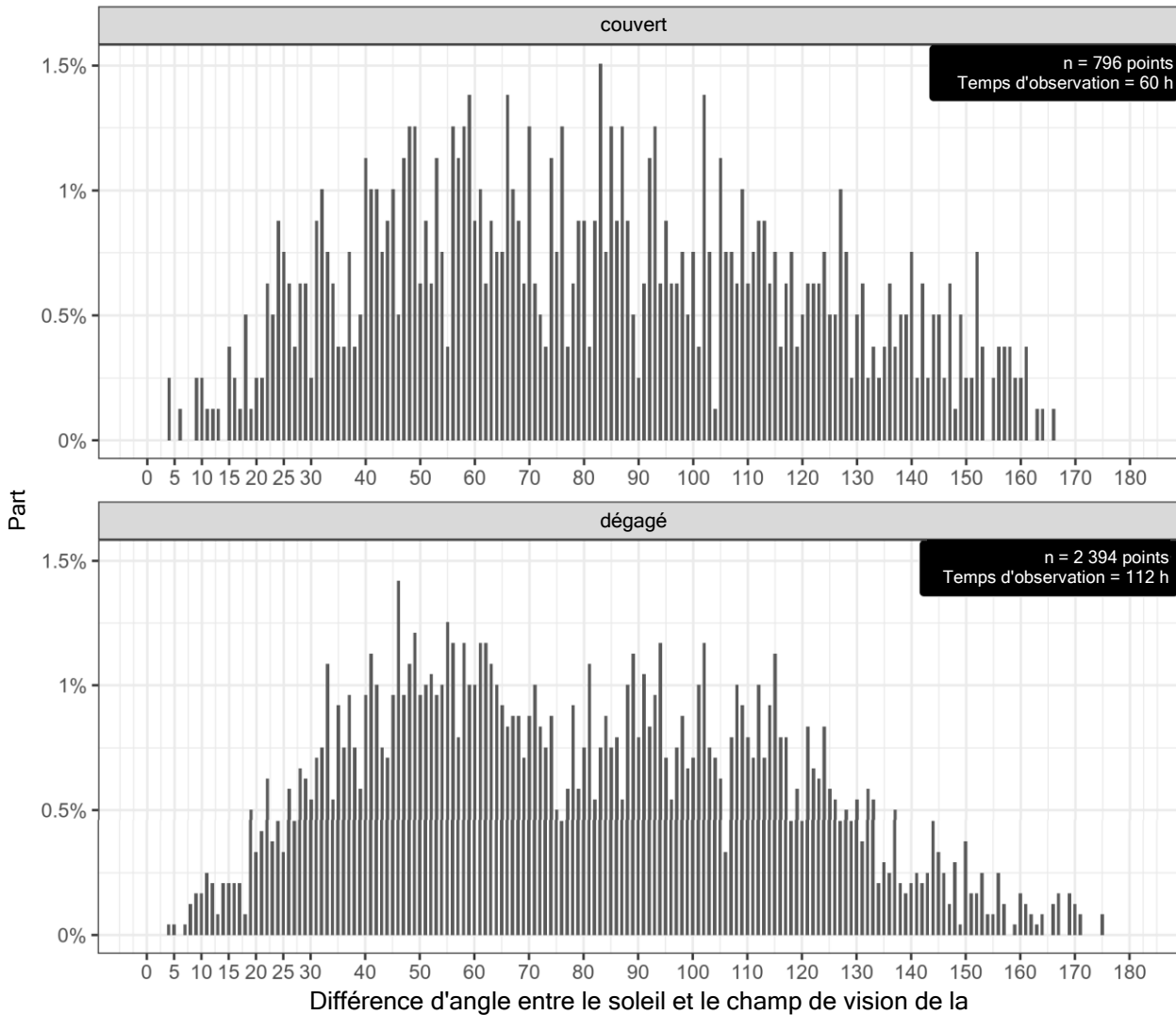


Figure 59 : Répartition en pourcentage de la fréquence des premiers points de suivi respectifs des détection par IDF en fonction de la différence d'angle entre la caméra et le soleil pour des situations d'éclaircies nuageuses et de temps couvert sur le site de Bütow 2020. Un angle de différence de 0° signifie que la caméra visait exactement le soleil, alors qu'un angle de différence de 180° indique que la caméra visait exactement dans la direction opposée au soleil.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

5.5 Classification

La classification d'un objet en vol détecté par IDF est basée sur un réseau neuronal. Le Milan royal ne faisant pas partie au départ du répertoire d'IDF, un premier entraînement d'IDF a été réalisé de cette manière en 2018, entraînant la version 1 du réseau neuronal. La version 1 a été utilisée pour les années de collecte de données 2018 et 2019. Sur la base de ces données collectées, la version 2 du réseau neuronal a été entraînée et utilisée au cours de l'année de collecte de données 2020 (voir chapitre 2.2.2).

La fiabilité de la détermination en ce qui concerne la classification du Milan royal se situait initialement entre 78 % et 84,7 % sur les quatre sites (Helfta, Plate, Lübesse et Gerbstedt) étudiés avec la version 1 du logiciel, la performance de classification correcte diminuant (entre 1,1 % et jusqu'à 6,1 %) dans chaque cas avec l'augmentation de la distance (jusqu'à 750 m).

Avec l'utilisation de la deuxième version améliorée du réseau neuronal en 2020 sur les sites de Bütow et Geislingen, le taux de classification correcte d'IDF pourrait augmenter et atteindre plus de 97 %, avec seulement des différences mineures dans les performances de classification en ce qui concerne la distance (0,6 % sur le site de Bütow) (tableau 10).

Tableau 10 : Classifications correctes des Milans royaux (ou Milans royaux et noirs à Bütow et Geislingen) dans un rayon de 250 m et 750 m autour d'image en champ sombre. (n = points de données IDF de Milans royaux déterminées)

Année	Site	Version réseau neuronal	Classification correcte jusqu'à 250 m en pourcentage [n]	Classification correcte jusqu'à 750 m en pourcentage [n]
2018	Helfta	1	84,7 [4 557]	83,6 [43 818]
2018	Plate	1	79,7 [1 472]	78,0 [17 084]
2019	Lübesse	1	84,2 [562]	78,1 [12 703]
2019	Gerbstedt	1	84,4 [1 725]	79,4 [21 171]
2020	Bütow	2	95,9 [4 338]	96,5 [42 500]
2020	Geislingen	2	97,5 [6 760]	97,5 [60 762]

Ainsi, le taux de faux négatifs (l'espèce ciblée est classée comme espèce non ciblée) est passé d'une fourchette comprise entre environ 15 % et 22 % en 2018 et 2019 (NN version 1) à seulement 2,5 % à environ 4 % en 2020 (NN version 2). Dans le cas du taux de faux positifs (les espèces non ciblées sont classées comme espèces ciblées), cependant, il n'y a pas de tendance comparable ; les valeurs fluctuent entre 2 % et environ 16 % pour tous les sites et toutes les années (tableau 11).

Le taux de faux positifs est surtout intéressant d'un point de vue économique, car il peut conduire à des arrêts supplémentaires inutiles ou prévus. Le taux de faux négatifs, en revanche, est pertinent du point de vue de la loi sur la protection des espèces, car tous les arrêts nécessaires sont omis.

Tableau 11 : Taux d'erreur de classification pour des rayons de 250 m et 750 m autour d'IDF. (n = tous les points de données IDF identifiés)

Année	Site	Réseau neuronal	Taux de faux positifs (espèces non ciblées comme espèces ciblées) en % [n] Jusqu'à 250 m	Taux de faux positifs (espèces non ciblées comme espèces ciblées) en % [n] Jusqu'à 750 m	Taux de faux négatifs (espèces ciblées comme espèces non ciblées) en % [n] jusqu'à 250 m	Taux de faux négatifs (espèces ciblées comme espèces non ciblées) en % [n] Jusqu'à 750 m
2018	Helfta	v. 1	2,0 [535]	2,9 [3 287]	15,3 [823]	16,4 [8 596]
2018	Plate	v. 1	1,3 [125]	1,8 [1 119]	20,3 [375]	22,0 [4 819]
2019	Lübesse	v. 1	4,3 [207]	9,7 [2 777]	15,8 [106]	21,9 [3 562]
2019	Gerbstedt	v. 1	10,1 [747]	15,8 [7 265]	15,6 [319]	20,6 [5 493]
2020	Bütow	v. 2	6,1 [488]	11,5 [5 220]	4,1 [185]	3,5 [1 541]
2020	Geislingen	v. 2	3,4 [374]	5,8 [2 504]	2,5 [172]	2,5 [1 558]

Les figures 60 à 62 montrent des exemples d'images d'oiseaux détectés par le système IDF. L'identification originale par IDF est donnée pour chaque image d'oiseau. Il est à noter que la version 1 du logiciel fait déjà la distinction entre le Milan royal et les espèces apparentées, comme par exemple un busard des marais mâle reconnu comme tel par IDF et différencié du Milan royal (figure 60). Cependant, le taux de classification correcte était significativement plus faible dans la première version que dans la seconde version (voir tableau 10), ce qui explique, par exemple, la détermination incorrecte de « eagle/aigle » au lieu du Milan royal sur la figure 61. Cependant, si, comme dans cet exemple, une détermination incorrecte est faite pour une espèce ciblée différente, cela ne conduit pas à un arrêt inapproprié, puisque les deux types sont classés comme « protégés ». La figure 62 montre des exemples d'images d'oiseaux détectés par IDF sur le site de Bütow. La version 2 du logiciel de classification a déjà été utilisée ici. Les trois espèces d'oiseaux enregistrées dans cet exemple sont correctement classées par IDF, la version 2 du logiciel ne faisant plus la distinction entre les Milans royaux et noirs afin de minimiser le risque de confusion.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
 Environmental Research



Figure 60 : Exemples d'images avec la classification d'origine par IDF. Version 1 du réseau neuronal. Le busard des marais mâle est bien différencié du Milan royal. Site de Plate, 17/08/2018

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research



Figure 61 : Exemples d'images avec la classification d'origine par IDF. Version 1 du réseau neuronal. Le Milan royal est ici identifié à tort par IDF comme un aigle (« eagle »). Cependant, les deux espèces sont désignées comme espèces ciblées et sont classées comme « protégées » par IDF. Site de Lübesse, 24/08/2019.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and Environmental Research

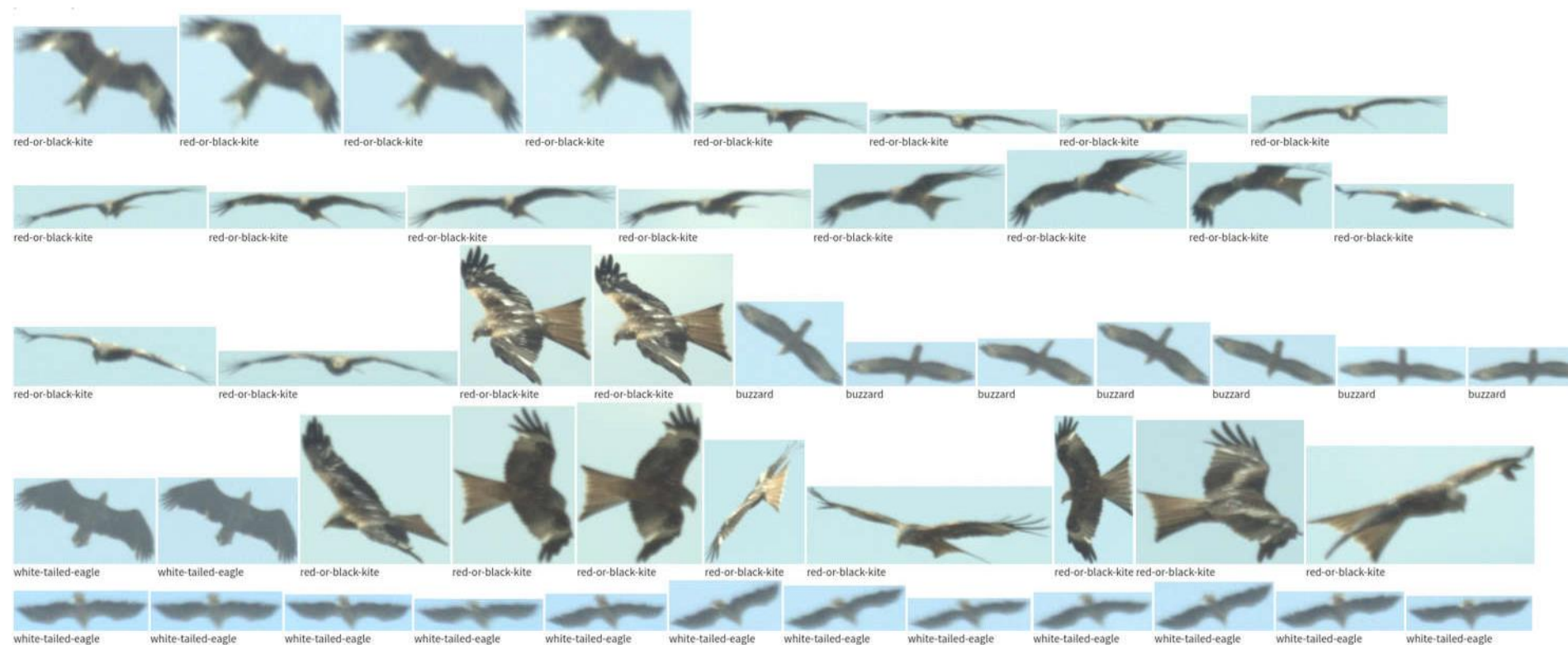


Figure 62 : Exemples d'images avec la classification d'origine par IDF. Version 2 du réseau neuronal. Les trois espèces d'oiseaux différentes sont correctement identifiées par IDF. Dans la version 2 du logiciel, il n'y a plus de distinction entre les Milans royaux et noirs, ils forment une seule catégorie. Site de Bütow, 17/06/2020.

5.6 Efficacité et efficience de l'arrêt

5.6.1 Arrêt déclenché par IDF

L'arrêt des éoliennes par IDF s'effectue par étapes via deux cylindres d'éloignement de dimensions différentes (voir chapitre 2.3). Dans le cylindre d'éloignement extérieur, les espèces ciblées sont déjà observées, mais un arrêt n'est déclenché que si l'oiseau a une direction et une vitesse de vol qui lui permettraient d'atteindre la zone du rotor dans le temps qu'il faut à l'éolienne pour entrer en mode rotation (Time To Collision). Si le cylindre d'éloignement intérieur est franchi, un signal d'arrêt est déclenché dans tous les cas.

Des exemples de trajectoires de vol et les arrêts qui en résultent sont présentés ci-dessous. Des arrêts dans le cylindre d'éloignement extérieur se sont produits régulièrement dans différentes situations de vol et à différentes distances du cylindre d'éloignement intérieur (par exemple, figure 63, figure 64 et figure 67). Si la vitesse de vol de l'oiseau détecté n'est pas assez élevée pour qu'un arrêt soit nécessaire dans le cylindre d'éloignement extérieur, le signal d'arrêt est généralement généré lorsque l'oiseau entre dans le cylindre d'éloignement intérieur (figure 65). Ce signal d'arrêt a été généré spécifiquement pour l'éolienne et adapté au comportement de vol de l'oiseau (figure 65 et figure 66). Dans certains cas, l'oiseau n'a été détecté qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur, suivi d'un arrêt immédiat de l'éolienne (figure 68 et figure 69).

Si les éoliennes ont déjà été arrêtées pour un oiseau par IDF et que cet oiseau n'est plus à risque de collision, IDF se « concentre » rapidement dans de nombreux cas sur d'autres oiseaux potentiellement à risque de collision. Cela signifie que pour les trajectoires de vol qui ont déclenché un arrêt, il n'est pas évident que l'oiseau se soit effectivement approché de la zone de collision de l'éolienne au cours de son vol (par exemple, figure 63 et figure 66). Dans certains cas, cependant, l'oiseau est suivi et il est montré qu'il s'est effectivement approché de la zone du rotor (figure 67) ou que l'oiseau se détourne à nouveau après être entré dans le cylindre d'éloignement intérieur et le quitte (figure 64).

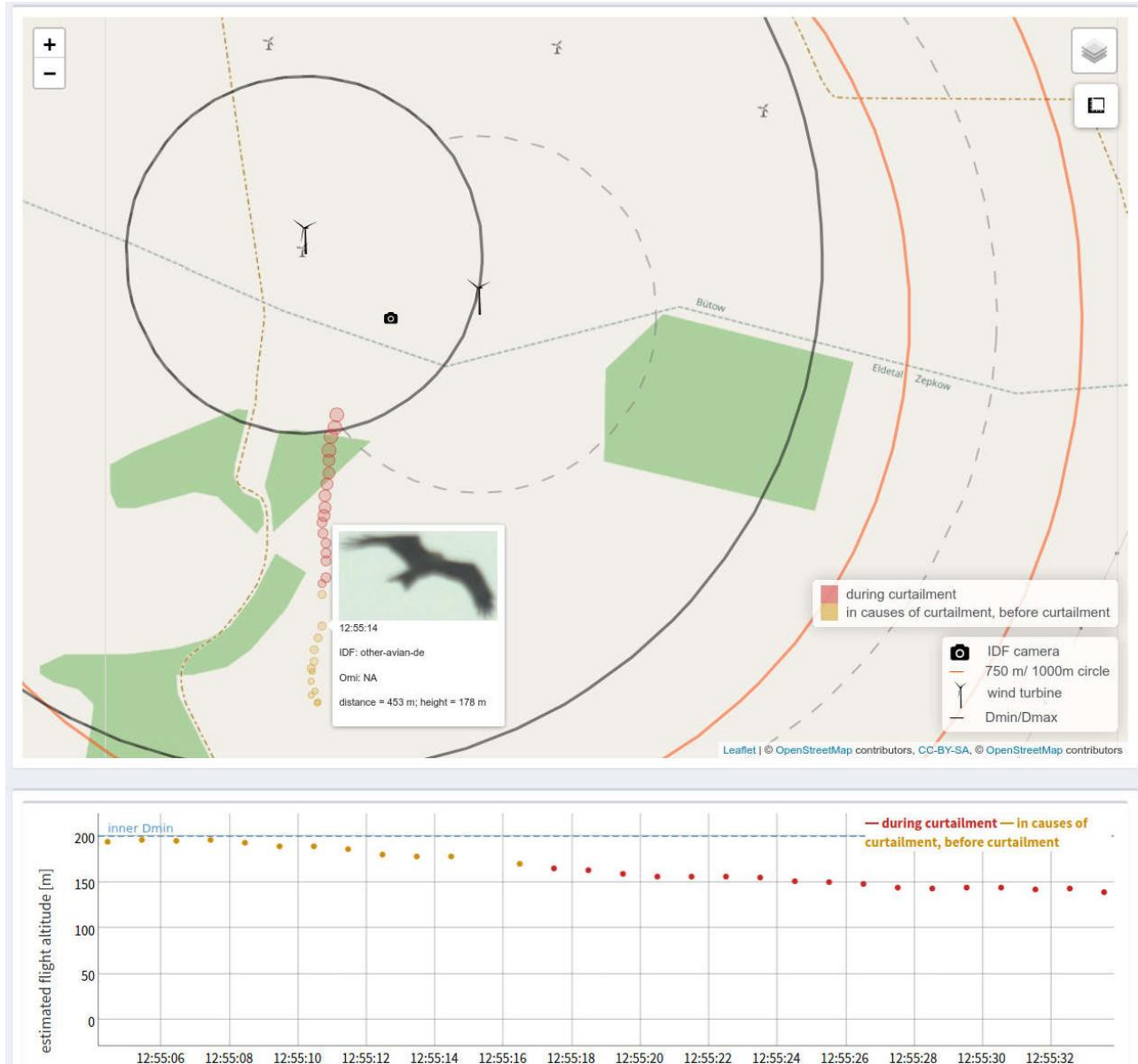


Figure 63 : Arrêt dans le cylindre d'éloignement extérieur sur le site de Bütow. Le Milan royal descend vers l'éolienne orientale. Dans ce cas, le vecteur de vol et la vitesse sont si élevés qu'IDF génère déjà un signal d'arrêt dans le cylindre d'éloignement extérieur (ligne noire extérieure) (passage des points orange aux points rouges), environ 16 s avant que le Milan royal n'entre dans le cylindre d'éloignement intérieur (ligne noire intérieure). Site de Bütow, 18/05/2020.

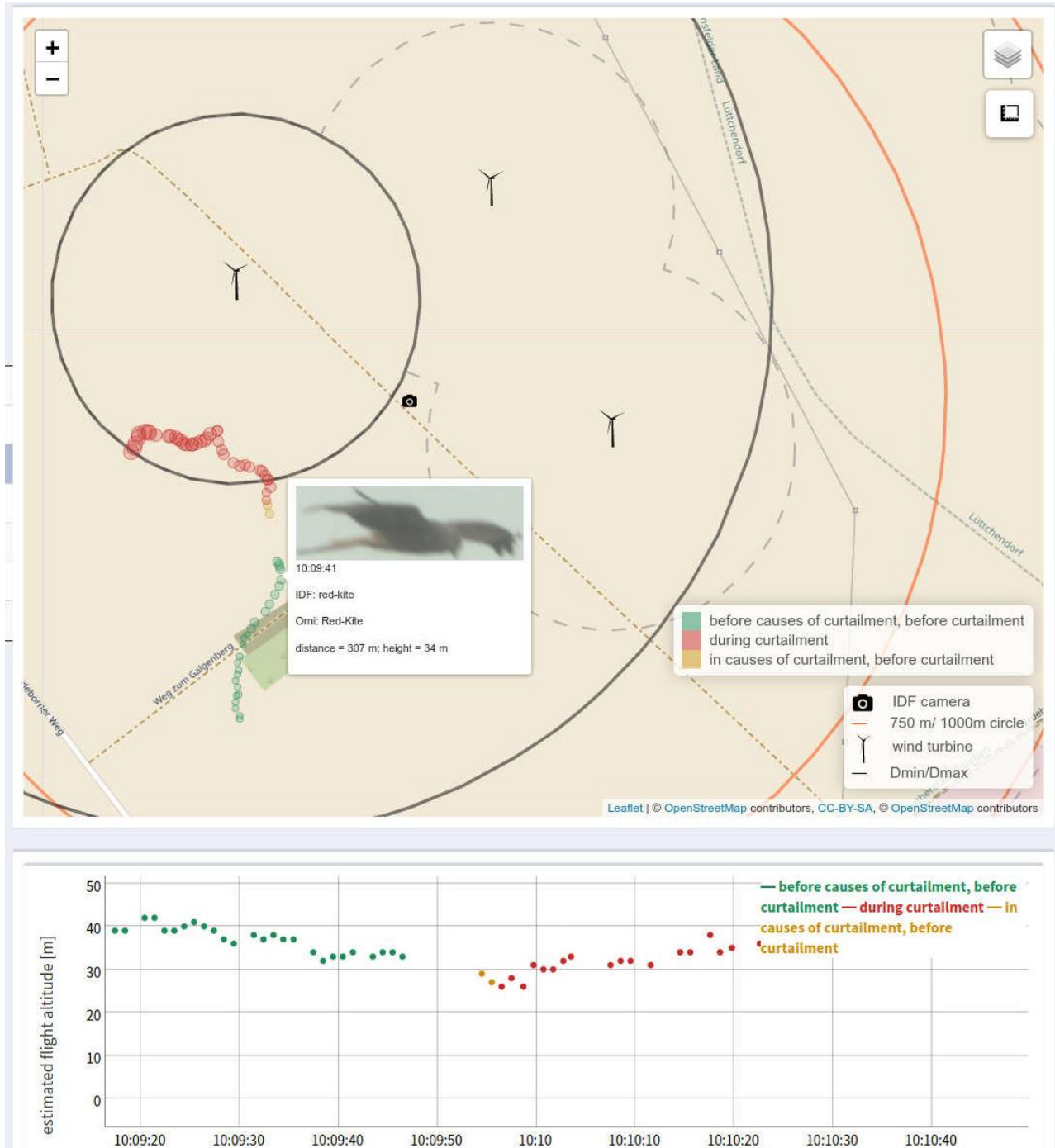


Figure 64 : Arrêt dans le cylindre d'éloignement extérieur sur le site de Helfta. Dans ce cas, IDF déclenche l'arrêt peu de temps que le cylindre d'éloignement intérieur soit atteint (ligne noire intérieure). Site de Helfta, 24/08/2018.

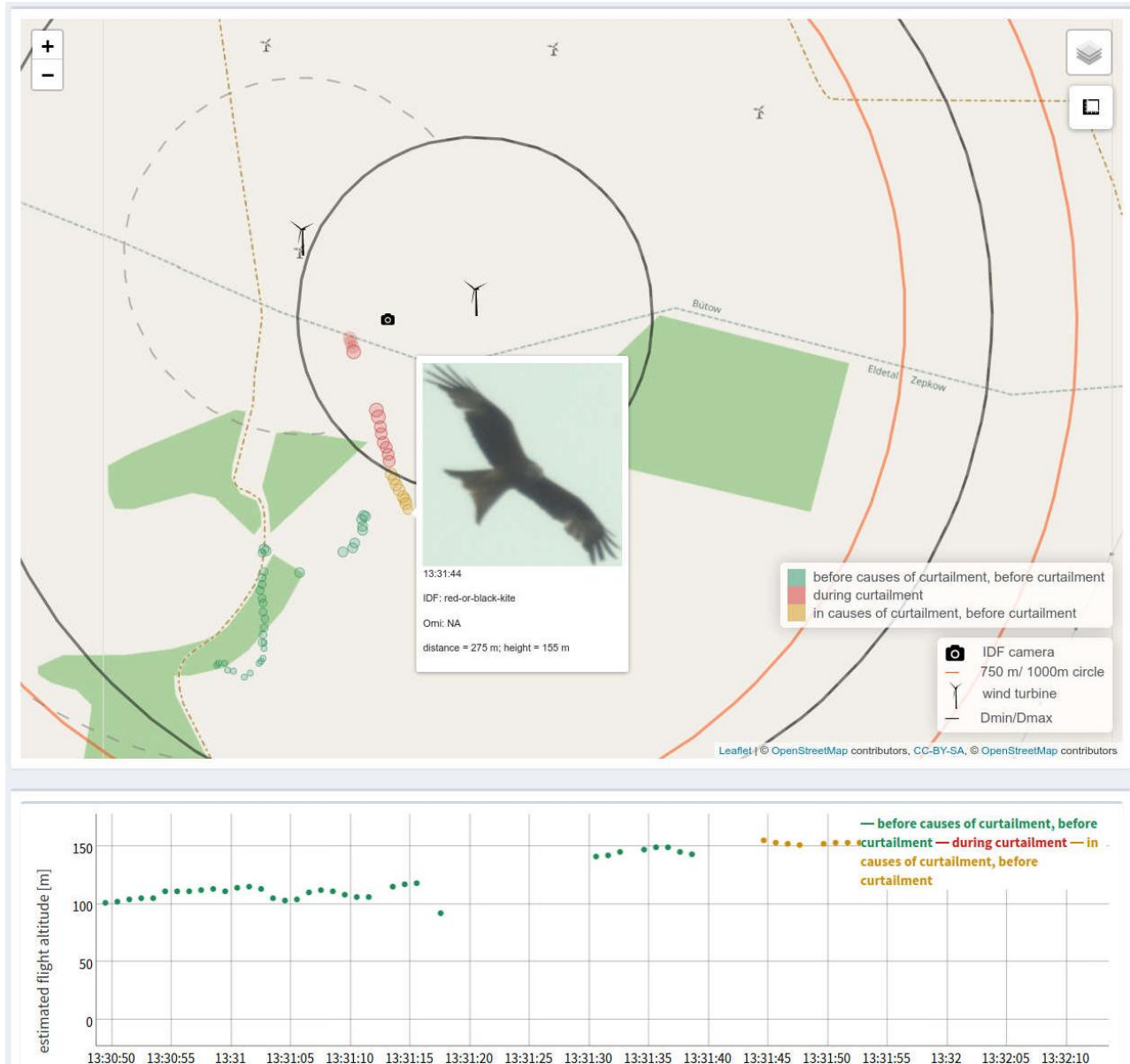


Figure 65 : Arrêt lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur (ligne noire intérieure) de l'éolienne orientale sur le site de Bütow. L'arrêt a été déclenché avec le premier point dans le cylindre d'éloignement intérieur (points rouges). Site de Bütow, 18/05/2020.

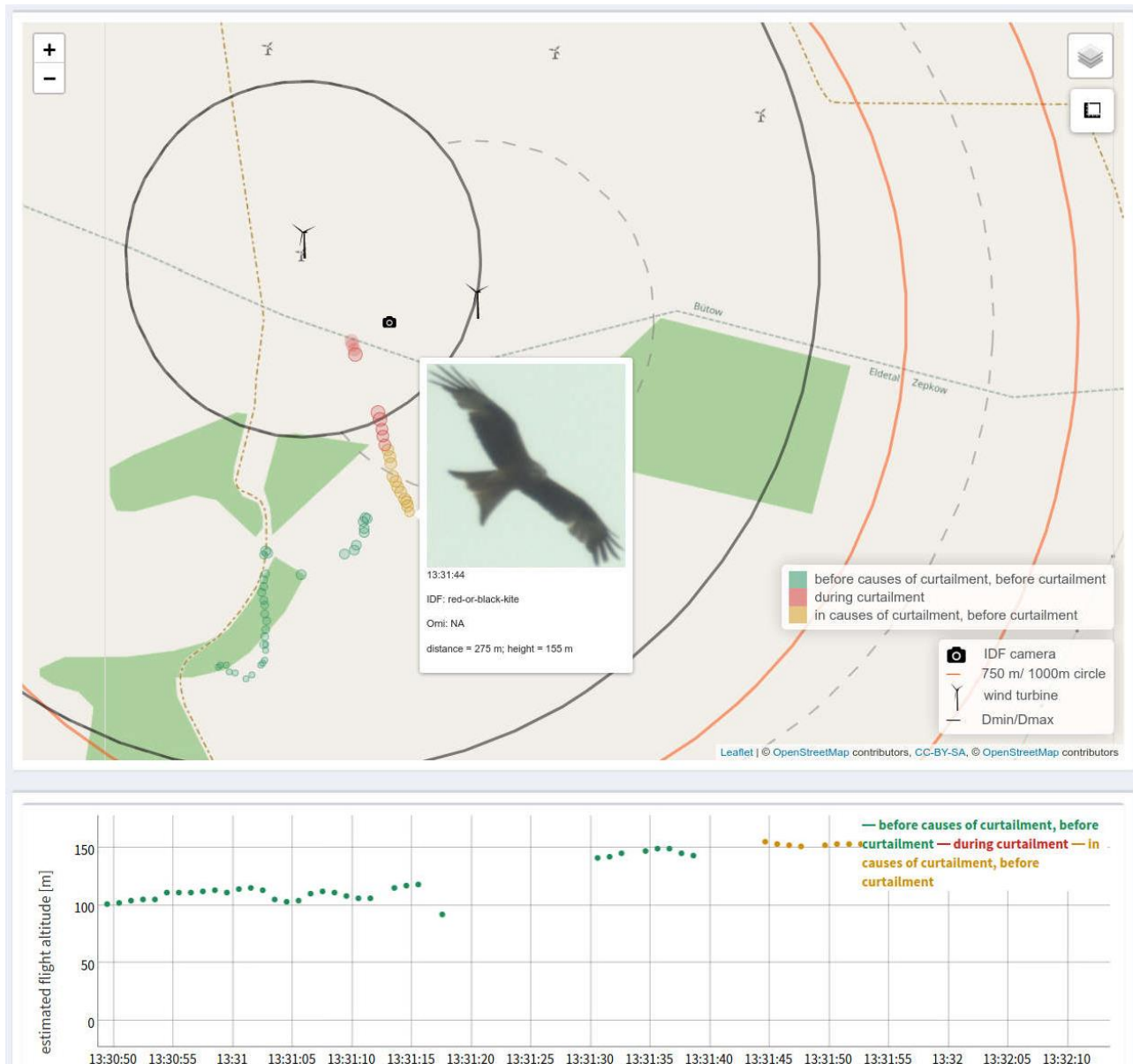


Figure 66 : Arrêt lors de l'entrée dans le cylindre d'éloignement intérieur (ligne noire intérieure) de l'éolienne ouest sur le site de Bütow. L'arrêt de cette éolienne (points rouges) a été déclenché quelques secondes après l'arrêt de l'éolienne de l'est (voir figure 65). Site de Bütow, 18/05/2020.

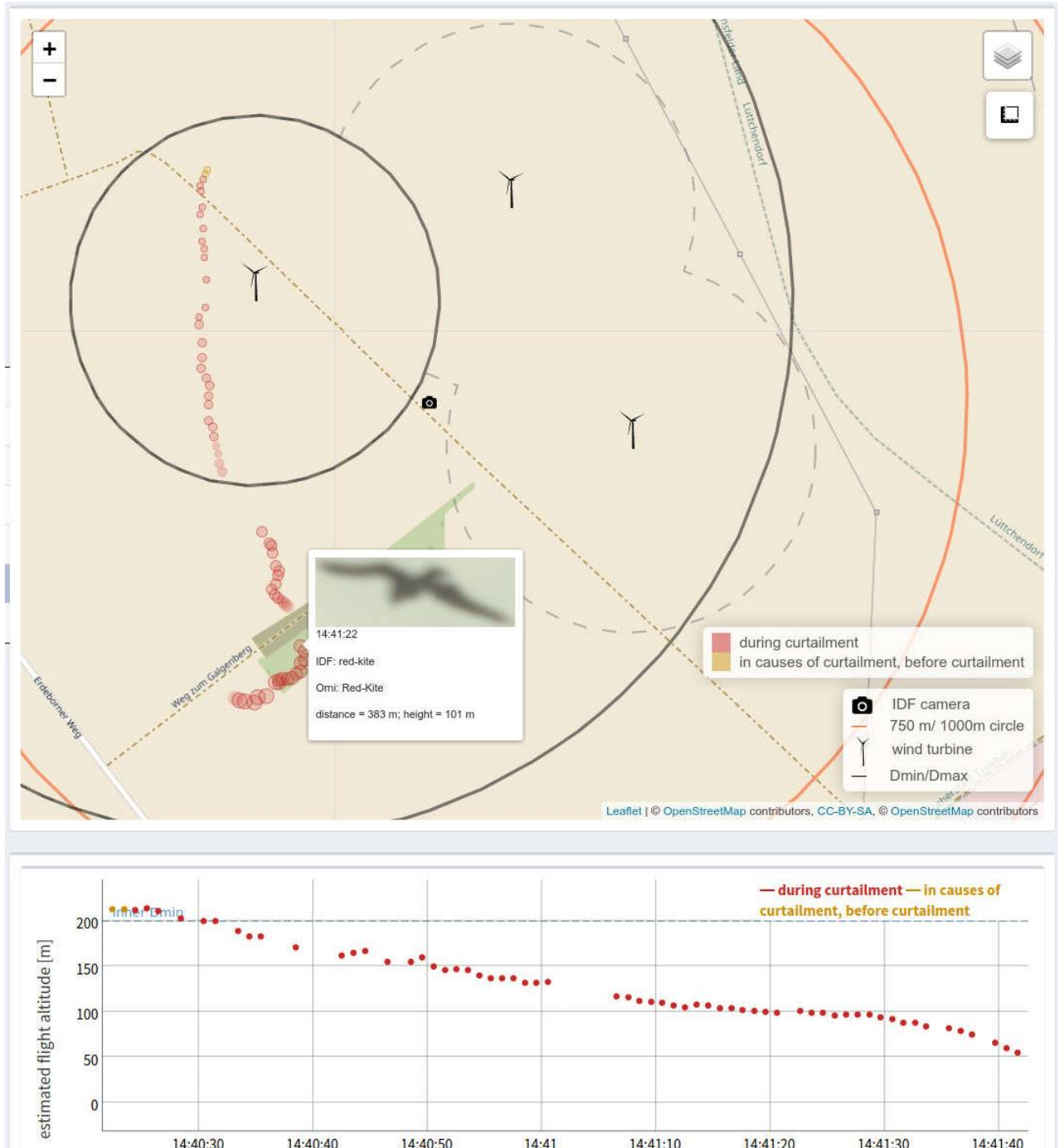


Figure 67 : Arrêt au-dessus du cylindre d'éloignement intérieur sur le site de Helfta. Dans ce cas, l'oiseau a été détecté au-dessus du cylindre d'éloignement intérieur (ligne noire intérieure) et un arrêt a été déclenché au début d'une descente, toujours au-dessus de la limite de hauteur du cylindre d'éloignement intérieur (ligne bleue dans le diagramme de hauteur). Site de Helfta, 12/09/2018.

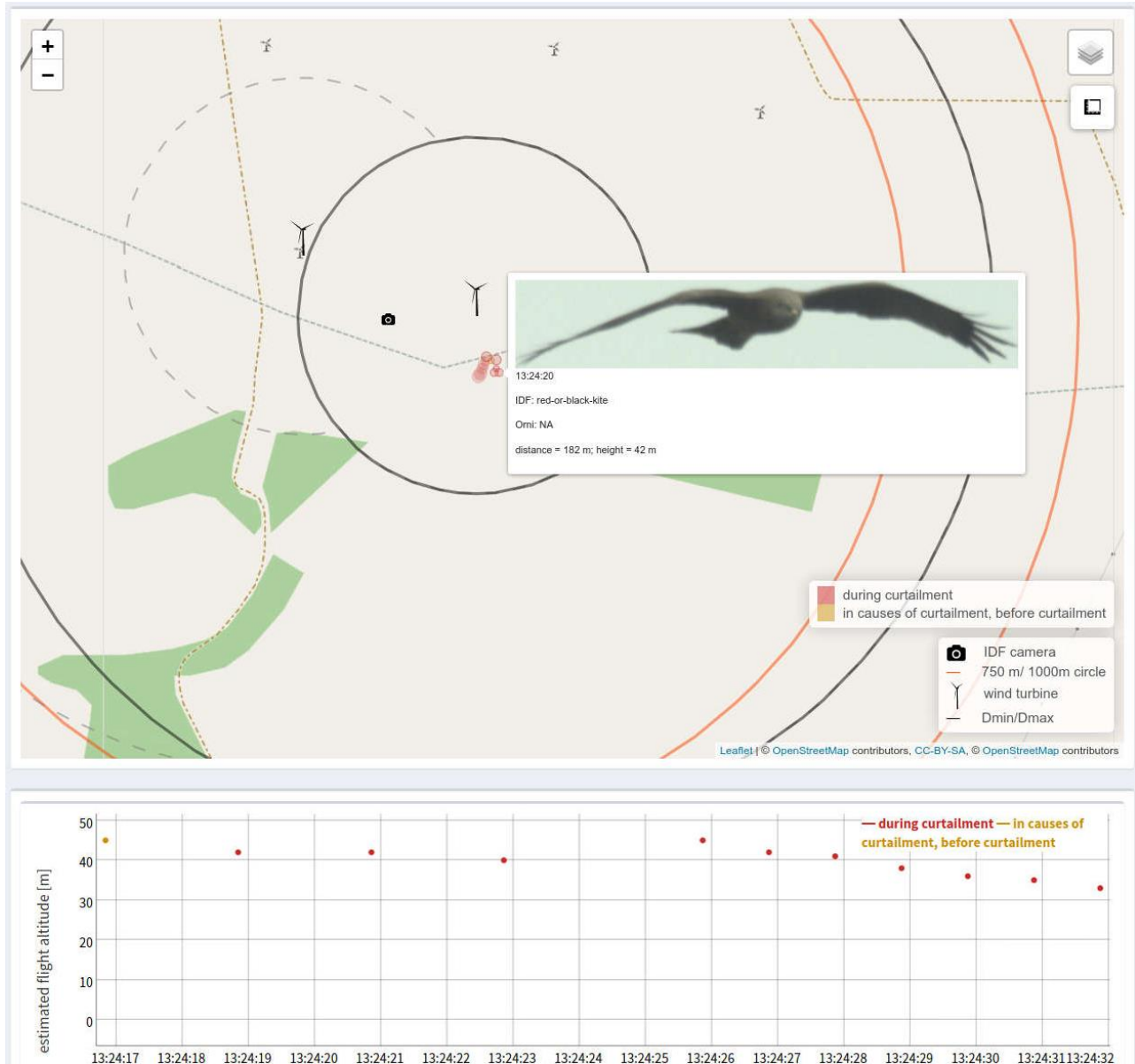


Figure 68 : Détection d'un Milan royal dans le cylindre d'éloignement intérieur avec arrêt immédiat sur le site de Bütow. Ce Milan royal a été détecté près de l'éolienne à une altitude d'environ 45 m (point orange), l'arrêt a été déclenché au point de détection suivant (points rouges). Site de Bütow, 18/05/2020.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
 Environmental Research

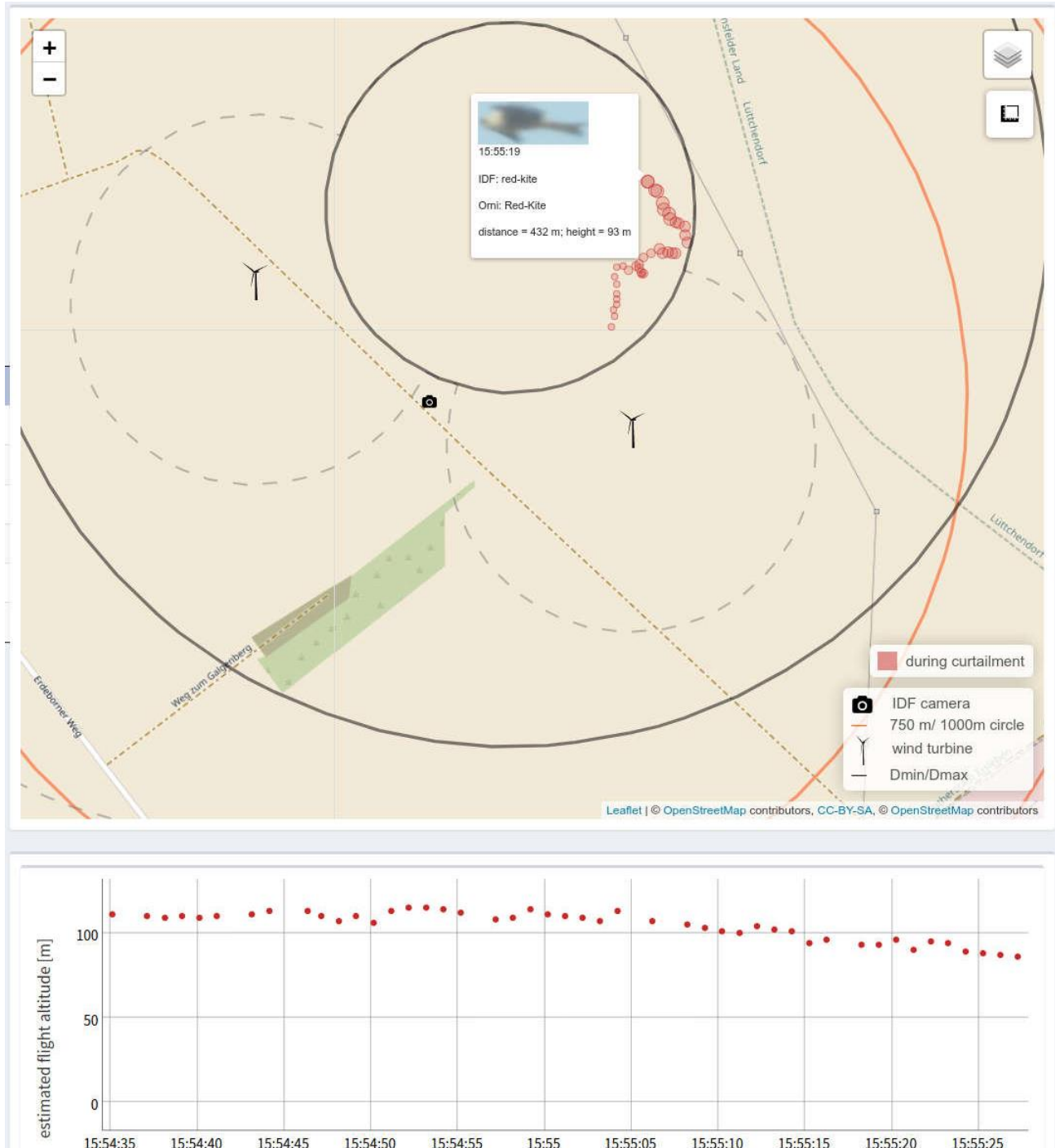


Figure 69 : Détection d'un Milan royal dans le cylindre d'éloignement intérieur avec arrêt immédiat sur le site de Helfta. Dans ce cas, un Milan royal a été détecté à une altitude d'environ 110 m, l'extinction se produit au premier point de détection (uniquement des points rouges). Site de Helfta, 10/09/2018.

Dans un certain nombre de cas, il a été démontré que l'espèce ciblée n'était détectée qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur, après quoi, cependant, un signal d'arrêt était immédiatement généré. Sur la base de ces résultats, une évaluation a été réalisée en ce qui concerne la distance entre l'oiseau et l'éolienne au moment où le premier signal d'arrêt a été généré.

La figure 70 (ci-dessus) montre initialement que des arrêts sont déclenchés à tous les endroits au-delà d'une distance de 600 m de l'éolienne. Il s'agit bien évidemment de cas où l'oiseau vole droit vers l'éolienne à grande vitesse. Cependant, la plus grande partie des arrêts se produit de loin autour de la zone de la limite du cylindre d'éloignement intérieur. Cependant, pour une proportion non négligeable, l'arrêt n'a lieu qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur, c'est-à-dire que l'espèce ciblée n'a été détectée qu'à une distance inférieure à environ 250 m de l'éolienne.

La figure 70 (ci-dessous) montre en outre que les altitudes de vol basses sont nettement plus fréquentes parmi les arrêts qui se sont produits uniquement à l'intérieur du cylindre d'éloignement que sur le bord du cylindre, y compris une zone tampon de 25 m. Les vols qui ne sont détectés par IDF que dans le cylindre d'éloignement intérieur sont donc principalement caractérisés par une faible altitude de vol. Par rapport aux vols à plus haute altitude, de tels vols ne sont apparemment détectés qu'à une distance plus courte, c'est-à-dire souvent uniquement dans le cylindre d'éloignement intérieur, de sorte que l'arrêt ne peut alors être déclenché qu'ensuite. Cette différence est particulièrement prononcée pour les deux éoliennes de Geislingen, où, en raison des conditions locales (possibilités de s'asseoir et activité de chasse dans une porcherie), il y avait une forte part de vols à basse altitude à proximité des deux sites d'éoliennes virtuelles (voir figure 73).

Dans l'ensemble, la part d'arrêts qui n'ont eu lieu qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur est clairement liée aux basses altitudes inférieures à 30 m, de sorte que les oiseaux ont manifestement déjà volé à basse altitude dans le cylindre d'éloignement intérieur (figure 70 et figure 71). Une explication possible est qu'ils n'étaient pas visibles pour IDF (sous la ligne d'horizon) et/ou qu'ils ont décollé depuis le cylindre d'éloignement intérieur. Une autre cause peut être le suivi temporel d'un autre oiseau par IDF, ce qui signifie que la détection peut avoir lieu trop tard ou pas du tout, comme cela a été montré lors de la détermination du taux de détection à des endroits à forte activité de vol (voir chapitre 5.4.1).

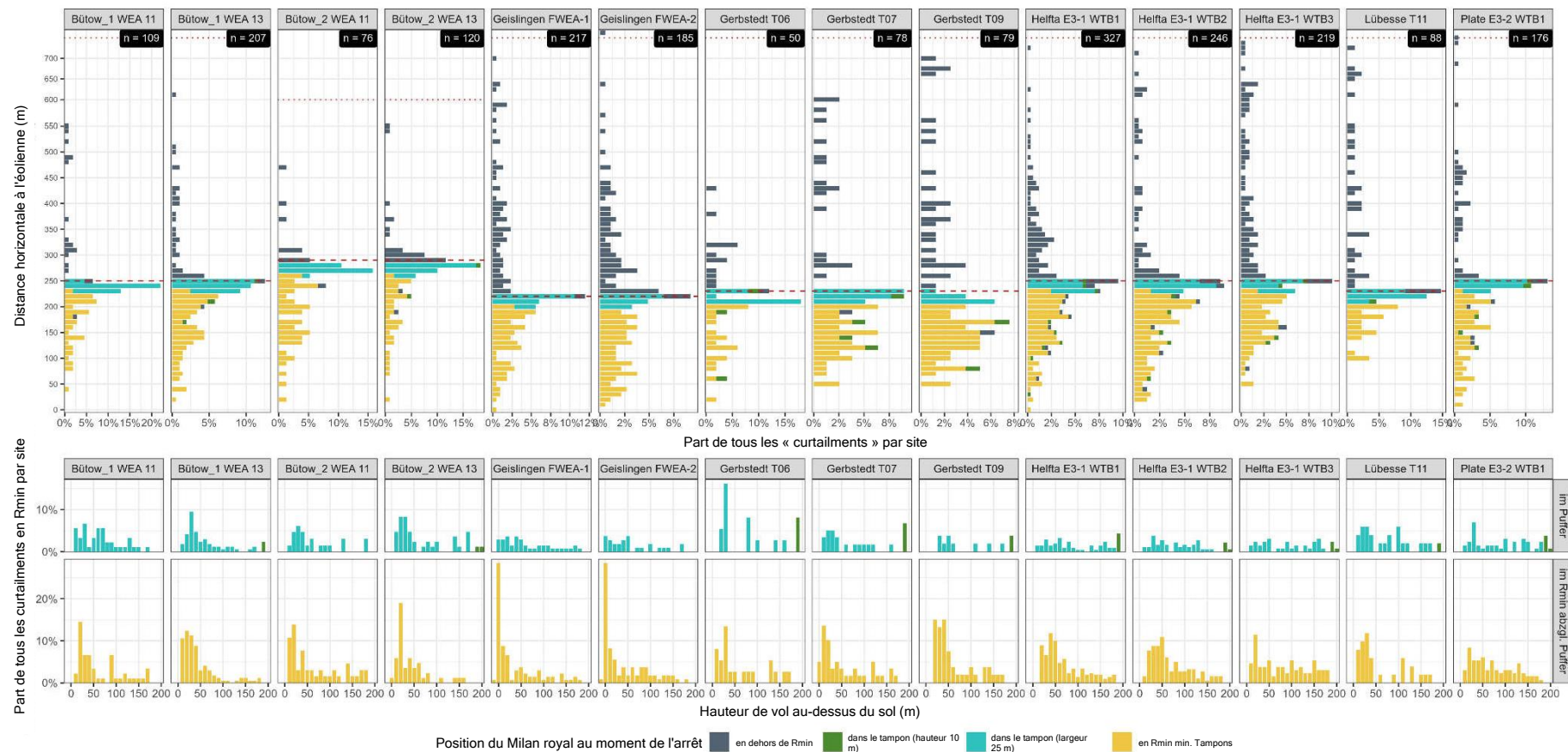
Les évaluations montrent que si des Milans royaux sont détectés à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur, les éoliennes sont toujours arrêtées immédiatement, sauf si l'oiseau se trouve bien au-dessus du cylindre d'éloignement programmé autour de l'éolienne (figure 67) et donc dans le sens vertical hors d'un risque potentiel de collision. Si l'on considère la somme de tous les emplacements, il apparaît toutefois qu'environ 35 à 59 % de tous les déclenchements d'arrêt ne se produisent qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement et non pas déjà en bordure (médiane d'environ 48 %, figure 71 A). Il est également clair, cependant, que les altitudes de vol avec ces arrêts sont nettement inférieures à celles des arrêts à l'extérieur ou au bord du cylindre d'éloignement intérieur (environ 15-62 m, médiane environ 52 m, figure 71 B).

Les arrêts qui ont lieu bien à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur ne peuvent garantir que l'éolienne est déjà en mode rotation complète si l'oiseau pénètre dans la zone du rotor tout en continuant à voler en ligne droite. Dans ces cas, cependant, l'altitude de vol par rapport à la hauteur du bord inférieur du rotor est également déterminante pour le risque de collision. Sur le site de Bütow, par exemple, cette dernière mesure 98 m (E 101 à une hauteur de tour de 149 m) et correspond donc le plus aux conditions des éoliennes modernes par rapport aux autres sites. La figure 72 montre qu'environ 80 % des vols des Milans royaux détectés dans le cylindre d'éloignement intérieur étaient inférieurs à 98 m, c'est-à-dire qu'au moment de la détection les oiseaux n'étaient pas exposés à un risque de collision. Le site de Geislingen, qui ne dispose pas encore d'éolienne, se caractérise par des altitudes particulièrement basses pour les Milans royaux détectés uniquement dans le cylindre d'éloignement intérieur. Environ 80 % de toutes les altitudes de vol sont déjà atteintes à une hauteur de 60 m (figure 73).

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Oldenbourg, 07/10/2021

The Regional Planning and Environmental Research Group



**Figure 70 : Ci-dessus : Part des déclenchements d'arrêt par rapport à la distance de l'éolienne. Les lignes en pointillés rouges sont R_{min} et R_{max}.
 En bas : Part des différentes altitudes de vol au moment des déclenchements d'arrêt dans la totalité de tous les arrêts dans le R_{min}, séparés pour l'intérieur et la limite du R_{min} (y compris tampon)**

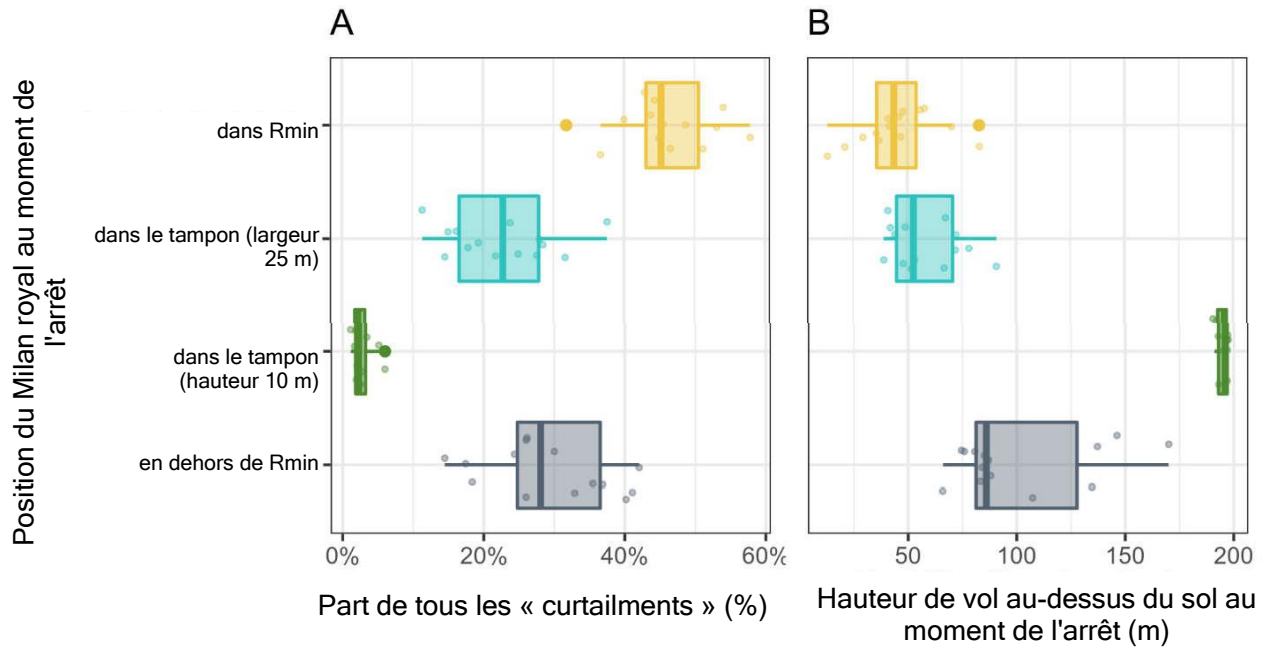


Figure 71 : Box plot des valeurs médianes des éoliennes individuelles par rapport à la répartition en pourcentage de la localisation du déclenchement de l'arrêt par rapport à R_{min} (gauche) et par rapport à l'altitude à cet instant (droite)

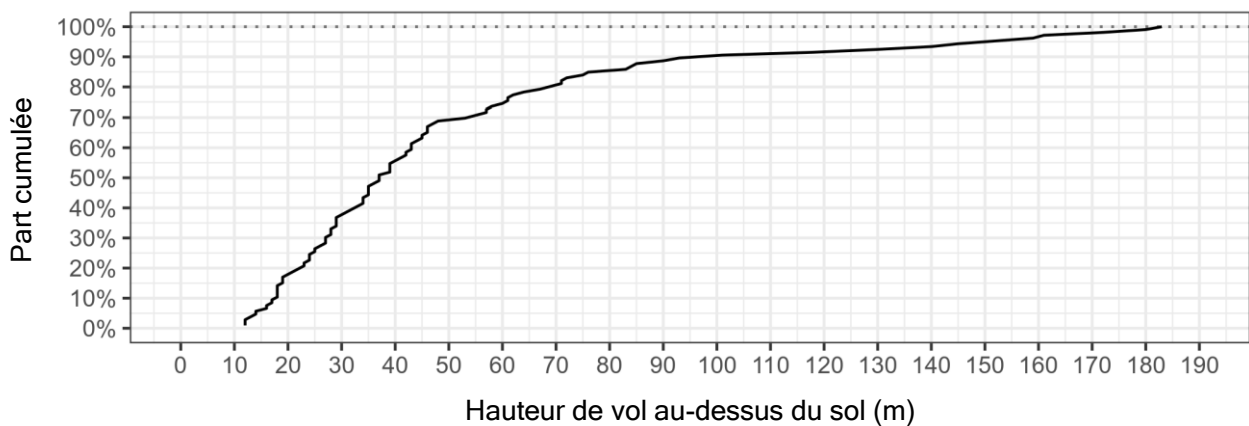


Figure 72 : Affichage cumulé des altitudes de vol des Milans royaux détectés uniquement en R_{min} sur le site de Bütow_1 éolienne 13.

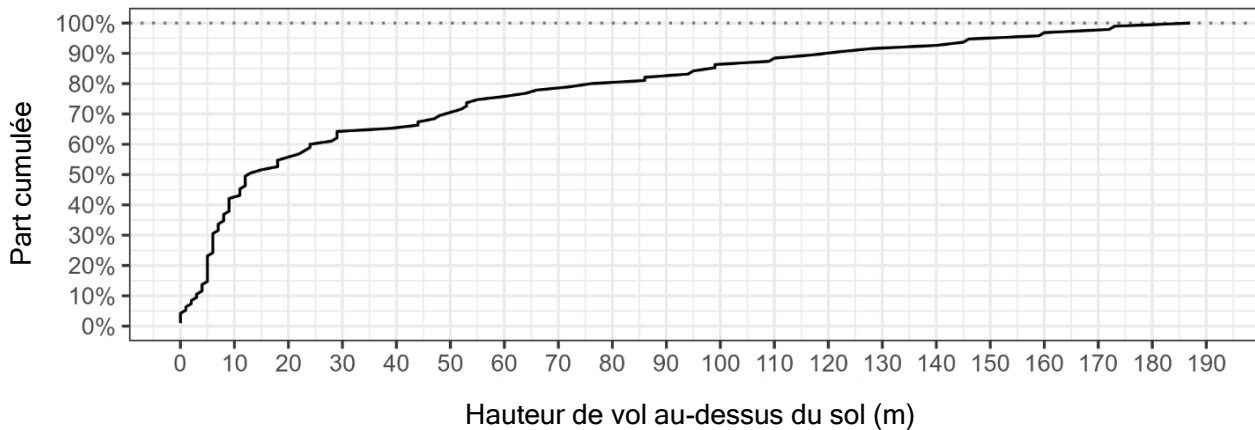


Figure 73 : Affichage cumulé des altitudes de vol des Milans royaux détectés uniquement en R_{min} sur le site de Geislingen FWEA-1.

L'altitude de vol des Milans royaux a évidemment une influence sur la détectabilité par IDF, bien que cela varie sur les différents sites d'éoliennes, par exemple en raison des conditions locales du paysage et du comportement de vol local des Milans royaux (figures 71 à 73). Dans le tableau 12, par exemple, pour trois altitudes de vol différentes de 50 m, 75 m et 100 m, il est calculé combien de Milans royaux se trouvaient dans le cylindre d'éloignement intérieur à l'altitude de vol correspondante au moment de l'arrêt. On constate que 33 % à 69 % des vols, pour lesquels le système n'était éteint qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur, ont eu lieu à une hauteur pouvant atteindre 50 m. Si tous les vols sont inclus jusqu'à une hauteur de 75 m, cette valeur passe de 47 % à 84 %. À une hauteur de 100 m, cette valeur est comprise entre 56 % et 91 %.

À partir des vols restant au-dessus de ces altitudes, il est possible de calculer la part d'arrêts dans lesquels les oiseaux ne sont exposés qu'à un risque résiduel dû à l'arrêt retardé dans le cylindre d'éloignement intérieur. À une valeur limite de 50 m, il existe un risque résiduel de 11 % à 34 % pour tous les vols pour lesquels un signal d'arrêt a été déclenché, à 75 m un risque résiduel de 6 à 23 % et à 100 m un risque résiduel de 3 % à 19 %.

Le risque résiduel est déterminé à partir des arrêts dus à des vols supérieurs à la valeur limite par rapport au total des arrêts. Il faut cependant noter que les Milans royaux volant à très basse altitude sont sous-représentés par le système IDF, ce qui signifie que la part de Milans royaux volant à basse altitude était en réalité plus élevée. Les valeurs en pourcentage données ici pour le risque résiduel sont donc à considérer comme pertinentes et seraient probablement plus faibles si le total de tous les vols avait pu être enregistré.

Dans quelle mesure Identiflight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Oldenbourg, 07/10/2021

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tableau 12 : Arrêts générés par IDF pour différentes hauteurs au-dessus de la base du mât.

Éolienne	Nombre total d'arrêts	Arrêt uniquement à Rmin	50 m au-dessus de la base du mât			75 m au-dessus de la base du mât			100 m au-dessus de la base du mât		
			Vols au-dessous	Vols au-dessus	Risque résiduel sur l'ensemble Arrêts	Vols au-dessous	Vols au-dessus	Risque résiduel sur l'ensemble Arrêts	Vols au-dessous	Vols au-dessus	Risque résiduel sur l'ensemble Arrêts
Bütow_1 WEA11	109	49	55 %	22	20 %	65 %	17	16 %	78 %	11	10 %
Bütow_1 WEA13	207	106	69 %	33	16 %	83 %	18	9 %	90 %	11	5 %
Bütow_2 WEA11	76	44	52 %	21	28 %	61 %	17	22 %	70 %	13	17 %
Bütow_2 WEA13	120	44	68 %	14	12 %	84 %	7	6 %	91 %	4	3 %
Geislingen FWEA-1	217	95	69 %	29	13 %	79 %	20	9 %	86 %	13	6 %
Geislingen FWEA-2	185	82	65 %	29	16 %	73 %	22	12 %	84 %	13	7 %
Gerbstedt T06	50	20	55 %	9	18 %	60 %	8	16 %	75 %	5	10 %
Gerbstedt T07	78	38	58 %	16	21 %	66 %	13	17 %	76 %	9	12 %
Gerbstedt T09	79	42	55 %	19	24 %	69 %	13	16 %	76 %	10	13 %
Helfta E3-1 WTB 1	327	149	39 %	91	28 %	63 %	55	17 %	76 %	36	11 %
Helfta E3-1 WTB 2	246	133	37 %	84	34 %	63 %	49	20 %	74 %	34	14 %
Helfta E3-1 WTB 3	219	94	33 %	63	29 %	47 %	50	23 %	56 %	41	19 %
Lübesse T11	88	28	64 %	10	11 %	68 %	9	10 %	71 %	8	9 %
Plate E3-2 WTB1	176	82	35 %	53	30 %	55 %	37	21 %	67 %	27	15 %

5.6.2 Réaction de l'éolienne au signal d'arrêt

Sur le site de Bütow, un contrôle exemplaire des données SCADA de l'éolienne 13 (Enercon E101) a montré que tous les arrêts déclenchés par IdentiFlight ont été correctement effectués. Sur ce site, il y avait une activité de vol très élevée non seulement de Milans royaux, mais aussi de nombreuses autres espèces (voir la figure 23).

Au total, cela a conduit à un nombre très élevé de signaux d'arrêt, dont le nombre et la répartition temporelle sont illustrés à la figure 74 et à la figure 75 à titre d'exemple. Le site de Bütow est donc particulièrement adapté pour évaluer le bon fonctionnement de la conversion du signal de l'éolienne sur la base d'un large échantillon d'arrêts. Il devient clair que le nombre d'arrêts peut varier fortement d'un jour à l'autre et osciller entre 10 et 90 arrêts par jour sur la période considérée. De plus, il a été montré que, selon le déroulement quotidien de l'activité de vol, une accumulation d'arrêts a commencé à partir d'environ 9 heures du matin et a duré jusqu'à environ 20 heures.

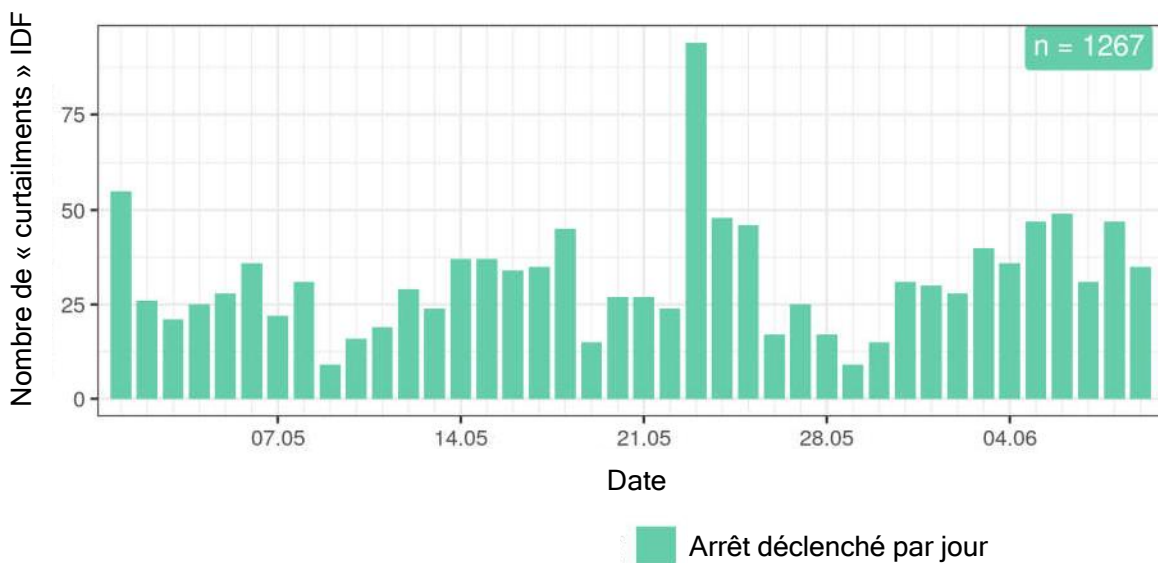


Figure 74 : Nombre d'arrêts déclenchés par IDF sur l'éolienne 13 sur le site d'étude de Bütow. Tous les arrêts déclenchés par IDF ont été correctement effectués par l'éolienne.

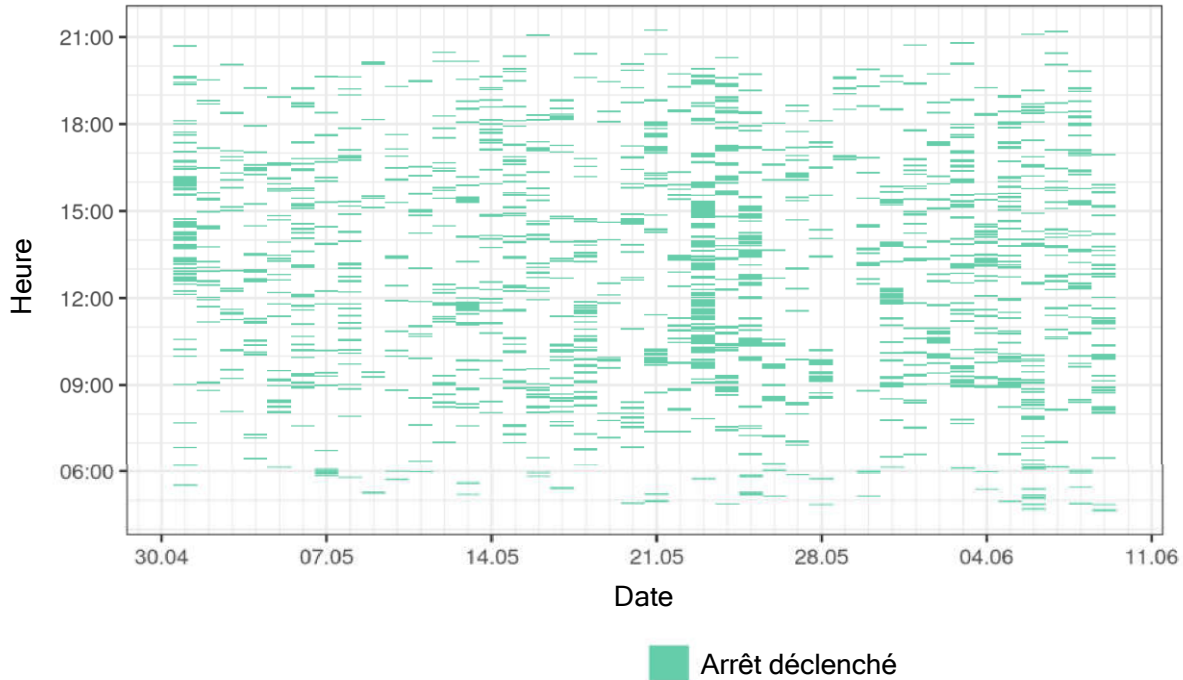


Figure 75 : Répartition horaire de l'arrêt déclenché par IDF à l'éolienne 13 sur le site de Bütow.

5.6.3 Rapport entre l'activité de vol et les arrêts

La fréquence et la durée des arrêts initiés par IDF dépendent inévitablement de l'activité de vol sur le site respectif de l'éolienne. Si l'on regarde l'ensemble du rayon de 750 m autour du système IDF concerné, il existe une corrélation linéaire claire entre le nombre de traces enregistrées par jour, avec ou sans oiseaux classés comme protégés par IDF, et le nombre d'arrêts déclenchés (figure 76).

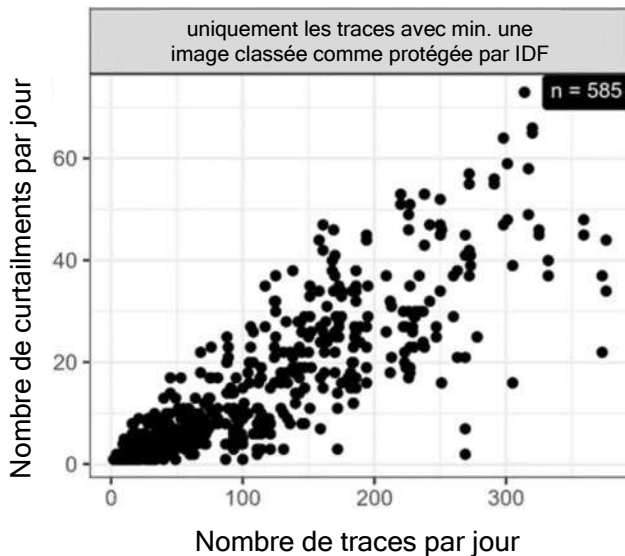


Figure 76 : Nombre d'arrêts (curtailments) par jour en fonction du nombre de traces pour lesquelles une espèce protégée a été classée au moins une fois. n = nombre de jours d'éolienne

Si la considération est limitée à un rayon de 350 m, ce qui correspond approximativement à la dilatation du cylindre d'éloignement intérieur dans les grandes éoliennes modernes (voir chap. 6.1.6), il ressort que presque chaque seconde de mouvement de vol détecté a entraîné un arrêt d'une durée moyenne d'environ 3,5 minutes (tableau 13). Le nombre moyen d'arrêts par jour sur les six sites a montré une large gamme d'un peu plus de 1 à près de 40 arrêts/jour, avec les valeurs les plus élevées dans chaque cas pendant la période d'élevage des jeunes, soit à partir du 20/05 jusqu'au 30/06. (tableau 14).

Tableau 13 : Relation entre l'activité de vol des Milans royaux dans un rayon de 350 m et le nombre et la durée des arrêts déclenchés par IDF pour les Milans royaux

Site	Détecté		Durée moyenne du signal d'arrêt [s]	Ratio arrêts/vols
	Vols dans un rayon de 350 m	Arrêts		
Helfta	641	344	161	0,54
Plate	477	180	155	0,38
Gerbstedt	409	193	217	0,47
Lübesse	325	123	215	0,38
Bütow	1 262	392	239	0,25
Geislingen	3 903	1 775	276	0,50
Moyenne	1 385	536	211	0,43

Dans quelle mesure Identiflight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

Tableau 14 : Nombre moyen d'arrêts quotidiens au cours des différentes phases de reproduction sur les sites d'image IDF

Phases de reproduction	Sites					
	Plate	Lübesse	Bütow	Helfta	Gerbstedt	Geislingen
Parade nuptiale 15/03-14/04.	1,2	1,7	10,7	5,5	4,8	20
Période de reproduction 15/04-19/05	1,5	2,1	13,6	7	6,1	25,2
Période d'élevage 20/05-30/06.	3,2	4,7	11,5	15,2	13,4	39,4
Saison post-reproduction 01/07-30/09	1,5	2,2	5,5	7,3	6,4	18,9

La figure 71 a montré que plus de 40 % des arrêts déclenchés n'ont eu lieu que dans le cylindre d'éloignement intérieur, mais que les oiseaux n'avaient que des altitudes basses d'environ 15 à 60 m. Afin d'estimer les effets de l'altitude de vol sur le nombre et la durée des arrêts, tous les mouvements de vol qui restent systématiquement à moins de 40 m au-dessus du sol sont extraits de l'ensemble de données du site de Geislingen. Pour cette observation, une limite d'altitude de vol basse a été délibérément choisie afin d'illustrer l'effet de l'inclusion du facteur d'altitude de vol avec une approche conservatrice concernant la hauteur du bord inférieur du rotor.

Avec une telle limitation de l'ensemble de données aux vols au-dessus de 40 m au-dessus du sol, le site de Geislingen montre une réduction significative du nombre de vols enregistrés dans un rayon de 350 m d'environ 30 %. Le nombre d'arrêts est même réduit de près de moitié (tableau 15). En conséquence, le ratio de vols et d'arrêts est réduit de 0,50 à 0,36. Seule la durée moyenne du signal d'arrêt augmente légèrement.

Tableau 15 : Relation entre l'activité de vol des Milans royaux dans un rayon de 350 m et le nombre et la durée des arrêts déclenchés par IDF pour les Milans royaux sur le site de Geislingen

	Détecté		Durée moyenne du signal d'arrêt [s]	Ratio arrêts/vols
	Nombre de vols dans un rayon de 350 m	Arrêts		
Tous les vols	3 903	1 775	276	0,50
Vols uniquement de plus de 40 m de haut	2 731	975	287	0,36

5.7 Comportement de vol du Milan royal

5.7.1 Altitude

Les altitudes de vol des Milans royaux, déterminées à partir des données d'IDF, montrent que le maximum de la distribution des altitudes de vol est d'environ 30 à 40 m, sur la base de la caméra stéréo d'IDF, et diminue régulièrement au-dessus (figure 77). Cependant, il existe des différences majeures entre les différents sites. Alors que les altitudes à Plate sont réparties sur une plage d'altitudes nettement plus large, l'altitude à Gerbstedt et à Bütow se concentre le plus fortement sur des altitudes plus basses.

En regardant les parts cumulées sur la hauteur et pour les différents emplacements, on constate que, en moyenne sur tous les sites, 55 % des données ont été enregistrées jusqu'à une hauteur de 100 m, avec cette valeur comprise entre 35 % pour Plate et 67 % pour Gerbstedt fluctue (figure 78).

Ces grandes différences sont probablement dues aux conditions spécifiques à l'emplacement, en raison de la proximité des zones de reproduction ou des zones d'alimentation qui sont approchées à basse altitude ou des zones principalement survolées ou utilisées comme thermiques. Les altitudes de vol sont donc spécifiques au site et ne reflètent pas la distribution globale des altitudes de vol des spécimens impliqués, comme c'est le cas avec les oiseaux détectés par télémètre (HEUCK *et al.* 2019). De plus, la priorité donnée aux oiseaux à plus grand risque de collision par le système IDF et le sous-enregistrement des Milans royaux volant très bas entraînent un écart supplémentaire dans la distribution des altitudes de vol par rapport aux Milans royaux détectés par télémètre.

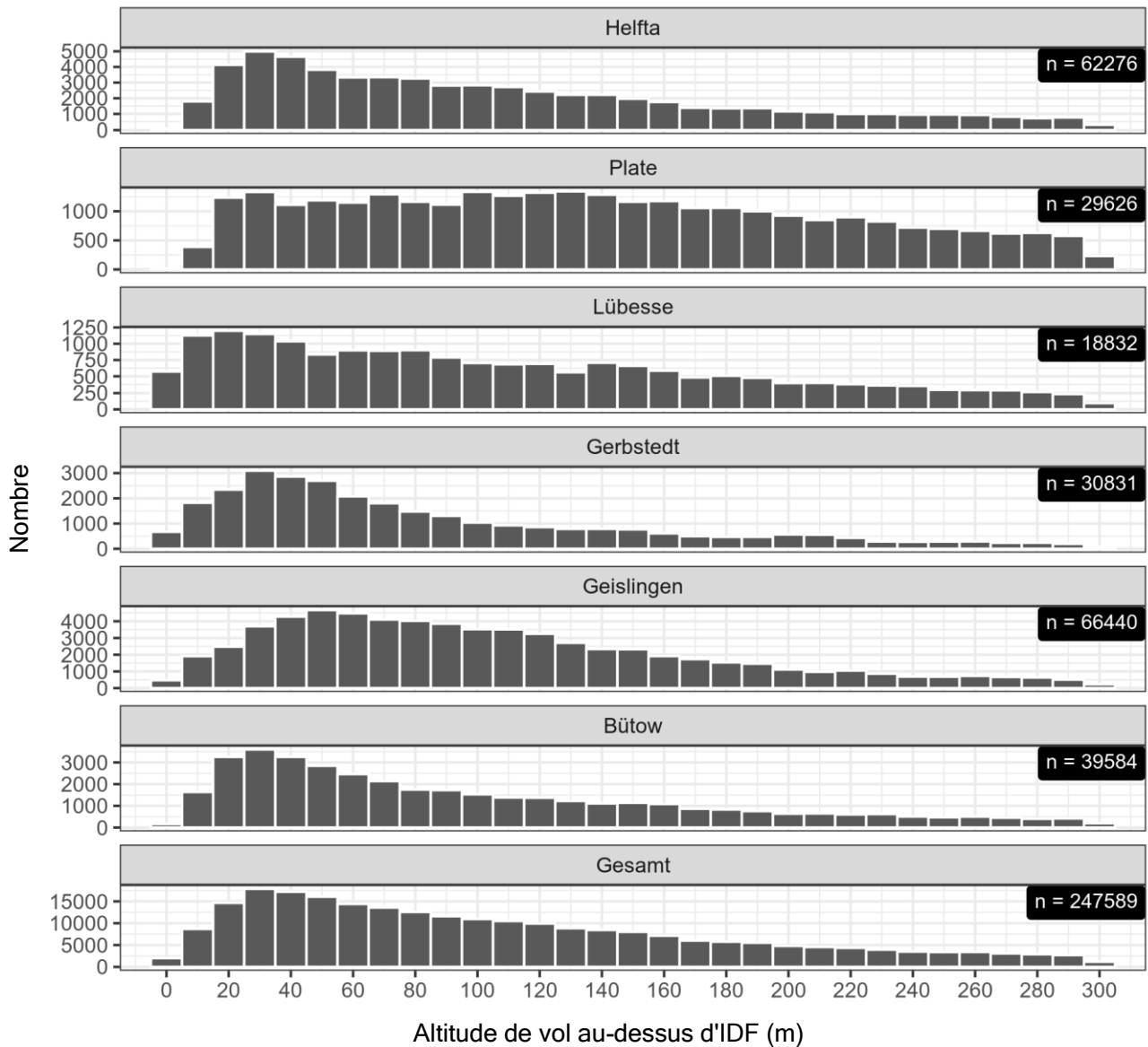


Figure 77 : Répartition des altitudes de vol, par plages d'altitude de 10 m, des Milans royaux identifiés par la suite sur les six sites jusqu'à 300 m au-dessus d'image en champ sombre.

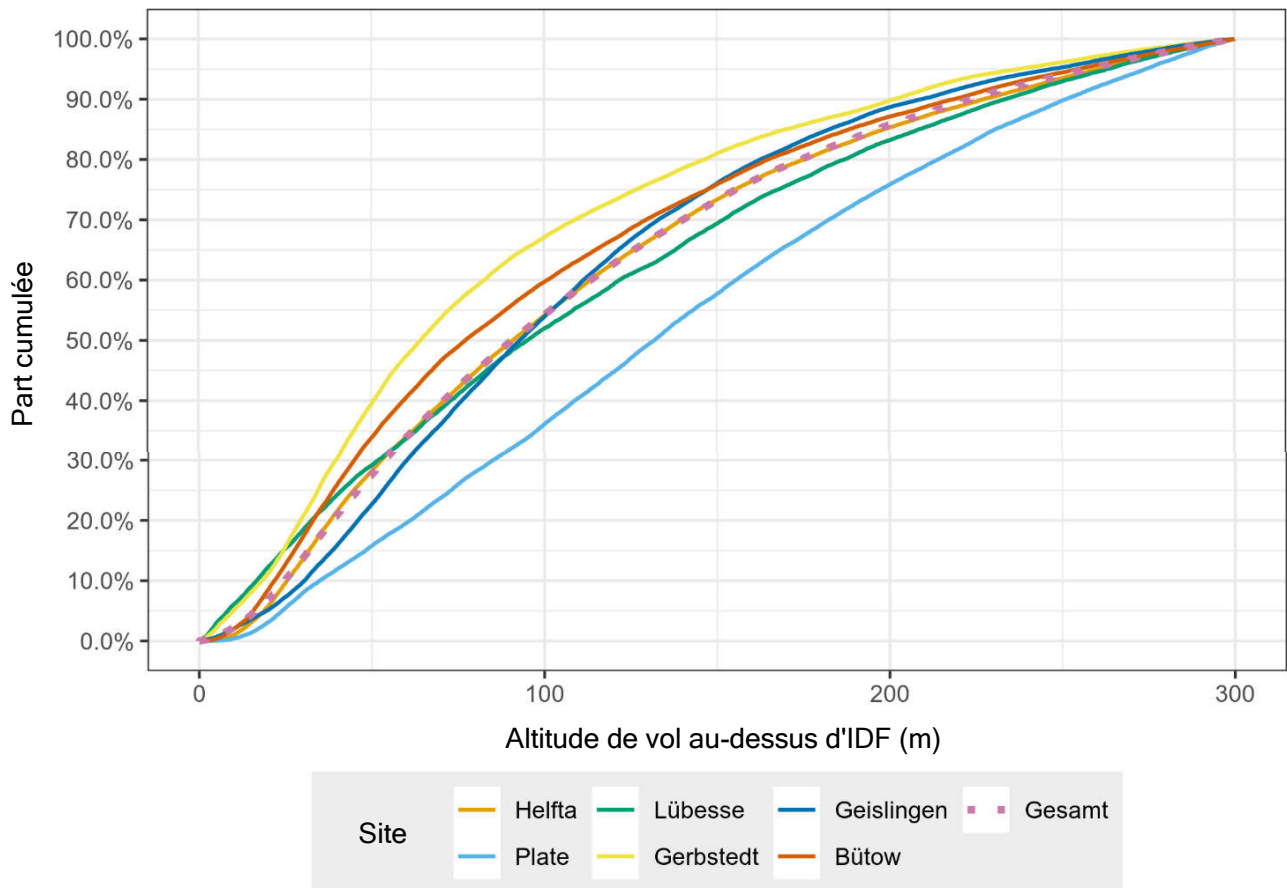


Figure 78 : Proportion cumulée des altitudes de vol des Milans royaux identifiés par la suite jusqu'à 300 m au-dessus d'IDF.

5.7.2 Vitesse de vol

La vitesse de vol de l'espèce ciblée a une influence majeure sur la portée de détection requise et sur le dimensionnement des cylindres d'éloignement intérieur et extérieur. Par conséquent, ce qui suit est une évaluation des données générées par IDF dans ce projet en ce qui concerne les vitesses de vol horizontale et verticale des Milans royaux.

La vitesse horizontale médiane sur l'ensemble des sites, basée sur 76 175 mesures, était de 8,4 m/s, ou 30,24 km/h avec un écart type de 3 m/s (environ 68 % de toutes les valeurs se situent donc dans une fourchette de 8,4 +/- 3 m/s). Entre les sites, les médianes fluctuent de 7,6 à 9,1 m/s (tableau 16).

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

La vitesse verticale médiane sur l'ensemble des sites était de -0,8 m/s pour la descente et de 0,9 m/s pour la montée (avec un écart type d'environ 1 m/s).

Les médianes ne fluctuent que très légèrement entre les sites (tableau 16).

La distribution des vitesses médianes horizontales et verticales est largement similaire sur tous les sites (figure 79 et figure 82).

Il n'y a pas de dépendance claire de la vitesse horizontale sur l'altitude de vol, mais il y a une tendance à voler plus lentement près du sol qu'à des altitudes plus élevées (figure 80). La médiane à une hauteur < 50 m est d'environ 8 m/s, à une hauteur de 200 à 250 m, elle est en revanche un peu inférieure à 9 m/s.

Même si des vitesses horizontales très élevées ont été occasionnellement déterminées, à une hauteur allant jusqu'à 200 m, environ 70 % de toutes les valeurs sont inférieures à 10 m/s et environ 90 % inférieures à 12,5 m/s (figure 81).

En ce qui concerne la répartition en altitude de la vitesse de vol vertical, on constate une tendance plus nette à ce que les vols en montée et en descente soient plus rapides à haute altitude qu'à basse altitude. À une altitude de < 50 m, la médiane des vols de montée est inférieure à 0,5 m/s, alors qu'à une altitude de 200-250 m, la médiane est supérieure à 1 m/s (figure 83), ce qui peut être dû à l'augmentation générale de la vitesse du vent avec l'altitude.

Les Milans royaux volant à basse altitude ne prennent donc de la hauteur que lentement. Considérés de manière cumulative, 90 % de la vitesse de montée médiane jusqu'à une hauteur de 100 m sont inférieurs à 1,5 m/s (figure 84).

Tableau 16 : Vitesses de vol des Milans royaux déterminées par IDF dans le sens horizontal ainsi qu'en descente et en montée.

Site	Vitesse horizontale			Vitesse de descente			Vitesse de montée		
	Médiane	SD	Nombre	Médiane	SD	Nombre	Médiane	SD	Nombre
Helfta	7,6	2,8	17 960	-0,9	1,0	7 261	0,8	0,9	9 458
Plate	8,4	3,0	5 283	-1,0	1,1	2 486	0,9	1,0	2 500
Lübesse	7,6	2,9	2 296	-0,8	0,8	907	0,8	1,1	1 293
Gerbstedt	8,8	3,0	9 109	-0,7	0,9	3 500	0,8	0,9	5 139
Geislingen	8,8	3,1	29 980	-0,8	1,1	13 460	0,8	0,9	15 802
Bütow	9,1	3,1	11 547	-0,9	1,0	5 406	0,8	0,9	5 745
Total/moyenne	8,4	3,0	76 175	-0,8	1,0	33 020	0,8	0,9	39 937

SD = écart type (standard deviation)

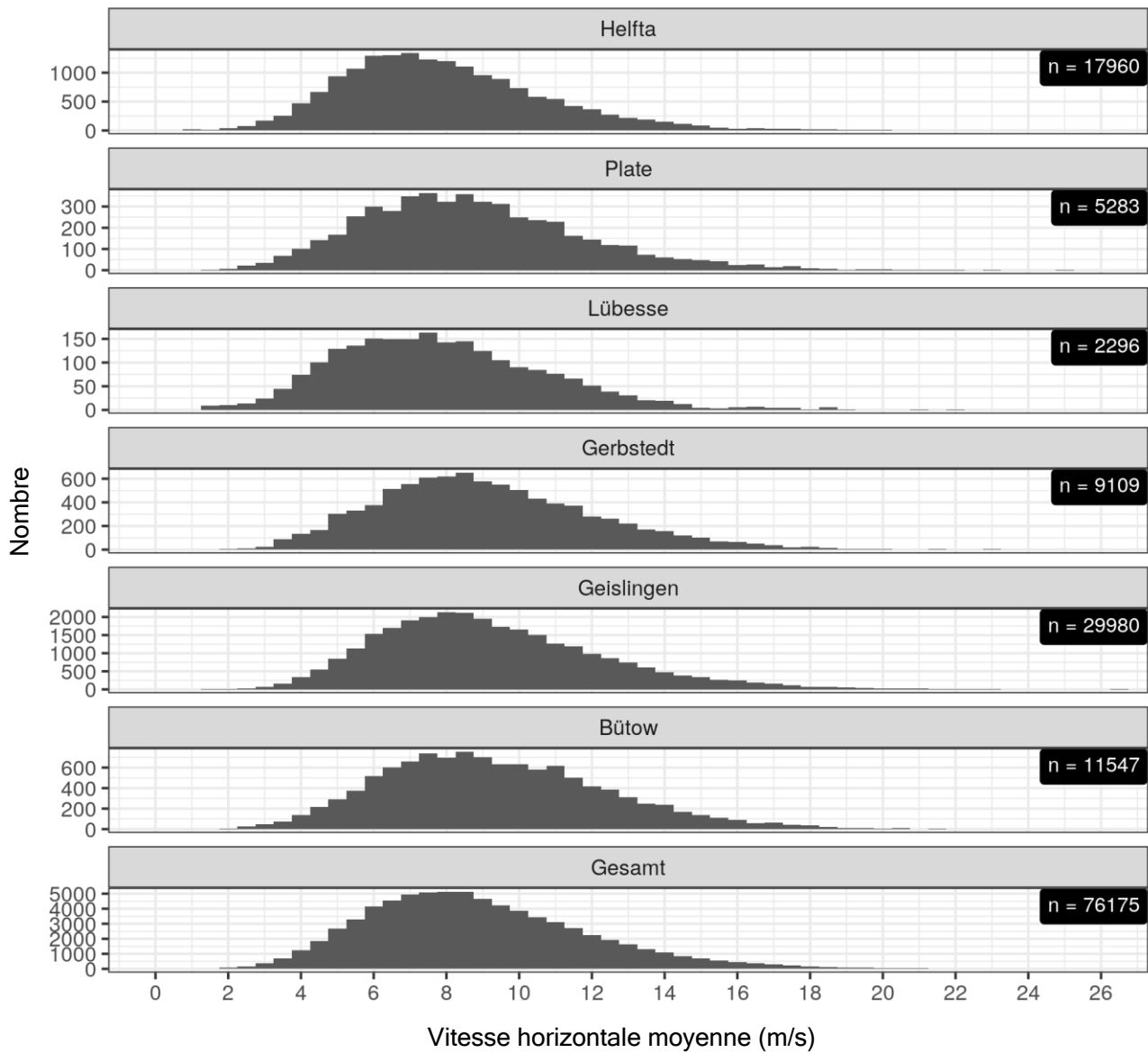


Figure 79 : Distribution des vitesses de vol horizontales des Milans royaux calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude

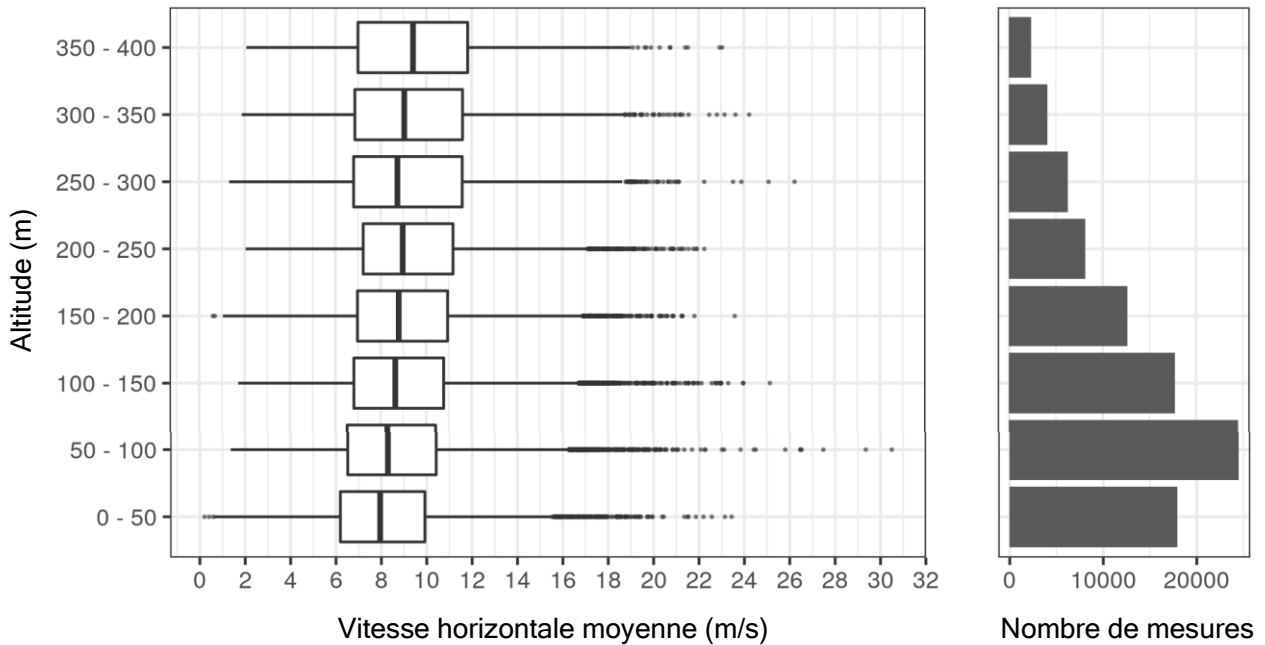


Figure 80 : Box plots de la distribution en hauteur des vitesses de vol horizontales des Milans royaux calculées en moyenne mobile

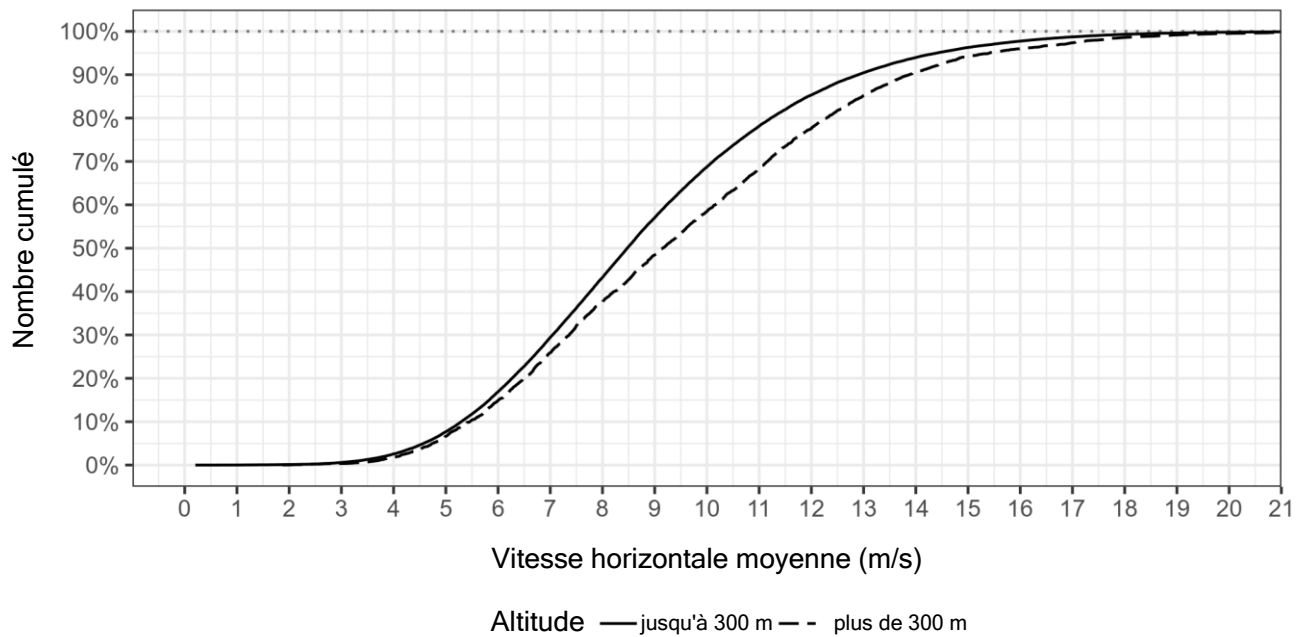


Figure 81 : Représentation cumulée des vitesses de vol horizontales des Milans royaux calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude

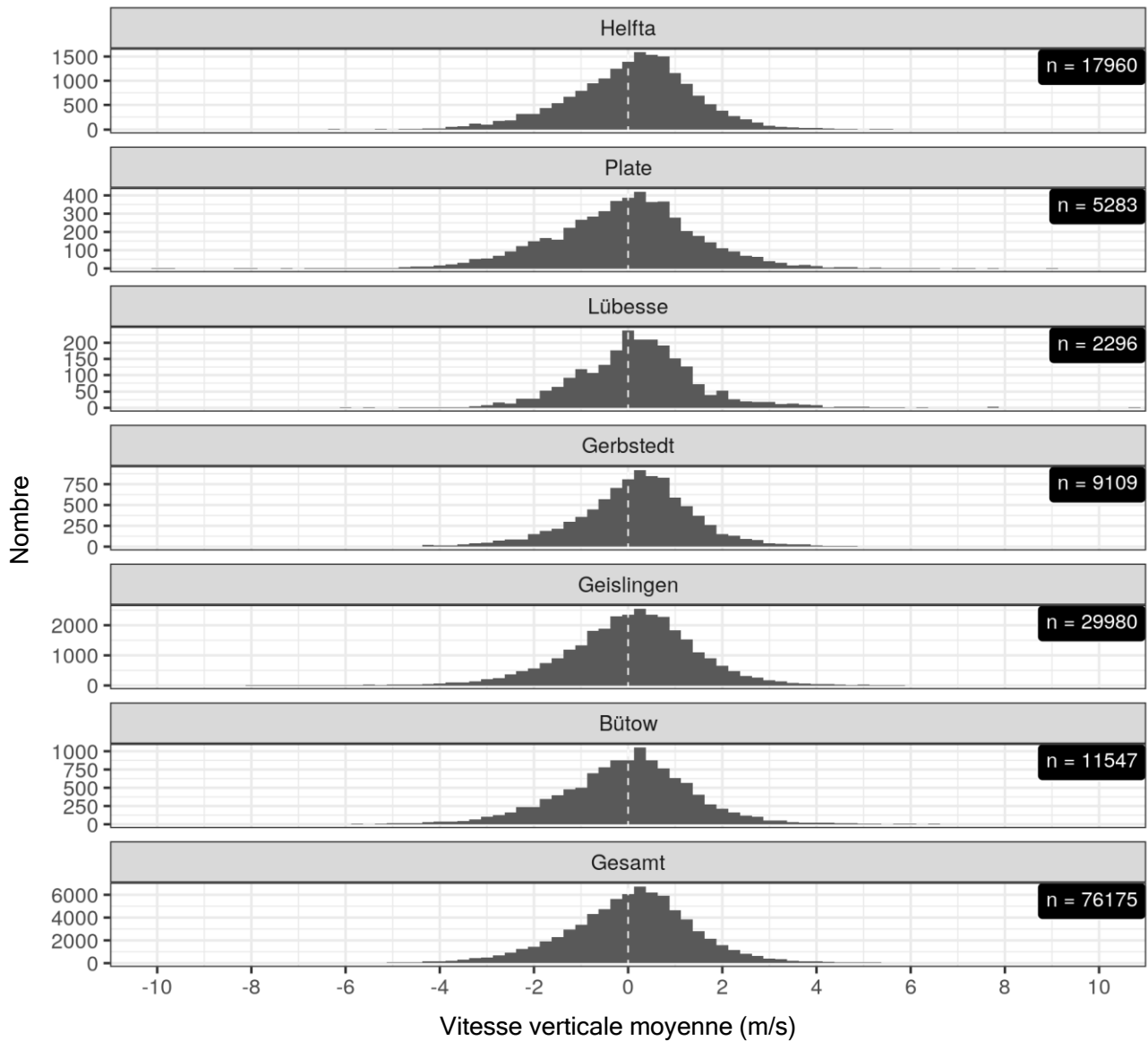


Figure 82 : Distribution des vitesses anémométriques verticales calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude

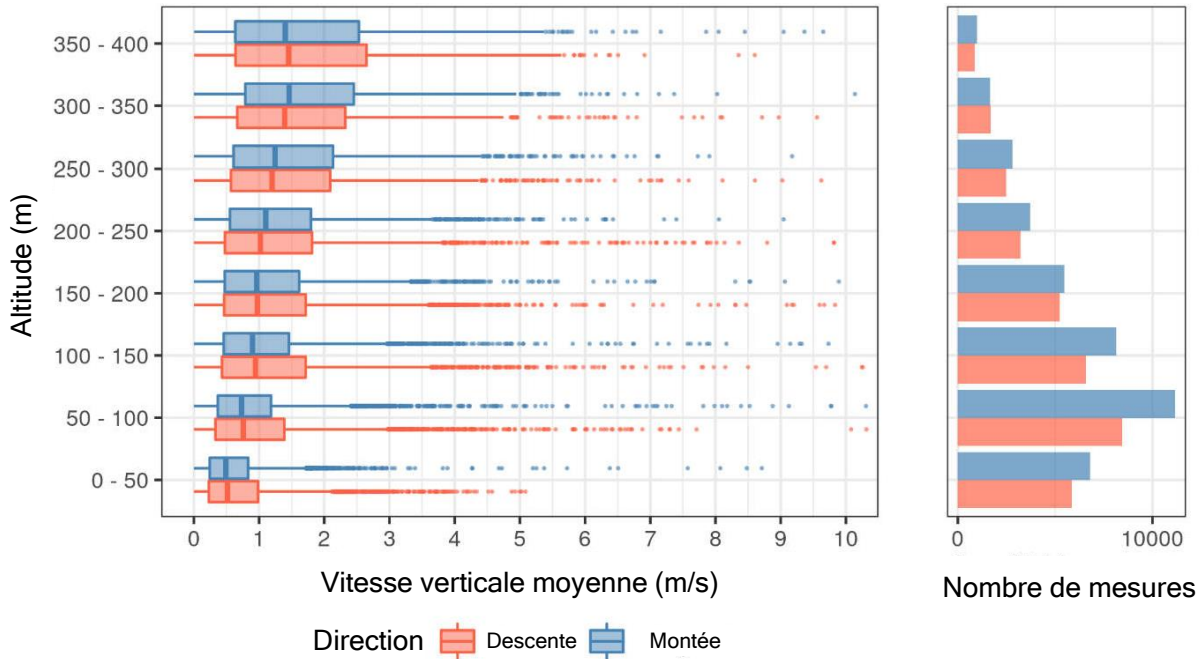


Figure 83 : Box plots de la distribution en altitude des vitesses verticales calculées comme une moyenne mobile

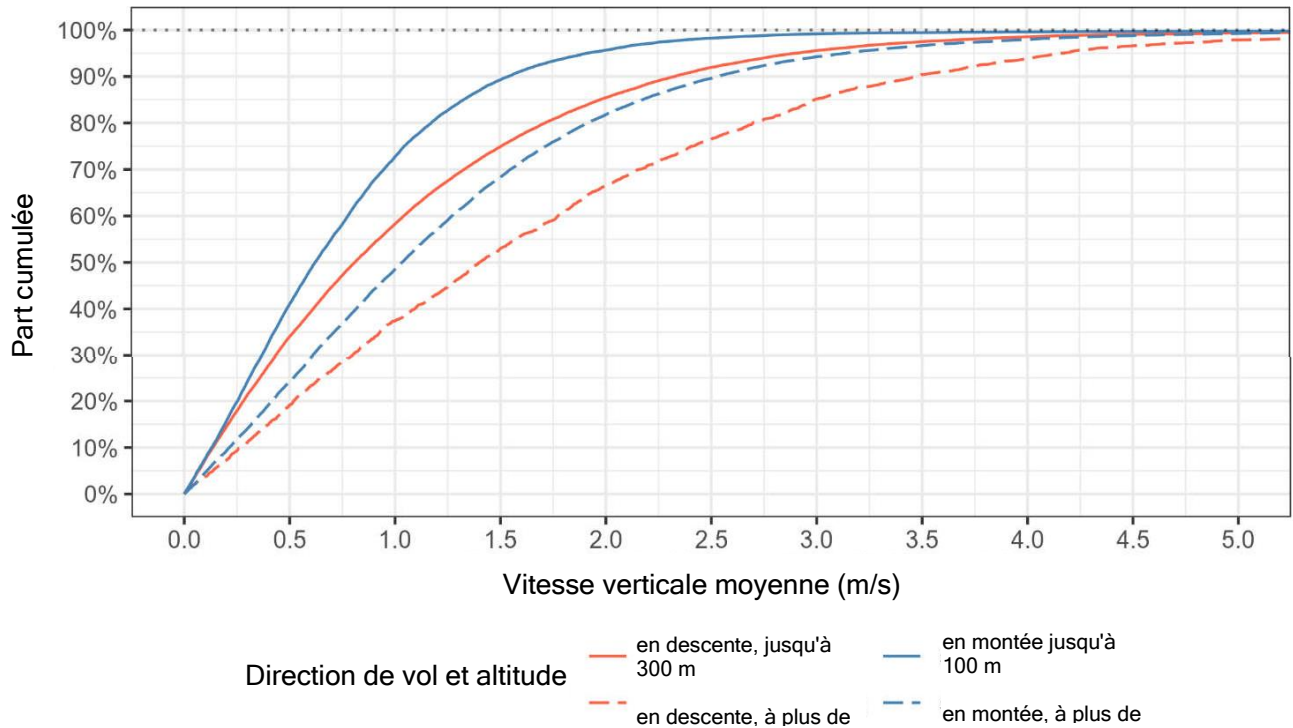


Figure 84 : Représentation cumulative des vitesses de vol verticales des Milans royaux calculées en moyenne mobile sur tous les sites d'étude

6 Évaluation de l'efficacité d'IDF pour la conservation des espèces

Dans ce qui suit, le chapitre 6.1 examine et classe les performances d'IDF au regard des critères individuels de la KNE (2019) sur la base des résultats du chapitre 5.

Ensuite, au chapitre 6.2, ces résultats individuels sont combinés pour classer l'efficacité globale du système.

Puis, au chapitre 6.3, il est indiqué quelles exigences de protection des espèces sont utilisées pour mesurer cette efficacité globale.

Au chapitre 6.4, l'évaluation finale est faite pour savoir si et dans quelles circonstances IDF est apte à réduire le risque de collision à un point tel qu'il n'y a pas d'augmentation significative du risque de mort au sens de l'art. 44 al. 1 n° 1 en relation avec l'art. 44 al. 5 n° 1 de la loi fédérale sur la protection de la nature.

6.1 Caractérisation des performances d'IDF

Les exigences qui doivent être imposées aux performances d'IDF afin de garantir que le risque de décès dû aux éoliennes n'augmente pas de manière significative dans chaque cas sont examinées ci-dessous à l'aide des critères de KNE (2019). Comme expliqué au chapitre 3.1, il s'agit des éléments suivants :

1. Couverture spatiale et temporelle du site
2. Portée de détection
3. Taux de détection (collecte des données de référence par un système dit secondaire)
4. Taux de classification de l'objet en vol
5. Efficacité et efficacité de la réponse du système

De plus, le dimensionnement nécessaire des cylindres d'éloignement spécifiques à IDF est pris en compte en fonction du comportement de vol du Milan royal.

Lors du colloque BfN « Utilisation de l'énergie éolienne respectueuse de la nature grâce aux technologies intelligentes dans la protection des espèces » le 03-04/11/2020, l'Institut suisse d'ornithologie de Sempach a présenté ses propres évaluations des données IDF de Geislingen (ASCHWANDEN 2020).⁹ Sur la base des résultats obtenus, l'auteur conclut que les propriétés de détection du système (peu d'erreurs de classification, large portée avec une efficacité de détection élevée) constituent un très bon point de départ pour les espèces ciblées de Milans royaux et noirs pour mettre en œuvre un arrêt à la demande. Un rapport de projet complet a maintenant été publié à ce sujet (ASCHWANDEN & LIECHTI 2020)¹⁰.

⁹ <https://www.natur-und-erneuerbare.de/aktuelles/details/naturvertraegliche-windenergienutzung-durch-smarte-technologien-im-artenschutz/>

¹⁰ https://www.zsw-bw.de/uploads/media/NatForWINSSENT_Testbericht_IndentiFlight.pdf

6.1.1 Couverture spatiale et temporelle du site

En termes **d'espace**, les trajectoires de vol des Milans royaux ont été enregistrées sur les six sites d'étude dans un rayon de 360°. Ce n'est qu'à proximité du sol que se trouvaient les zones dans lesquelles la détection de la trajectoire de vol n'était pas possible, en partie à cause de l'occultation des structures en bois ou en raison du masquage requis par la loi sur la protection des données (par exemple sur les chemins ou les écuries) (voir le chapitre 4.1.3 et les figures 16 à 24 comme ainsi que la figure 42 et la figure 43). Cependant, ces zones n'occupent qu'une très faible proportion de l'ensemble du champ de vision de la caméra et n'affectent également que les très basses altitudes, qui ne sont pas pertinentes au regard du risque de collision (voir chapitre 5.6.1)

En ce qui concerne la fonctionnalité spécifique d'IDF avec l'utilisation d'un cylindre d'éloignement extérieur et intérieur autour de l'éolienne à surveiller (voir figure 6), il est particulièrement important que le cylindre d'éloignement intérieur autour de l'éolienne respective puisse être complètement ignoré par IDF. C'était le cas dans les six zones d'étude, car il n'y avait aucune obstruction visuelle dans la zone du cylindre d'éloignement intérieur autour des éoliennes à surveiller (voir figure 10 à figure 14). Cela signifie qu'il y avait une couverture spatiale illimitée du cylindre d'éloignement intérieur dans chaque cas. En ce qui concerne le cylindre d'éloignement extérieur plus éloigné, comme expliqué au chapitre 4.1.3, il n'y avait que de très légères restrictions sur la visibilité près du sol.

Verticalement vers le haut, il y a une zone au-dessus d'IDF qui ne peut pas être visualisée (voir la zone aveugle dans la figure 3). Cependant, cette zone n'a aucune influence sur les performances de détection du système IDF ou sur les processus d'arrêt générés par IDF, car elle est complètement entourée par le dôme de visibilité (champ de vision spatial d'IDF). À cet égard, un taux de couverture spatiale de 100 % peut être supposé, au moins pour les altitudes de vol pertinentes pour la collision > environ 20 m.

En termes de **temps**, la combinaison des six sites au cours des années de collecte de données de 2018 à 2020 a permis d'obtenir une couverture presque complète de toute la période de reproduction du Milan royal ; aucune donnée n'est disponible pour le mois de mars (période totale du 16/04 au 18/10, voir chapitre 4.1.4). Sur un total de 393 jours d'images caméra, 29 jours ont dû être exclus en raison de pannes complètes ou partielles du système, de sorte que la durée totale est d'une année complète (364 jours de caméra, voir le tableau 3 et la figure 28). Selon les données disponibles, cela se traduit par une disponibilité totale du système d'environ 93 % dans le temps (voir chapitre 4.1.4). Cependant, cela inclut également des difficultés avec l'alimentation électrique locale, en particulier sur les sites dotés d'éoliennes virtuelles. En utilisation réelle, il y aura une alimentation électrique fiable via l'éolienne existante à surveiller, de sorte qu'une disponibilité technique d'au moins 95 % est supposée (voir chapitre 4.1.4).

Évaluation d'IdentiFlight

En raison de la combinaison de six sites, chacun pouvant être facilement visualisé par IDF, le taux de couverture spatiale et temporelle de la présente étude peut être considéré comme extrêmement fiable au regard des questions à étudier.

6.1.2 Portée de détection

Par rapport à l'emplacement de l'éolienne, la portée de détection doit être au moins suffisamment grande pour qu'à partir du moment de la détection (y compris la classification de l'objet en vol) jusqu'à ce que l'éolienne passe en mode rotation suite au signal d'arrêt généré par le système à une vitesse de vol moyenne, il y ait suffisamment de temps pour que le mode rotation soit effectivement atteint lorsque le Milan royal est censé entrer dans le rayon du rotor.

Selon une décision de l'OVG de Lunebourg (décision du 29/04/2019 - 12 ME 188/18), la réalisation d'une opération de filage (contrairement à l'arrêt complet de l'éolienne) peut être considérée comme suffisante du point de vue du droit de la protection des espèces.¹¹

Sur la base de l'état actuel des informations (AMMERMANN *et al.* 2020), il a été supposé que la durée du processus de décélération, depuis l'arrivée du signal d'arrêt jusqu'à l'atteinte du mode de rotation, était en moyenne d'environ 30 s. Cette valeur a été confirmée comme pertinente lors des essais d'arrêt sur les sites de Lübesse, Gerbstedt et Bütow et acceptée par la suite (voir chapitre 4.1).

La vitesse de vol d'un Milan royal à un instant donné dépend essentiellement du comportement de vol exercé. D'un plané lent à un plané dirigé et assisté par le vent arrière jusqu'à d'éventuelles phases de piqué, la vitesse peut varier considérablement. Si l'on prend pour le vol à voile et le vol à voile lent environ 25 km/h (environ 7 m/s) (HÖTKER *et al.* 2017), une distance minimale d'environ 210 m par rapport à la pointe du rotor est obtenue sur la base du temps d'arrêt de 30 s. Selon les références bibliographiques, la vitesse de vol varie d'environ 10 m/s avec un comportement de vol mixte (BRUDERER & BOLT 2001, p. 189 : mixed flight behaviour from Europe varied around 10,5 bzw. 10,1 m/s). Sur la base des valeurs plus élevées de BRUDERER & BOLT (2001) (environ 15 m/s en vol plané), cela se traduit par une distance d'environ 450 m.

Si une certaine marge de sécurité est également prise en compte pour l'intervalle de temps entre la détection de l'oiseau et le début de la réaction de décélération du système (hypothèse d'environ 3 s, voir chapitre 4.3.4), cela conduirait à la portée de détection minimale requise d'environ 230 m (pour une vitesse de 7 m/s) ou 500 m (à 15 m/s) plus le rayon du rotor.

¹¹ https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/20190725_KNE-Antwort_233_OVG_Lueneburg_Trudelbetrieb_seT.pdf, version du 04/03/2020

Les données sur la vitesse de vol horizontale du Milan royal (médiane 8,4 m/s, voir chapitre 5.7) recueillies dans la présente étude avec IDF aboutissent à une portée de détection minimale requise depuis l'extrémité du rotor d'environ 280 m. Pour une couverture de presque toutes les vitesses de vol déterminées (jusqu'à environ 20 m/s, voir chapitre 5.7), sur la base du temps d'arrêt de 30 s, une portée de détection à partir de la pointe du rotor d'environ 600 m est nécessaire.

Évaluation d'IdentiFlight

Les études disponibles ont montré une portée de détection et de classification d'environ 750 m pour IDF en ce qui concerne le Milan royal (voir chapitre 5.3). Cependant, il faut tenir compte du fait que le système IDF ne peut pas être installé directement sur l'éolienne à surveiller, mais seulement à une distance d'environ 100 m à 150 m. Cette distance est nécessaire afin d'exclure largement l'influence de l'obstruction visuelle par la tour éolienne sur les performances de détection. Cela signifie que la portée maximale de détection d'IDF par rapport à un Milan royal en vol exactement dans le prolongement de la ligne directe IDF-éolienne est limitée à environ 600 m. Cette portée est, comme indiqué ci-dessus suffisante pour pouvoir détecter à temps les Milans royaux pour presque 100 % de toutes les vitesses de vol et pour pouvoir mettre l'éolienne en mode rotation avant une éventuelle collision. En ce qui concerne le Milan royal, IDF répond ainsi à l'exigence d'une portée de détection suffisante, prenant également en compte des vitesses de vol élevées et prenant en compte les impératifs d'installation à distance de l'éolienne à surveiller.

Pour vérifier l'influence des conditions météorologiques sur la portée de détection, ASCHWANDEN & LIECHTI (2020) sur le site de Geislingen, trois jours avec de bonnes conditions météorologiques (sec avec une visibilité dégagée (= 2 000 m) et trois jours avec de mauvaises conditions météorologiques (humide avec visibilité partiellement réduite (<2 000 m)) ont été sélectionnés et les distributions de fréquence respectives des distances radiales aux premières positions de points identifiés comme espèces cibles de chaque trajectoire de vol ont été formées à cet effet. Il a été constaté que les détections initiales plus éloignées sont moins fréquentes dans de mauvaises conditions météorologiques. Dans de bonnes conditions météorologiques, 90 % des détections se font à une distance allant jusqu'à 750 m et dans de mauvaises conditions météorologiques, environ 91 % des détections se font à une distance allant jusqu'à 600 m (figure 85). Il en ressort que les conditions météorologiques, en particulier la visibilité, peuvent avoir un impact sur les performances de détection d'IDF. Cependant, une portée de détection large et suffisante est toujours atteinte même dans des conditions météorologiques défavorables.

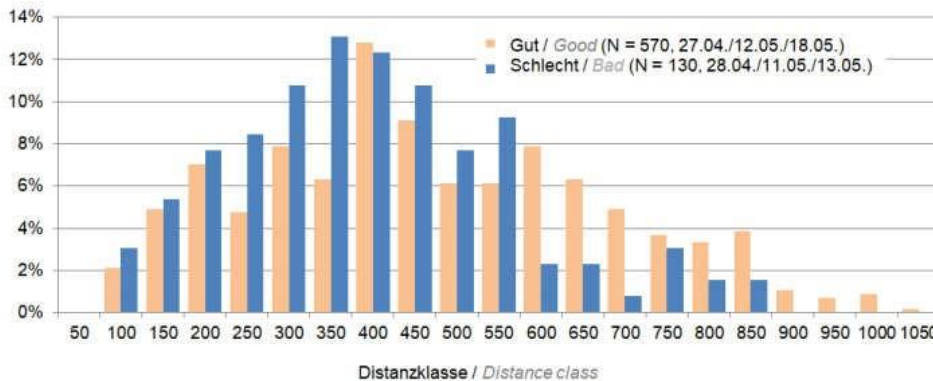


Figure 85 : Répartition des distances radiales initiales de détection des trajectoires de vol des espèces ciblées en fonction de la météo (bonne = temps sec avec ciel dégagé, mauvaise = humide avec ciel partiellement couvert). Source : ASCHWANDEN & LIECHTI (2020)

6.1.3 Taux de détection

Le taux de détection indique combien d'objets de vol pertinents se produisant réellement (ici le Milan royal) sont détectés par IDF dans la portée de détection. Il s'agit d'un critère central pour évaluer l'effet protecteur d'un système anti-collision.

Évaluation d'IdentiFlight

Un taux de détection moyen de 92 % est globalement atteint (voir chapitre 5.4.1). En général, les données GPS de référence sont plus précises que les données LRF, de sorte que le taux d'acquisition sur le site de Geislingen peut être considéré comme particulièrement significatif sur la base des données de télémétrie (95 %). Le taux de détection d'IDF peut donc être qualifié de très élevé, ce qui est une condition essentielle pour une protection efficace du Milan royal contre les collisions avec les éoliennes.

6.1.4 Classification de l'objet en vol

Du point de vue de la protection de la nature, le taux dit de faux négatifs, c'est-à-dire la mesure dans laquelle les Milans royaux réels ne sont pas reconnus comme tels (l'espèce ciblée n'est pas reconnue comme une espèce ciblée), est décisif pour évaluer la performance de classification d'un système. En revanche, le taux de faux positifs auquel des Milans non royaux sont faussement identifiés comme tels par le système n'est pas pertinent, car il ne conduit pas à une réduction du niveau de protection, mais seulement à des arrêts supplémentaires, c'est-à-dire à une réduction de la disponibilité du système pour l'opérateur.

L'une des principales caractéristiques d'IDF est que la détection des objets et la génération de signaux d'arrêt ne se fait pas de manière relativement généralisée au niveau des classes de taille ou des groupes d'espèces, mais qu'elle est ciblée au niveau de l'espèce, ou au moins au niveau du type d'espèce (par exemple,

Milan royal et Aigle de mer ou Milan et Aigle). Cependant, cette spécificité élevée de la reconnaissance d'objets représente une autre source possible d'erreur, qui est décrite par le taux de faux négatifs. Il s'agit d'une propriété du logiciel sous-jacente, dont les performances peuvent cependant être améliorées en continu dans une certaine mesure par des réapprentissage répétés, comme on a pu le montrer avec la version 2 du réseau neuronal (voir chapitre 5.5).

Évaluation d'IdentiFlight

Dans les présentes études, l'amélioration du logiciel a permis de réduire le taux de faux négatifs de 15 % à 20 % initialement (2018 et 2019, version 1) à 4 % à 2,5 % (2020, version 2), relatifs à l'espèce ciblée Milan royal et, à partir de 2020, au groupe d'espèces Milan royal et Milan noir. En utilisant la version 2, un pourcentage de 96 % à 97,5 % de tous les Milans royaux et noirs détectés est correctement identifié. Cette performance de classification est restée largement constante jusqu'à une distance d'environ 750 m, c'est-à-dire qu'aucune détérioration liée à la distance ne s'est produite dans la portée de détection. Globalement, les performances de classification d>IDF peuvent donc être qualifiées d'excellentes. ASCHWANDEN & LIECHTI (2020) arrivent également à la même conclusion.

6.1.5 Efficacité et efficacité de la réponse du système

L'**efficacité** de la réaction du système comprend la proportion de cas dans lesquels le séjour d'un objet cible (ici le Milan royal) dans la zone de réaction nécessaire a correctement amené à générer un signal d'arrêt (réaction du système sûre et correcte par arrêt en cas de risque selon KNE (2019)). L'efficacité de la réaction du système ne peut être mesurée que dans le cylindre d'éloignement intérieur, car un signal d'arrêt doit toujours être généré dans le cylindre d'éloignement intérieur lorsqu'une espèce cible se produit. Les arrêts dans le cylindre d'éloignement extérieur par la méthode TTC (Time To Collision) ne peuvent pas être inclus dans cette évaluation, car il n'est pas possible de déterminer en détail à quel mouvement de vol un arrêt aurait dû se produire.

Il y a essentiellement deux causes possibles pour un arrêt retardé ou manquant dans le cylindre d'éloignement intérieur :

1. Un objet cible se trouve à une distance à laquelle un arrêt devrait avoir lieu, mais n'est pas reconnu comme un objet cible.
2. Un objet cible se trouve à l'intérieur de la distance d'arrêt et est également reconnu comme tel, mais ne déclenche pas de signal d'arrêt ou pas à temps.

L'option 1 peut généralement être assimilée au taux de détection et de classification pour lequel une résilience élevée a déjà été déterminée. En ce qui concerne l'option 2, les données actuelles montrent qu'un signal d'arrêt est également généré pour chaque Milan royal détecté par IDF dans la distance de détection. Cependant, il s'est avéré que dans environ 48 % de tous les arrêts, les cerfs-volants rouges n'ont été détectés que dans le cylindre d'éloignement intérieur,

de sorte que par rapport à la vitesse de vol horizontal ou à la fonction prévue du cylindre d'éloignement intérieur, l'arrêt s'est produit trop tard dans ces cas (figure 71A). Cependant, en ce qui concerne le risque de collision, la composante verticale doit être incluse en plus de la composante horizontale, c'est-à-dire l'altitude de vol au-dessus du sol. À cet égard, il a été montré que l'altitude médiane de vol pour les arrêts tardifs horizontaux est inférieure à 50 m (figure 71B). Cette basse altitude de vol est à ajuster par rapport à la hauteur du bord inférieur du rotor dans les sites respectifs. À Bütow, par exemple, cela signifie qu'environ 80 % des vols pour lesquels un arrêt n'a été déclenché que dans le cylindre d'éloignement intérieur ont eu lieu en dessous de la hauteur de bord inférieure du rotor de 98 m indiquée ici (figure 72). Cependant, il faut tenir compte du fait qu'un oiseau qui vole au-dessous de la hauteur du rotor peut pénétrer dans la zone de collision en montée dans la période d'arrêt de 30 s. Une médiane de 0,7 m/s a été déterminée pour la vitesse de ces vols en montée en dessous de 100 m (figure 83 et tableau 17), de sorte que les vols à 21 m en dessous de la hauteur du rotor (c'est-à-dire < 77 m) ne risquent généralement pas de collision, même en cas d'arrêt retardé dans le cylindre d'éloignement intérieur. Dans le cylindre d'éloignement intérieur de l'éolienne 13 de Bütow (version 2), environ 70 % des vols correspondant à un arrêt retardé étaient inférieurs à 77 m (figure 72). Ainsi, en réalité, seulement environ 30 % des vols dans le cylindre d'éloignement intérieur ont été effectivement affectés par l'arrêt tardif. Dans le cas de l'éolienne 13 à Bütow (version 2), il s'agissait de 112 vols. Par rapport au nombre total de 919 arrêts pour cette éolienne (figure 70), la proportion d'arrêts retardés pour les vols à un niveau pertinent pour la collision est d'environ 12 %. L'efficacité des arrêts, liée au risque réel de collision sur les plans horizontaux et verticaux, s'élève donc, dans le cas spécifique de l'éolienne 13 à Bütow (version 2), à environ 88 %.

Dans chaque cas, cette valeur dépend à la fois de la hauteur du bord inférieur du rotor et des hauteurs des vols dans le cylindre d'éloignement intérieur. À Geislingen, par exemple, les vols pour lesquels les arrêts n'étaient déclenchés que dans le cylindre d'éloignement intérieur étaient nettement inférieurs à ceux de Bütow (voir figure 73), ce qui réduit encore le risque de collision sur le plan vertical. Globalement, plus la distance entre le sol et le bord inférieur du rotor est grande, plus l'efficacité d'IDF est grande. Les présents résultats montrent qu'IDF a une efficacité d'arrêt très élevée lorsque la hauteur du bord inférieur du rotor est grande.

L'**efficacité du système** concerne principalement la question de savoir dans quelle mesure des arrêts inutiles se produisent en plus des arrêts nécessaires et spécifiques à la cible (nombre et durée des arrêts effectués ainsi que le ratio d'arrêts nécessaires et inutiles selon KNE (2019)). Il s'agit principalement d'arrêts qui n'ont pas été déclenchés par un objet cible et qui ne doivent donc pas être classés comme nécessaires du point de vue de la protection des espèces. Une faible efficacité du système s'exprime principalement par un taux élevé de faux positifs. Dans les présentes études, ce taux varie entre 1 % et 10 % à une distance de 250 m et entre 1 % et 16 % à 750m (voir tableau 11). Il faut cependant noter que le taux de faux positifs n'est pas une pure caractéristique du système, mais dépend dans une large mesure des conditions présentes sur le site spécifique, c'est-à-dire de la fréquence à laquelle s'y trouvent des espèces qui peuvent facilement être confondues avec l'espèce cible.

Évaluation d'IdentiFlight

L'efficacité ne signifie pas que la déficience peut être exclue avec certitude. Dans le droit de la protection des espèces, une évaluation basée sur le caractère raisonnable et pratique est nécessaire et suffisante. Cependant, il est nécessaire d'abaisser le risque de mort spécifique au projet en dessous du seuil de signification (UMK 2020). Dans la présente étude, une efficacité de la procédure d'arrêt de 88 % a été déterminée à titre d'exemple pour une éolienne spécifique à un site où l'activité de vol de Milan royal est très élevée (voir le chapitre 5.6 et tableau 12). En principe, cela peut être considéré comme une valeur élevée, bien qu'elle pourrait être meilleure s'il n'y avait pas eu de détections tardives de Milans royaux dans le cylindre d'éloignement intérieur dans la mesure observée. Selon le fabricant, les performances de détection des vols en dessous de l'horizon devraient être significativement améliorées à l'avenir. En général, cependant, il existe déjà une efficacité d'arrêt élevée à l'heure actuelle, à condition que le bord inférieur du rotor soit à une hauteur suffisamment élevée.

En ce qui concerne l'**efficacité** du système, les taux de faux positifs déterminés varient entre 2 % et 16 %. Il est à noter que la programmation du réseau neuronal a tendance à favoriser un taux de faux positifs légèrement plus élevé, puisqu'en cas de doute l'objet en vol est davantage classé comme espèce ciblée que comme espèce non ciblée (voir chapitre 2.2). Cela conduit à une surpondération de l'erreur de faux positif dans le but de minimiser le taux de faux négatif pertinent pour la protection des espèces.

Une caractéristique essentielle d'IDF est qu'il peut être entraîné très spécifiquement pour le type de cible requis dans chaque cas, ce qui permet de limiter autant que possible le nombre absolu d'arrêts au minimum nécessaire. En définitive, l'efficacité d'un système anti-collision ne peut être évaluée qu'en faisant une comparaison parallèle avec d'autres systèmes anti-collision sur le même site afin de déterminer le nombre absolu de chaque arrêt déclenché. À cet égard, le taux de faux positifs à lui seul n'est pas une mesure suffisante de l'efficacité du système, car il dépend également de manière significative de la définition de l'objet cible (par exemple, Milan royal contre oiseau avec au moins 130 cm d'envergure).

Il en découle que l'efficacité d'IDF ne peut être décrite quantitativement à partir des données obtenues dans la présente étude. Cependant, on peut supposer qu'IDF est un système anti-collision global très efficace en raison de ses propriétés de système en combinaison avec les faibles taux de faux positifs déterminés.

6.1.6 Dimensionnement des cylindres d'éloignement

Comme décrit au chapitre 2.3, la génération de signaux d'arrêt par IDF à l'intérieur du cylindre d'éloignement extérieur (avec un rayon R_{max}) est basée sur la méthode de calcul du Time To

Collision. En cas de détection dans le cylindre d'éloignement intérieur (avec un rayon R_{min}), un arrêt a lieu dans tous les cas, indépendamment du temps avant collision. Le dimensionnement vertical du cylindre d'éloignement a jusqu'à présent été déterminé à partir du sol jusqu'à des hauteurs spécifiques pour le cylindre d'éloignement intérieur et extérieur.

Cependant, en déterminant les vitesses de vol horizontale et verticale des Milans royaux (chapitre 5.7), les dimensions des cylindres d'éloignement intérieur et extérieur peuvent être adaptées aux exigences spécifiques de la protection contre les Milans royaux, le dimensionnement vertical des cylindres d'éloignement, sous certaines conditions (voir exemple de calcul dans le tableau 17 et la figure 87), ne doit pas nécessairement être fixé depuis le sol (figure 86).

Pour la définition de l'extension verticale des cylindres d'éloignement, les désignations sont constituées de H pour la hauteur (height), U ou L pour la limite supérieure (upper) ou inférieure (lower) et min et max pour les cylindres d'éloignement intérieur et extérieur (figure 86).

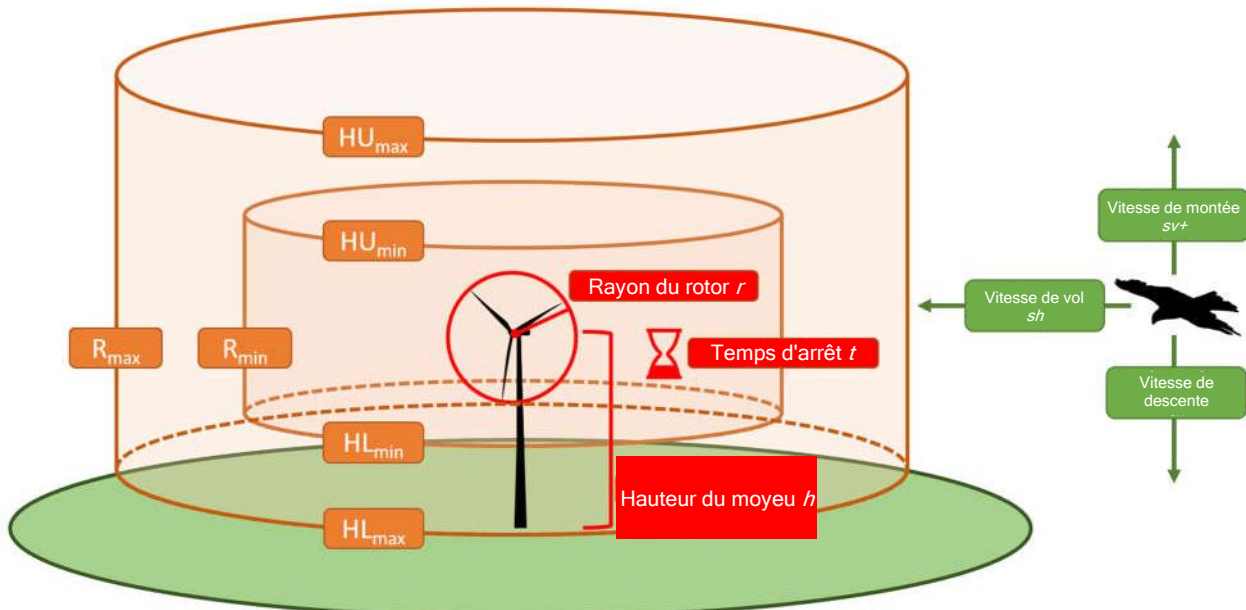


Figure 86 : Schéma de dimensionnement des cylindres d'éloignement intérieur et extérieur et des variables nécessaires au calcul.

Les formules de calcul ci-dessous permettent de déterminer les dimensions des cylindres d'éloignement selon la figure 86 en utilisant les vitesses de vol déterminées pour les Milans royaux et en tenant compte des caractéristiques de l'éolienne (hauteur du moyeu, diamètre du rotor et temps d'arrêt).

Pour la limitation latérale du cylindre d'éloignement intérieur R_{min} , la vitesse horizontale moyenne sh_{mean} est multipliée par la durée d'arrêt (jusqu'au mode rotation) de l'éolienne t et ajoutée au rayon du rotor r :

$$r + sh_{mean} * t = R_{min}$$

Pour la limitation latérale du cylindre espaceur extérieur R_{max} , la vitesse horizontale maximale sh_{max} est multipliée par la durée d'arrêt (jusqu'au mode rotation) de l'éolienne t et ajoutée au rayon du rotor r :

$$r + sh_{max} * t = R_{max}$$

Pour la limite inférieure du cylindre d'éloignement intérieur HL_{min} , la vitesse de montée verticale moyenne sv_{+mean} est multipliée par la durée d'arrêt (jusqu'au mode rotation) de l'éolienne t et soustraite au rayon du rotor r de la hauteur de moyeu h de l'éolienne :

$$h - r - sv_{+mean} * t = HL_{min}$$

Pour la limite supérieure du cylindre d'éloignement intérieur HU_{min} , la vitesse de descente verticale moyenne sv_{-mean} est multipliée par la durée d'arrêt (jusqu'au mode rotation) de l'éolienne t et additionnée au rayon du rotor r et à la hauteur de moyeu h de l'éolienne :

$$h + r + sv_{-mean} * t = HU_{min}$$

Pour la limite supérieure du cylindre d'éloignement extérieur HU_{max} , la vitesse de descente verticale maximale sv_{-max} est multipliée par la durée d'arrêt (jusqu'au mode rotation) de l'éolienne t et additionnée au rayon du rotor r et à la hauteur de moyeu h de l'éolienne :

$$h + r + sv_{-max} * t = HU_{max}$$

Pour la limite inférieure du cylindre d'éloignement intérieur HL_{max} , la vitesse de montée verticale moyenne sv_{+mean} est multipliée par la durée d'arrêt (jusqu'au mode rotation) de l'éolienne t et soustraite au rayon du rotor r et à la hauteur de moyeu h de l'éolienne :

$$h - r - sv_{+max} * t = HL_{max}$$

À l'aide de ces formules, les cylindres d'éloignement pour le site de Bütow sont calculés à titre d'exemple, où les éoliennes Enercon E101 avec une hauteur de moyeu de 149 m ont été construites, résultant en une hauteur de pointe de rotor inférieure de 98 m et une hauteur de pointe de rotor supérieure de 200 m au dessus du sol. Le temps d'arrêt est toujours supposé être de 30 s. Pour les vitesses, on suppose d'une part les médianes et d'autre part une couverture de 90 % des vitesses maximales, dans chaque cas pour les plages d'altitude concernées (tableau 17). En conséquence, le cylindre d'éloignement intérieur a un rayon de 306 m à une hauteur de 77 m - 236 m, le cylindre d'éloignement extérieur a un rayon de 426 m à une hauteur de 50 m - 293 m (figure 87).

Évaluation d'IdentiFlight

Le calcul ci-dessus des cylindres d'éloignement intérieur et extérieur, prenant en compte les vitesses de vol horizontale et verticale déterminées dans cette étude, montre que le dimensionnement précédent des cylindres d'éloignement (voir figure 6) doit être adapté pour le Milan royal. Les dimensions de l'application à Bütow (version 2) étaient : R_{\max} de 600 m et une hauteur de 400 m, ainsi qu'un R_{\min} de 291,5 m avec une hauteur de 200 m. Lors de la détermination de ces dimensions, comme dans l'exemple de calcul, un temps d'arrêt de 30 s est supposé.

En comparaison directe avec l'exemple de calcul, dans lequel 50 % (médiane) ou 90 % des vols ont été définis pour le cylindre d'éloignement intérieur ou extérieur, on peut voir que le R_{\min} de l'exemple de calcul est plus grand et le R_{\max} plus petit que précédemment appliqué. L'expansion verticale montre que le cylindre d'éloignement intérieur doit dépasser de la hauteur totale de l'éolienne. Cependant, en raison du faible taux de montée par rapport à la vitesse de vol horizontale, il suffit que le cylindre d'éloignement intérieur ne commence qu'à une hauteur de 77 m, en fonction de la base du mât. Pour la hauteur du cylindre d'éloignement extérieur, en supposant que 90 % de tous les vols sont couverts, la hauteur est réduite de 400 m à 293 m, une limite inférieure de 50 m au-dessus de la base du mât étant suffisante.

On constate ainsi que le dimensionnement des cylindres d'éloignement est influencé par les facteurs suivants :

- la vitesse d'arrêt de l'éolienne, qui peut être déterminée en fonction du type,
- les dimensions de l'éolienne (hauteur du moyeu et rayon du rotor),
- la part des vitesses à couvrir par les cylindres d'éloignement (par exemple, moitié ou 90 %).

6.2 Performances générales du système

L'efficacité globale du système IDF est pertinente en termes de loi sur la protection des espèces, comprise comme le niveau de protection atteint en ce qui concerne l'ensemble des événements de vol des espèces ciblées respectives qui doivent être considérés comme pertinents pour les collisions en fonction de la distance et de la vitesse de vol. Ce niveau de protection résulte de la combinaison :

- de la couverture spatiale et temporelle (CS et CT),
- du taux de détection (TD),
- du taux de classification (TC),
- du taux d'arrêt opportun (TAO).

Ces critères sont examinés en résumé ci-dessous et agrégés en ce qui concerne la quantification du niveau de protection réalisable avec IDF, où, en plus des considérations des chapitres 6.1.1 à 6.1.5, les facteurs de vitesse et d'altitude de vol sont également pris en compte.

La base pour cela est le modèle développé au chapitre 6.1.6 pour le dimensionnement des deux cylindres de protection.

La combinaison arithmétique des facteurs ci-dessus résulte mathématiquement de la multiplication des valeurs de pourcentage respectives :

$$CS * CT * TD * TC * TAO = \text{efficacité globale}$$

En vue d'une meilleure tolérance aux erreurs et de la transférabilité des résultats à différents sites et types d'éoliennes, aucune valeur individuelle fixe n'est utilisée ci-dessous pour les facteurs mentionnés, mais des plages qui résultent des données disponibles.

Couverture spatiale

Une couverture spatiale complète du rayon d'observation d'un système IDF ne peut pas être réalisée, car la présence d'éléments qui font obstacle au champ de vision doit toujours être prise en compte. Cependant, la relation entre la zone d'occultation et l'altitude de vol pertinente pour la collision doit être prise en compte. Les événements de vol non détectés au-dessous de la ligne d'horizon ainsi que dans les ombres visuelles ne jouent aucun rôle tant qu'ils restent bien en dessous de la HL_{\max} (voir figure 86), car, étant donné la très faible vitesse de montée, un risque de collision à basse altitude est exclu. L'exigence d'une couverture spatiale complète ne concerne donc qu'une zone de hauteur bien supérieure à la hauteur des arbres et doit donc toujours pouvoir être respectée malgré une éventuelle ombre visuelle. Seules les éoliennes existantes sont des obstacles très étroits. Dans le cas contraire, une attention particulière ne devrait être portée qu'au positionnement d'IDF par rapport à d'éventuelles ombres visuelles uniquement sur un terrain soumis à un mouvement topographique important.

Sur cette base, il est également supposé que le facteur de couverture spatiale n'a aucune influence, ou a du moins une influence négligeable, sur l'efficacité globale (RA = 97-99 %).

Couverture temporelle

En principe, il faut toujours s'attendre à certains temps d'arrêt, par exemple en raison de défaillances techniques ou de travaux de maintenance nécessaires. Lorsque les six sites d'étude sont combinés, cela se traduit par une disponibilité de 93 % après déduction des temps d'arrêt. Cependant, certains sites obtiennent également des valeurs nettement meilleures, en particulier celles à partir de 2020 (Geislingen 100 %, Bütow 97 %, voir tableau 3). Cependant, il peut y avoir des pannes occasionnelles pendant de plus longues périodes d'utilisation sur toute la période de reproduction, de sorte qu'une disponibilité d'IDF de 95 à 99 % est supposée dans ce qui suit.

Taux de détection

Un taux de détection de 92 % a été atteint lorsque les données des sites d'étude évaluables ont été combinées. Trois des six sites d'étude ont même atteint un taux de détection d'au moins 95 %. En particulier, les données GPS étendues de Geislingen peuvent être considérées comme un échantillon de référence particulièrement approprié en ce qui concerne la précision de la localisation, alors que des écarts plus importants entre IDF et la référence sont apparus en ce qui concerne les données LRF (voir chapitre 5.2.2 et tableau 9). Cependant, les données des drones montrent également un degré élevé de correspondance entre IDF et le GPS (voir chapitre 5.2.1). De plus, lors de la programmation du cylindre d'éloignement selon la figure 86, seuls les vols à partir d'une certaine altitude doivent être détectés.

À cet égard, il a été démontré que la détection et l'arrêt opportun sont plus efficaces pour les vols plus élevés que pour les vols plus bas (figure 71). À cet égard, on suppose en outre qu'un taux de détection de 93 à 96 % peut être appliqué.

Taux de classification

Compte tenu de l'amélioration significative obtenue par la version 2 du réseau neuronal (voir tableau 10), une classification correcte en tant que Milan royal (y compris le Milan noir) est supposée dans 96 à 98 % des cas. Les valeurs atteintes avec la version 1 (79-85 %) ne sont plus incluses.

Taux d'arrêts programmés

Le tableau 12 a montré que le taux d'arrêt en temps voulu dépend dans une large mesure de la hauteur du bord inférieur du rotor (au moins 21 m pour tenir compte des montées) et de l'activité de vol locale à basse altitude. Pour la présente observation, une éolienne moderne avec une hauteur de bord inférieur du rotor de 96 m est supposée (selon les données sur les altitudes de vol jusqu'à 75 m dans le tableau 12). Il en résulte une fourchette de 77 à 91 % pour le taux d'arrêts opportuns sur tous les sites pris en compte dans cette étude. Au chapitre 6.1.5, pour une éolienne spécifique à Bütow, une valeur d'environ 88 % a été déterminée. Cette valeur résulte d'une part du fait qu'une plus grande partie des arrêts qui ont eu lieu ne se sont produits qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur et pas déjà à son bord et d'autre part de la prise en compte des altitudes de vol dans le cylindre d'éloignement intérieur et le taux de montée déterminé. Pour l'éolienne prise en exemple à un endroit où l'activité du Milan royal est très élevée, il a été constaté qu'en réalité seulement environ 12 % des vols à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur pour lesquels l'arrêt a été retardé ont été exposés à un risque potentiel de collision. Il s'agit des Milans royaux qui ont volé à la hauteur du rotor ou qui auraient pu voler avant que le rotor n'ait atteint le mode de rotation final. Il faut cependant tenir compte du fait qu'après la génération du signal d'arrêt, il y a déjà une réduction significative de la vitesse du rotor et donc du risque de collision après un court laps de temps. Dans l'exemple illustré à la figure 88, la réaction d'une éolienne à un signal d'arrêt réduit de moitié la vitesse du rotor après environ 12 s.

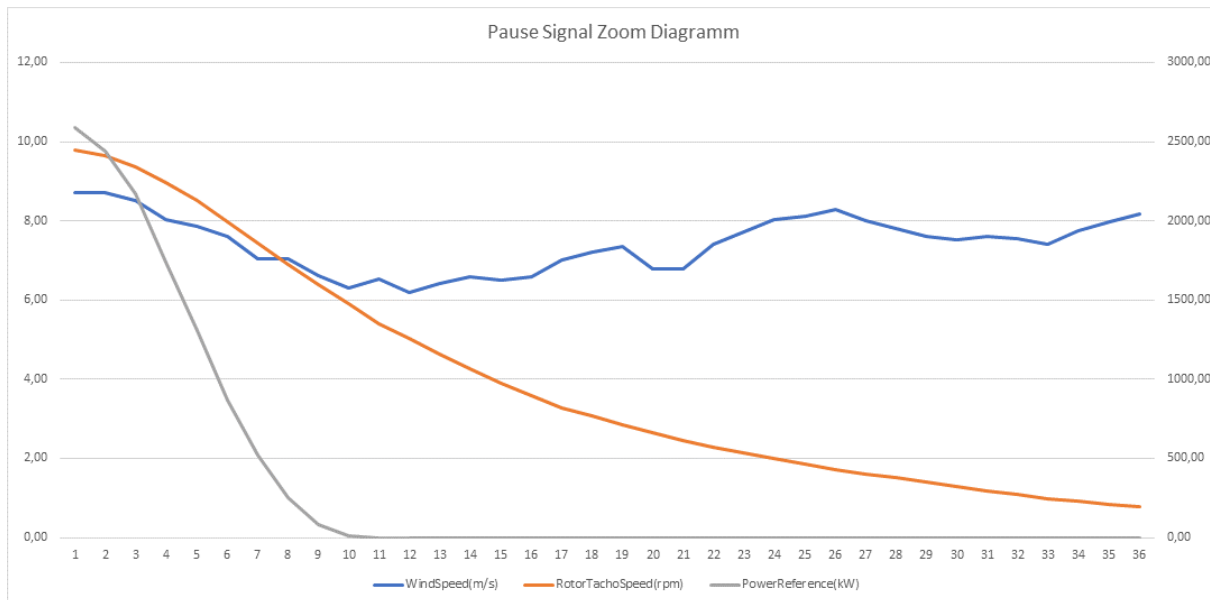


Figure 88 : Réaction d'une éolienne Vestas de la classe 4 MW à un signal d'arrêt

Axe des abscisses : temps en secondes après le signal d'arrêt ; axe des ordonnées de gauche : nombre de tours du rotor par minute, axe des ordonnées de droite : puissance en kilowatts ; source : Vestas, fourni par e3

Rendement global

Le calcul suivant résulte des valeurs précédemment déterminées pour les performances globales du système :

$$0,97 - 0,99 (CS) * 0,95 - 0,99 (CT) * 0,93 - 0,96 (TD) * 0,96 - 0,98 (TC) * 0,77 - 0,91 (TAO) = 0,63 - 0,84$$

Selon les données disponibles, le niveau de protection global IDF pour le Milan royal pour une éolienne fictive avec une hauteur de bord de rotor inférieure de 96 m se situe dans une plage de 63 à 84 % dans la plage de détection d'environ 750 m.

Si le même calcul est effectué pour une éolienne avec une hauteur de bord de rotor inférieure de 71 m, le résultat est une plage TAO de 67-87 % (selon les données sur les hauteurs de vol jusqu'à 50 m, tableau 12) et un niveau de protection global de 55-81 %.

Ces valeurs peuvent être comparées en détail avec les exigences qui ont été développées par le KNE 2020 dans une série d'ateliers sur les systèmes de surveillance technique et d'arrêt des éoliennes et publiées en 2021 (figure 89). Ceci montre que, selon les résultats disponibles, IdentiFlight satisfait voire dépasse ces exigences, notamment en ce qui concerne la plage de détection ainsi que le taux de détection et de classification (tableau 18). En conséquence, le 08/04/2021, IDF a été déclaré « prêt à l'entraînement » dans un communiqué de presse du KNE.¹²

¹² <https://www.naturschutz-energiewende.de/kompetenzzentrum/presse/pressemitteilungen/erstes-kamerasystem-zur-vermeidung-von-vogelkollisionen-an-wind-energieanlagen-reif-fuer-die-praxis/>, version du 20/09/2021



Figure 89 : Liste de contrôle concernant les performances des systèmes techniques anti-collision (KNE 2021)

Tableau 18 : Comparaison des exigences du Centre de compétences pour la protection de la nature et la transition énergétique (KNE) et des valeurs de performance obtenues par IDF

Critère de test	KNE	IDF
Couverture spatiale	>80 %	97-99 %
Couverture temporelle	>95 %	95-99 %
Portée de détection	> 500 m	750 m
Taux de détection	> 75 %	93-96 %
Taux de classification	> 75 %	96-98 %
Taux d'arrêts opportuns	N/A	77-91 %

Il convient également de noter que l'ordre de grandeur des exigences de protection des espèces pour le niveau de protection (environ 75 %) développé au chapitre 6.3.2 est également atteint par IdentiFlight. Cependant, il est évident que, en fonction des facteurs pertinents dans chaque cas (hauteur du rotor et activité de vol à basse altitude), une proportion non négligeable de vols de Milans royaux reste sans protection à 100 % d'un arrêt opportun lié à un événement. Cette valeur est principalement due au fait que dans la présente étude, une plus grande partie des événements d'arrêts induits par les vols de Milans royaux n'ont eu lieu qu'à l'intérieur du cylindre d'éloignement intérieur, c'est-à-dire à une distance horizontale inférieure à ce qui serait requis selon la vitesse moyenne pour une durée d'arrêt de 30 s. Cependant, le dimensionnement correspondant du cylindre d'éloignement intérieur est basé sur la pire hypothèse de cas selon laquelle tous les vols à

partir de cette distance se déroulent en ligne droite avec cette vitesse vers le rotor. Cependant, cela ne correspond en rien à la réalité. Un cylindre d'éloignement intérieur d'un rayon de 306 m (voir figure 87) couvre une surface d'environ 29 ha, à l'intérieur desquels on ne peut supposer une trajectoire de vol en forme d'étoile vers le centre, mais une répartition fondamentalement uniforme des directions et des parcours. En effet, au voisinage du rotor, on peut supposer une utilisation moins fréquente du centre par rapport à une distribution aléatoire. La raison en est le comportement naturel d'évitement des animaux, qui partent à la recherche de nourriture dans les parcs éoliens, mais perçoivent le rotor en rotation comme un obstacle et adaptent leur comportement de vol à celui-ci sur une petite zone (ce que l'on appelle le micro-évitement).¹³

Ainsi, dans le projet PROGRESS, sur la base des victimes de collisions au cours de 55 saisons de parcs éoliens de 12 semaines chacune (46 parcs éoliens différents, dont certains ont été étudiés plusieurs fois), il a été constaté que les collisions sont des événements très rares en termes absolus (GRÜNKORN *et al.* 2016). Ce n'est qu'avec une considération relative sur la base de la taille de la population que le Milan royal, par rapport à d'autres espèces d'oiseaux, est particulièrement affecté par les collisions avec les éoliennes (SPRÖTGE *et al.* 2018).

À cet égard, il convient de souligner en ce qui concerne le niveau de protection déterminé par IDF que

- les vols à l'intérieur de R_{min} avec le rotor toujours en marche ne conduisent pas nécessairement à des collisions,
- les arrêts retardés conduisent également à une protection, car les Milans royaux en quête de nourriture ne volent que rarement en ligne droite vers le rotor et une réduction significative de la vitesse du rotor se produit quelques secondes seulement après le signal d'arrêt,
- l'hypothèse d'une montée constante d'oiseaux qui volent bas dans le cylindre d'éloignement intérieur pendant plus de 30 s n'est qu'un des cas les plus rares.

Afin d'obtenir une probabilité d'efficacité suffisante dans chaque cas particulier, diverses mesures de protection peuvent également être combinées entre elles (UMK 2020). À cet effet, en plus de l'utilisation d'IDF, le bord inférieur du rotor doit être aussi haut que possible (au moins 80 m min.) et surtout être placé à une distance minimale suffisante du nid d'aigle. Un point de référence pour cela est la dérivation de l'extension du cylindre d'éloignement extérieur (voir figure 86 et figure 87), qui donne un ordre de grandeur d'environ 450-500 m pour les grandes éoliennes avec un rayon de rotor d'environ 60-100 m. La distance du cylindre d'éloignement extérieur à l'éolienne est également calculée. Le principe doit être que le nid doit toujours se situer à l'extérieur du cylindre d'éloignement extérieur, afin que les nombreux vols à proximité du site de reproduction n'aient pas besoin d'être détectés ou protégés par des arrêts.

¹³ Voir également les données de Sprötge & Reichenbach (2020) : Signifikant erhöhtes Tötungsrisiko - Aspekte der Bewertung des einzelfallbezogenen Kollisionsrisikos. (Risque de décès significativement accru - Aspects de l'évaluation du risque de collision lié à chaque cas). Conférence table ronde Mesures d'évitement des éoliennes ; https://www.fachagentur-windenergie.de/fileaRmin/files/Veranstaltungen/Runder_Tisch_Vermeidungsmassnahmen/6_Runder_Tisch_05-02-2020/Signifikant_erhoehtes_Toetungsrisiko_Reichenbach-Sproetge_2020-02-05.pdf, version du 05/03/2020

Il convient toutefois de souligner que dans les cas où l'activité de vol du Milan royal est très élevée sur le site spécifique des éoliennes, les performances d'IDF sont limitées, car pour des raisons techniques, il n'est pas possible pour un seul système IDF de suivre plusieurs oiseaux simultanément pendant un certain temps. Le suivi précis par la caméra stéréo ne peut être effectué que pour un seul Milan royal, et la caméra peut passer d'un Milan royal à l'autre en peu de temps (voir figure 53). Toutefois, si la présence simultanée et prolongée de plusieurs spécimens entraîne de toute façon un arrêt plus ou moins permanent par IDF, le suivi détaillé et permanent de tous les vols individuels n'est pas nécessaire pour assurer la protection requise. Il est possible d'améliorer ce résultat en utilisant plusieurs systèmes IDF couplés ensemble. Cependant, ce cas de figure n'a pas encore pu être analysé dans la présente étude.

6.3 Exigences de la loi sur la protection des espèces

6.3.1 Jurisprudence

Du point de vue de la protection des espèces, la condition de l'efficacité des IDF est de réduire le risque de mort par collision avec les éoliennes pour les espèces d'oiseaux respectives à un point tel qu'il ne constitue plus une interdiction au sens de l'art. 44, al. 1, n° 1 de la loi sur la protection de la nature. C'est le cas si, en vertu de l'art. 44, al. 5 n° 1 de la loi de la protection de la nature, le risque de mort et de blessure n'est plus significativement augmenté par le projet pour les spécimens de l'espèce concernée.

Il s'ensuit tout d'abord que la nécessité d'utiliser IDF, ainsi que d'autres mesures de protection potentielles, n'est indiquée que si le risque de mort et de blessure est considérablement accru autrement. Il est donc nécessaire de déterminer au préalable dans chaque cas individuel si tel est effectivement le cas.

Par ailleurs, la question du niveau ou de la définition du seuil d'importance se pose inévitablement. Sans cette connaissance, aucune base n'est disponible pour évaluer l'effet protecteur qu'IDF doit développer afin que le risque soit réduit en dessous du seuil d'importance.

Le terme « importance » est un terme juridique indéfini qui nécessite une interprétation juridique (SPRÖTGE *et al.* 2018). À cet égard, il ressort de la jurisprudence du Tribunal administratif fédéral qu'il doit y avoir une augmentation « significative » du risque de mort dans tous les cas. Il ne suffit donc pas que des spécimens d'une espèce soient blessés par des collisions (arrêt du *Tribunal administratif fédéral* du 09/07/2009 - 4 C 12/07 - n° marginal 42). Cela s'applique à la fois aux espèces de chauves-souris et aux espèces d'oiseaux (arrêt du *Tribunal administratif fédéral* du 12/08/2009 - 9 A 64/07 - n° marginal 60). S'il ne s'agit que de la perte de spécimens, le seuil du « risque vie général » n'est pas dépassé (arrêt du *Tribunal administratif fédéral* du 12/08/2009 - 9

A 64/07 - n° marginal 63). Il doit donc y avoir des spécimens de l'espèce en question dans la zone d'intervention dans le cadre du « champ d'application pertinent concernant la loi sur la protection des espèces » (*loi relative à la protection de la nature*, arrêt du 9/07/2009 - 4 C 12/07 - n° marginal 46), où l'on peut se demander ce que l'on entend par « champ d'application pertinent concernant la loi sur la protection des espèces » (SPRÖTGE *et al.* 2018).

La dernière jurisprudence du Tribunal administratif fédéral a clairement affiné les contours du concept d'importance (BVerwG 9 A 8.17 du 27 novembre 2018, n° marginal 98) :

Selon la jurisprudence constante du Sénat, le délit d'interdiction d'abattage (art. 44 al. 1 n° 1 de la loi de protection de la nature) en ce qui concerne le risque de collision d'animaux protégés avec des véhicules à moteur, qui ne peut jamais être totalement exclu dans un projet de construction, ne sont remplis que si le projet augmente ce risque de manière significative pour l'espèce animale concernée. Le critère d'importance, qui doit être rempli sur la base d'une considération évaluative, tient compte du fait qu'il existe déjà, indépendamment du projet, un risque général de mise à mort des animaux, qui ne résulte pas seulement d'événements naturels généraux, mais qui peut aussi être socialement adéquat et qui doit donc être accepté s'il est causé par l'homme, mais ne touche que des spécimens. Cela découle de l'observation que les habitats des espèces animales menacées ne sont pas une nature vierge, mais des zones naturelles façonnées par les humains, qui présentent un risque fondamental spécifique en raison de leur utilisation par les humains, qui n'est pas seulement associé à la construction de nouvelles voies de transport, mais aussi, par exemple, à la construction d'éoliennes ou de lignes électriques à haute tension. Par conséquent, il ne peut être ignoré que les voies de circulation appartiennent à l'équipement de l'habitat naturel des animaux et donc des circonstances particulières doivent survenir pour qu'un danger important d'une nouvelle voie de circulation puisse être évoqué (arrêts du Tribunal administratif fédéral du 9 juillet 2008 - 9 A 14.07 - arrêts 131, 274 n° marginal 91 et du

28 avril 2016 - 9 A 9.15 – arrêt du Tribunal administratif 155, 91 n° marginal 141). Champ d'application pertinent pour l'appréciation de l'importance du comportement spécifique de l'espèce, l'utilisation fréquente de l'espace interstitiel et l'efficacité des mesures de protection prévues, ainsi que d'autres critères liés à la biologie de l'espèce. L'approche de l'importance s'applique non seulement au risque opérationnel de collisions avec le tracé, mais également aux risques liés à la construction et à l'éolienne (arrêt du Tribunal administratif fédéral du 8 mars 2018 - 9 B 25.17- UPR 2018,382 n° marginal 11). Les autres sénats du Tribunal administratif fédéral traitant du droit de l'urbanisme ont suivi cette jurisprudence (arrêts du 9 février 2017 - 7 A 2.15 - arrêt du Tribunal administratif fédéral 158, 1 n° marginal 466, du 6 avril 2017 - 4 A 16.16 - NVwZ-RR 2017,768 n° marginal 73 et du 9 novembre 2017 - 3 A 4.15 - arrêt du Tribunal administratif fédéral

160, 263 n° marginal 58, 62 et 67).

À partir notamment de l'arrêt du Tribunal administratif fédéral du 28 avril 2016 - 9 A 9.15 - n° marginal. 141 les principes suivants peuvent être déduits (voir SPRÖTGE *et al.* 2018) :

- Les mesures de protection doivent seulement avoir pour effet de réduire le risque de mort en dessous du « seuil d'importance ». Un risque zéro n'est pas requis (également UMK 2020).

- Le fait que des spécimens d'une espèce puissent être blessés par des collisions n'est pas suffisant pour que le critère d'importance soit rempli.
- Le risque lié au projet doit rester inférieur au seuil de risque qui est toujours associé à un tel projet en milieu naturel si le critère d'importance n'est pas rempli.
- La valeur de référence est le risque de base spécifique dans un environnement conçu par l'homme. Le risque du nouveau projet doit donc clairement dépasser le risque de base spécifique auquel les animaux sont habituellement exposés par les éoliennes.
- Cela se traduit par des circonstances particulières qui distinguent clairement le nouveau projet des autres projets d'énergie éolienne en tant qu'élément normal de la zone naturelle.
- Le facteur essentiel est que la densité d'activité des animaux menacés par le projet sur le site du projet soit augmentée en conséquence. Celle-ci doit être nettement supérieure à l'utilisation normale de l'espace naturel par les espèces animales concernées.
- À cet égard, tout dépassement, même léger, du risque de base spécifique ne représente pas une augmentation significative du risque de mort. Au contraire, le risque de base spécifique doit être clairement dépassé.
- S'il n'y a pas de circonstances particulières d'un poids correspondant, des mesures de protection ne sont pas requises en vertu de la loi sur la protection des espèces.

De plus, SPRÖTGE *et al.* (2018) sur la base d'une évaluation complète de la jurisprudence en matière de protection des espèces :

- L'évaluation du risque de mort doit reposer sur une base factuelle suffisamment fiable et tenir compte de l'état actuel des connaissances écologiques.
- L'augmentation du risque de mort doit être significative et attendue avec un degré de probabilité suffisant. La simple possibilité qu'elle se produise n'est donc pas suffisante. La détermination que la perte de spécimens ne peut généralement pas être exclue ne justifie pas un risque de mort significativement accru.
- Le fait de passer en dessous de la distance minimale ou du rayon de test 1 des directives respectives des Länder justifie le soupçon initial d'un risque de mort significativement augmenté (également UMK 2020). Il ne s'agit toutefois pas d'une zone taboue, c'est-à-dire que le fait de ne pas respecter la distance minimale ou le rayon de test 1 ne signifie pas nécessairement que l'autorisation ne peut être accordée.

L'évaluation de la jurisprudence précise ainsi, entre autres, qu'IDF n'a pas à développer un effet protecteur à 100 % afin de s'assurer que le risque de mort n'est plus significativement augmenté. D'autre part, la question se pose de savoir quel doit être le degré d'efficacité d'un tel système à cet effet.

AMMERMANN *et al.* (2020) partent du principe que les systèmes techniques d'arrêt en fonction de l'événement et de la demande, dès lors qu'ils sont techniquement mûrs et que leur performance a été prouvée par des tests, sont adaptés pour minimiser les conflits dans le cadre du droit de la protection des espèces. Cependant, d'autres exigences pour les critères d'évaluation de la performance ne sont pas mentionnées. Il est seulement fait référence à la nécessité de déterminer quelles incertitudes sont tolérables dans le cadre de l'évaluation de l'importance. SPRÖTGE *et al.* (2018) soulignent la spécificité de l'espèce des circonstances particulières requises par la jurisprudence comme condition préalable à l'existence d'un risque de mise à mort significativement accru.

Cependant, l'étude d'efficacité actuelle d'IDF ne concerne que le Milan royal. À cet égard, les exigences relatives au niveau de protection à atteindre pour rester en dessous du seuil d'importance sont discutées ci-dessous uniquement concernant le Milan royal. Les exigences peuvent différer pour d'autres espèces.

Les aspects juridiques de l'octroi de licences lors de l'utilisation de systèmes de détection sont également abordés par WEISS (2019) :¹⁴

« La norme de la mesure de protection doit être que, d'une part, aucun risque zéro et donc aucune certitude à 100 % d'éviter les collisions ne sont exigés par la mesure de protection. En revanche, un pronostic positif sur l'efficacité de la mesure de protection est nécessaire. Si l'on essaie de se rapprocher de cette norme, la question peut se poser : quelle probabilité de séjour est généralement tolérée sans supposer une augmentation significative du risque de mort ? Ou sur la base de la jurisprudence du Tribunal administratif fédéral, quand une espèce se déplace-t-elle encore dans un espace naturel créé par les humains ? Tant les documents techniques des différents Länder (par exemple également sur les analyses de l'utilisation de l'espace) que le document dit d'Helgoland émettent des hypothèses quant au moment où aucune zone de protection et de restriction n'est concernée, la probabilité de rester en dehors de l'espace vital que l'on appelle le homerange ou des couloirs de vol régulièrement utilisés étant tolérée. Dans la mesure où un système de détection avec régulation du fonctionnement selon la demande garantit qu'un arrêt se produit dans la même mesure que la probabilité de rester dans l'espace vital ou dans les couloirs de vol régulièrement utilisés, cela simule une zone naturelle artificielle ou un endroit situé en dehors de la zone de protection et de restriction, indépendamment de l'endroit où se trouve l'éolienne dotée de cette mesure de protection. Cela pourrait représenter une approximation de la valeur seuil à développer. »

Cette norme garantissant un niveau de protection auquel le risque résiduel restant correspond à la probabilité de rester en dehors des zones de protection et de restriction est détaillée ci-dessous d'un point de vue technique.

¹⁴ https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Dokumentation_zur_KNE-Fachkonferenz_Vogelschutz_an_Windenergieanlagen.pdf, version du 25/11/2020

6.3.2 Exigences professionnelles

Sur la base de l'hypothèse plausible selon laquelle le risque de collision dépend de l'ampleur de l'activité de vol, qui est également la base de la dérivation des recommandations d'éloignement du GAL VSW (2015), il résulte de ce qui précède qu'un certain niveau faible d'activité de vol de Milan royal sur le site d'un parc éolien n'implique pas encore une augmentation significative du risque de mise à mort, c'est-à-dire qu'il n'indique pas encore de circonstances particulières qui iraient au-delà du risque de base spécifique. Les performances du système doivent donc être jugées sur la question de savoir si son efficacité est si bonne que seule une très petite quantité d'activité de vol reste sans protection. Ce faible niveau est basé sur la probabilité de se trouver en dehors des zones protégées et restreintes.

Afin de déduire le niveau de protection nécessaire d'IDF à l'égard du Milan royal, diverses lignes directrices et recommandations d'action sont évaluées ci-dessous, qui fournissent des informations correspondantes en pourcentage sur l'activité de vol ou la probabilité de résidence. Il s'agit de directives des Länder de Rhénanie-Palatinat, de Thuringe et de Hesse ainsi que des recommandations du groupe national de travail pour les centres de protection des oiseaux.

Rhénanie-Palatinat :

Selon le guide du Milan royal de Rhénanie-Palatinat (ISSELBÄCHER *et al.* 2018), une analyse de l'utilisation spatiale liée aux couples reproducteurs doit être développée en fonction de l'emplacement du parc éolien prévu par rapport à des zones tests spécifiées. L'objectif est de déterminer quantitativement les taux de résidence dans la zone de danger des sites prévus pour les éoliennes par rapport au reste de la zone d'action.

Dans l'évaluation de la protection des espèces, les zones ou les cellules de la grille dans une fréquence d'utilisation inférieure à 20 % de l'activité de vol déterminée dans les observations normalisées d'utilisation de l'espace sont considérées comme peu conflictuelles (activité faible et inférieure à la moyenne du Milan royal). Les zones présentant une augmentation de la présence de Milans royaux dans la zone d'action utilisée pendant la période de reproduction sont délimitées des zones de faible activité au moyen d'une valeur seuil décrivant l'utilisation de 70 % de l'espace. Pour la zone d'utilisation de l'espace à 70-80 %, une réflexion au cas par cas est nécessaire, incluant des mesures d'évitement.

Ainsi, en Rhénanie-Palatinat, les zones dont la fréquence d'utilisation est < 20 % (ou < 30 % lors de l'utilisation de mesures préventives) l'exigence d'interdiction selon l'art. 44 al. 1 n° 1 BNatSchG n'est pas remplie, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'augmentation significative du risque de mort.

Ceci est apparemment basé sur l'hypothèse que le maintien > 80 % (ou > 70 % dans le cas de mesures d'évitement) de l'activité de vol des Milans royaux libres dans leur zone d'action en période de reproduction est suffisant pour assurer une protection suffisante au titre de la législation sur la protection des espèces conformément à la jurisprudence (pas besoin de risque zéro, pas d'existence de circonstances particulières en cas de faible activité de vol).

Cependant, cette réglementation est complétée par l'exigence de maintenir libre une zone de 500 m autour du site de reproduction, car un niveau élevé d'activité de vol est ici concentré dans une petite zone. Une telle proposition peut être trouvée de manière similaire dans SPRÖTGE *et al.* (2018) et est également prévue dans les directives en vigueur dans le Bade-Wurtemberg et la Hesse, par exemple.

Thuringe :

La contribution du spécialiste avifaunistique de Thuringe¹⁵ prévoit une formation de valeur seuil dans laquelle 75 % de l'activité de vol totale est utilisée dans chaque cas. Pour les zones qui se situent dans cette fourchette de 75 %, une quantité d'activité de vol supérieure à la moyenne est supposée, ce qui entraîne un risque de mort considérablement accru. L'analyse de grille prévue de la cartographie de l'utilisation de l'espace spécifique au site assimile 75 % de l'activité de vol des Milans royaux détectés dans la zone d'étude à une augmentation significative du risque de mort.

Hesse :

Le règlement administratif actuel¹⁶ prévoit qu'un risque significativement accru de mort des espèces d'oiseaux nicheurs sensibles aux collisions dans les zones prioritaires pour les éoliennes n'est généralement pas donné si le projet est situé dans une zone où l'activité de vol autour du site de nidification est inférieure à 25 % (Balbuzard pêcheur), 40 % (Milan royal) ou 50 % (toutes les autres espèces d'oiseaux sensibles aux collisions).

Groupe national de travail pour les centres de protection des oiseaux :

Les recommandations pour les distances minimales du document dit « Helgoland » « ...représentent la zone autour de l'emplacement du nid dans laquelle la majorité des activités ont lieu pendant la période de reproduction (plus de 50 % des activités de vol) » (LAG VSW 2015, p. 19). Dans le cas du Milan royal, cette valeur a été augmentée à 60 %. « L'utilisation des distances recommandées dans le processus d'approbation permet généralement d'éviter les conflits en vertu de la loi sur la protection des espèces » (ibid. p. 17).

Dans les recommandations pour les études et évaluations avifaunistiques (LAG VSW 2020), il est indiqué que dans l'évaluation des observations d'utilisation de l'espace, la zone qui comprend 75 % des vols observés est caractérisée par une « activité de vol significativement augmentée ».

Les recommandations d'éloignement du GAL VSW (2015) ainsi que les différentes directives des Länder ne prennent toujours en compte que la répartition bidimensionnelle de l'activité du Milan royal, mais pas sa répartition en hauteur. En ce qui concerne la conception du règlement administratif actuel de la Hesse, est également incluse la zone sans rotor au-dessus du sol dans le règlement sur les heures de fonctionnement afin de réduire le risque de mort

¹⁵

https://tlubn.thueringen.de/fileaRmin/00_tlubn/Naturschutz/Dokumente/1_zool._artenschutz/2017_Fachbeitrag_WEA_17.pdf, version du 25/11/2020

¹⁶ [https://www.staatsanzeiger-hessen.de/dokument/?user_nvurlapi_pi1\[pdf\]=StAnz-Hessen-Ausgabe-2021-01.pdf#page=13](https://www.staatsanzeiger-hessen.de/dokument/?user_nvurlapi_pi1[pdf]=StAnz-Hessen-Ausgabe-2021-01.pdf#page=13), version du 21/03/2021

Ceci est basé sur des données de télémétrie plus récentes de Milans royaux en Hesse utilisant des types d'émetteurs qui permettent une résolution très précise de l'altitude de vol (HEUCK *et al.* 2019). Celles-ci montrent que 81 % des points de localisation enregistrés en vol avaient une altitude inférieure à 100 m, 72 % une altitude inférieure à 75 m (figure 90). Il s'ensuit que dans le cas des éoliennes modernes avec une hauteur du bord inférieur du rotor d'environ 80-90 m, environ 3/4 de l'activité de vol reste en dessous d'une hauteur propice aux collisions.

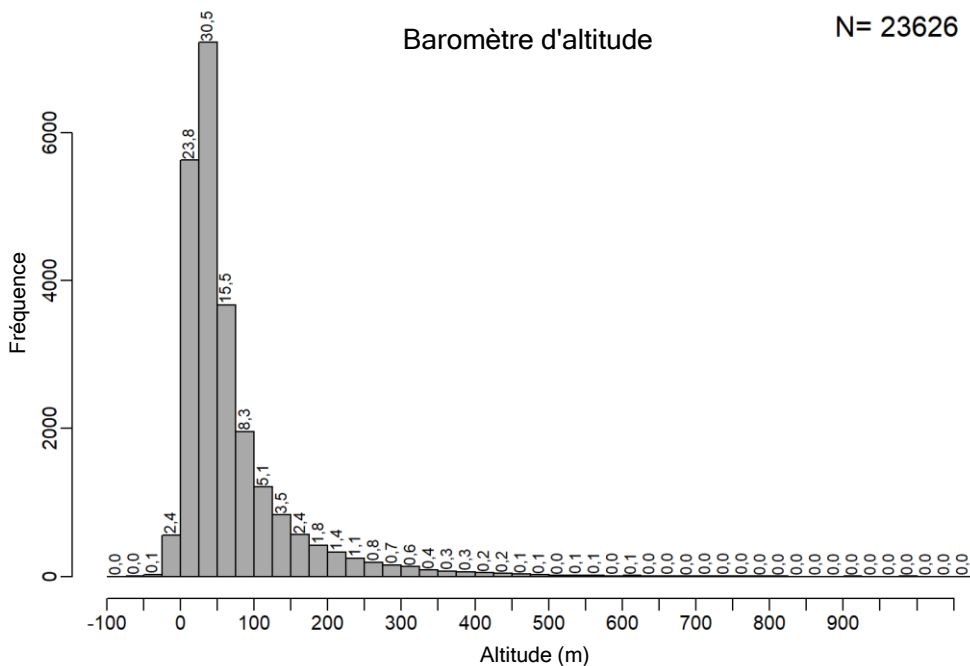


Figure 90 : Histogramme des altitudes de vol en classes de 25 avec indication du pourcentage respectif de fréquence (données de cinq Milans royaux transmis, uniquement des points de localisation en vol). Selon Heuck et al. (2019)

6.3.3 Exigences résultantes pour les performances des systèmes anti-collision

Sur la base de cette évaluation des recommandations existantes et des conditions-cadres de la loi sur la protection des espèces (voir chapitre 6.3.1), un niveau > 75 % est déduit comme exigence pour l'effet protecteur global d'un système de caméra tout en gardant un rayon d'environ 500 m autour du nid. Une telle distance minimale est tout à fait logique pour l'utilisation d'un système de caméras, car sinon, tous les mouvements de vol directement au niveau du nid entraîneraient la génération de signaux d'arrêt, ce qui se traduirait par un nombre très élevé d'arrêts. D'autre part, cela tient compte du fait que dans les zones où l'activité de vol est particulièrement élevée (comme à proximité des sites de nidification), même une activité de vol de 25 %, en termes absolus, correspond à un nombre élevé de vols qui seraient encore soumis à un risque de collision. Une dérivation liée à IDF de cette distance minimale basée sur le dimensionnement du cylindre d'éloignement extérieur est fournie dans le chapitre 6.2 en relation avec le chapitre 6.1.6.

6.4 Évaluation de l'efficacité d'IdentiFlight

Les résultats du chapitre 6.2 ont montré qu'IDF est tout à fait capable d'atteindre ou de dépasser significativement le niveau de protection applicable de 75 %, notamment en tenant compte de l'altitude de vol par rapport à la hauteur du bord inférieur du rotor.

On peut ainsi affirmer qu'IDF peut réduire le risque de mort des Milans royaux par des collisions avec des éoliennes en dessous du seuil d'importance conformément aux exigences légales et techniques. L'utilisation de ce système pour protéger le Milan royal des collisions avec les éoliennes est particulièrement adaptée si une certaine distance minimale du site de reproduction est maintenue (voir chap. 6.3.3), le bord inférieur du rotor a une hauteur suffisante, le terrain n'est que modérément déplacé et IDF peut être positionné de manière que la partie inférieure du cylindre d'éloignement extérieur (HUmax) passe au-dessus de la ligne d'horizon.

7 Perspectives

Pour le Milan royal, l'étude présentée sur six sites fournit désormais une base complète pour évaluer les performances de base d'IDF. Les recherches ultérieures devraient donc se concentrer sur les domaines suivants :

- Élargissement du spectre des espèces

Les utilisations possibles d'IDF pour éviter un risque considérablement accru de mort de certaines espèces d'oiseaux à risque de collision seront testées dans d'autres projets en 2021. Le Pygargue à queue blanche est également inclus comme espèce cible. Au vu des résultats des tests précédents sur l'efficacité d'IDF par rapport aux aigles des États-Unis (MCCLURE *et al.* 2018 ; MCCLURE *et al.* 2021), on peut s'attendre à un très haut niveau de protection d'IDF pour le Pygargue à queue blanche.

- Élargissement du spectre paysager

Jusqu'à présent, des terrains principalement dégagés avec une faible proportion de forêt ont été étudiés. Dans l'étape suivante, des emplacements forestiers dans les chaînes de montagnes basses devraient donc également être inclus.

- Surveillance de parcs éoliens entiers en couplant plusieurs systèmes

Dans la présente étude, seuls les systèmes IDF individuels ont été testés. L'objectif d'IDF est cependant de surveiller des parcs éoliens entiers en couplant plusieurs systèmes, ce qui, selon le fabricant, conduit à une nouvelle amélioration du niveau de protection. D'autres investigations devraient donc porter sur l'interaction de plusieurs systèmes.

- Utilisation en recherche fondamentale

En plus de son utilisation comme mesure de protection pour éviter les collisions, IDF offre également de nouvelles possibilités pour approfondir les connaissances sur le comportement des oiseaux à proximité des éoliennes avec une haute résolution temporelle et spatiale. Sur la base de la localisation très précise des trajectoires de vol par seconde, des données sont générées dont les options d'évaluation vont au-delà de celles des données GPS et LRF. De plus, la surveillance permanente d'une certaine zone de l'espace est en place, avec l'enregistrement complet de tous les mouvements de vol qui s'y déroulent, alors que la télémétrie GPS ne peut jamais fournir de données que sur des spécimens individuels, même dans toute leur zone d'action. Afin d'observer le comportement de vol à proximité de l'éolienne, il est cependant nécessaire de désactiver la programmation d'arrêt afin que les vols puissent également être suivis à l'intérieur du cylindre de protection intérieur. IDF peut également être utilisé pour vérifier l'efficacité d'autres mesures de protection et d'évitement, telles que les zones de déviation, pour la détermination quantitative de l'activité de vol à des endroits spécifiques.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

- Test des évolutions techniques

Du côté du fabricant, des développements techniques continus du système IDF sont prévus. Ceux-ci incluent une réduction du temps de réaction de la caméra stéréo lors d'un panoramique entre plusieurs oiseaux et une amélioration des performances de détection sur un fond sombre. On peut donc s'attendre à ce que les résultats obtenus jusqu'à présent, qui prouvent déjà l'efficacité du système au regard des exigences de la législation sur la protection des espèces, soient encore améliorés à l'avenir.

8 Références bibliographiques

- AMMERMANN, K., E. BRUNS, J. PONITKA, E. SCHUSTER, D. SUDHAUS & F. TUCCI (2020) : Technische Systeme zur Minderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen - Entwicklungsstand und Fragestellungen. Bfn Skripten (571) : 30 pp.
- ASCHWANDEN, J (2020) : IdentiFlight - ein automatisiertes Erkennungssystem für Großvögel zur bedarfsgerechten Abschaltung von Windenergieanlagen - Testergebnisse am Standort des Windenergiefelds Donzdorf/Geislingen Naturverträgliche Windenergienutzung durch smarte Technologien im Artenschutz. Online-Kolloquium, 03.-04. November 2020, BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ.
- ASCHWANDEN, J. & F. LIECHTI (2000) : Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems Identiflight auf dem Testfeld des WindForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSSENT). Schweizerische Vogelwarte, Sempach, 38 P.
- BRUDERER, B. & A. BOLT (2001) : Flight characteristics of birds: I. Radar measurements of speeds. Ibis 143 : p. 178-204.
- GRÜNKORN, T., J. BLEW, T. COPPACK, O. KRÜGER, G. NEHLS, A. POTIEK, M. REICHENBACH, J. VON RÖNN, H.
TIMMERMANN & S. WEITEKAMP (2016) : Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D.
- HANAGASIOGLU, M., J. ASCHWANDEN, F. BONTADINA & M. DE LA PUENTE NILSSON (2015) : Investigation of the effectiveness of bat and bird detection of the DTBat and DTBird systems at Calandawind turbine. Schweizerische Eidgenossenschaft - Bundesamt für Energie BFE.
- HEUCK, C., M. SOMMERHAGE, P. STELBRINGK, C. HÖFS, K. GEISLER, C. GELPKE & S. KOSCHKAR (2019) : Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergieanlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg - Abschlussbericht. im Auftrag des Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen.
- HÖTKER, H., K. MAMMEN, U. MAMMEN & L. RASRAN (2017) : Red Kites and Wind Farms - Telemetry Data from the Core Breeding Range. Dans : KÖPPEL, J. : Wind Energy and Wildlife Interactions, Springer, Cham, 3-15
- ISSELBÄCHER, T., C. GELPKE, T. GRUNWALD, H. KORN, J. KREUZIGER, J. SOMMERFELD & S. STÜBING (2018) : Leitfaden zur visuellen Rotmilan-Raumnutzungsanalyse. Untersuchungs- und Bewertungsrahmen zur Behandlung von Rotmilanen (Milvus milvus) bei der Genehmigung für Windenergieanlagen. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten. Mainz, Linden, Bingen, 22 P.
- KNE (2018) : Synopse der technischen Ansätze zur Vermeidung von potenziellen Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse durch die Windenergienutzung.
- KNE (2019) : Anforderungen an eine fachlich valide Erprobung von technischen Systemen zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen.

Dans quelle mesure IdentiFlight protège-t-il le Milan royal - Rapport final

The Regional Planning and
Environmental Research

- KNE (2021) : Anforderungen an Antikollisionssysteme zum Schutz von Vögeln an Windenergieanlagen - Checkliste für eine qualifizierte Entscheidung über die Anwendbarkeit von Antikollisionssystemen., 14 S. https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Checkliste_Antikollisionssysteme_2021_06.pdf.
- LAG VSW (Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten) (2015) : Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten in der Überarbeitung vom 15. April 2015. 29 P.
- LAG VSW (Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten) (2020) : Fachliche Empfehlungen für avifaunistische Erfassung und Bewertung bei Windenergieanlagen Genehmigungsverfahren - Brutvögel. Beschluss 19/02. Version révisée 24/04/2020.
- MCCLURE, J., B. ROLEK, L. DUNN, J. MCCABE, L. MARTINSON & T. KATZNER (2021) : Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *J Appl Ecol.* 00:1-7 (<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13831>).
- MCCLURE, J. W., L. MARTINSON & T. D. ALLISON (2018) : Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. *Biol. Conserv.* 224 : 26-33.
- SCHUSTER, E. & E. BRUNS (2018) : Technische Ansätze zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung. Eine Chance für den naturverträglichen Ausbau der Windenergie? *Naturschutz und Landschaftsplanung* 50 : 226-232.
- SPRÖTGE, M., E. SELLMANN & M. REICHENBACH (2018) : Windkraft Vögel Artenschutz, Books on Demand, Norderstedt.
- UMK (Umweltministerkonferenz) (2020) : Standardisierter Bewertungsrahmen zur Ermittlung einer signifikanten Erhöhung des Tötungsrisikos im Hinblick auf Brutvogelarten an Windenergieanlagen (WEA) an Land - Signifikanzrahmen. 17 P. https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/vollzugshilfe_signifikanzrahmen_11-12-2020_1608198177.pdf.
- WEISS, A. ENERGIEWENDE, K. K. N. U., (Editor), (2019) : Genehmigungsrechtliche Aspekte beim Einsatz von Detektionssystemen. Tagungsband der Fachtagung: "Vogelschutz an Windenergieanlagen. Detektionssysteme als Chance für einen naturverträglichen Windenergieausbau?", Kassel.