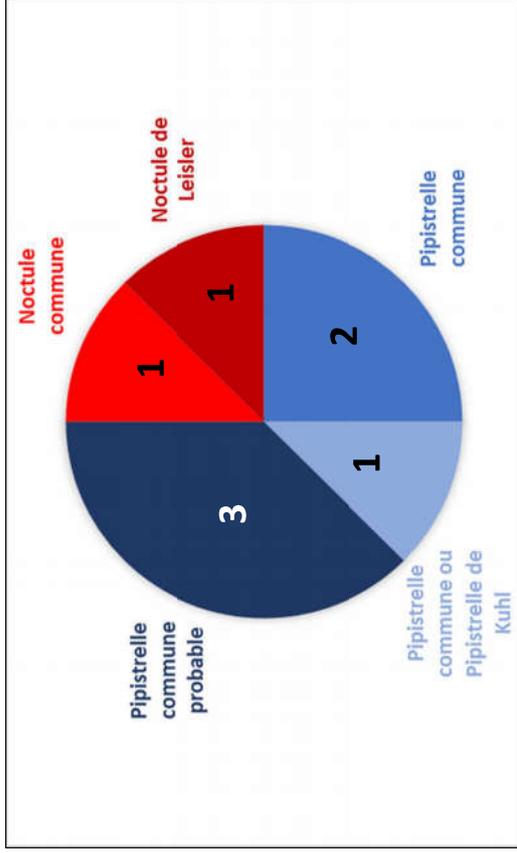


Le graphique suivant synthétise la proportion des effectifs touchés par espèce.

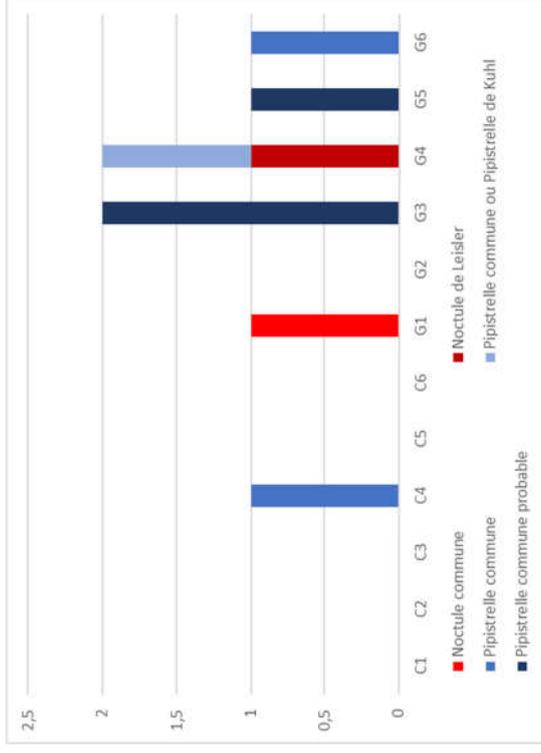
Figure 20 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2015



4.1.5 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne

Le graphique suivant précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 21 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2015



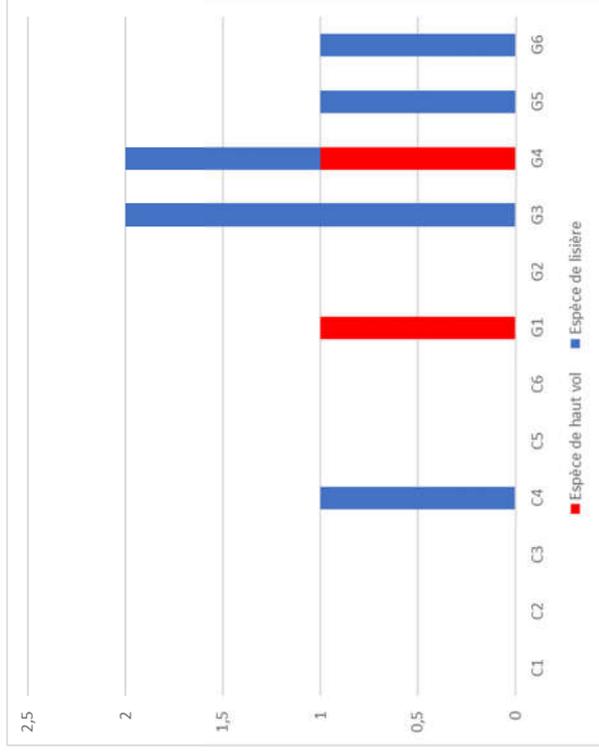
Le graphique précédent montre l'absence de regroupement d'un groupe d'espèce sous une éolienne en particulier. Comme évoqué précédemment, les éoliennes de la ligne la plus à l'ouest semble être davantage accidentogène que les autres.

Le graphique suivant représente, pour chaque cas de mortalité, le type de vol de l'espèce concernée, de manière à y rechercher l'expression de certaines explications phénomologiques (migration, dispersion des jeunes...) ou comportementales (chasse en groupe, comportements sociaux...) par éolienne. On considère ainsi que les pipistrelles communes (et la possible Pipistrelle de Kuhl) sont typiquement des espèces de lisières (longent les corridors de structures arborées comme supports d'écholocation), alors que la Noctule de Leisler et la Noctule commune sont des espèces de haut-vol (vols de plein ciel, sans support d'écholocation particulier).

Sur ces deux parcs, il apparaît que les éoliennes sont de petite taille (hauteur en bout de pale de l'ordre de 120 m), et que la distance entre le bout de pale et le sol est d'une trentaine de mètres. L'ensemble de ces éoliennes est situé à moins de 30 m de la lisière forestière la plus proche. De ce fait, la distance entre le bout des pales et la zone d'activité des chiroptères (notamment les espèces de lisière) est faible (de l'ordre d'une vingtaine de mètres selon la hauteur de la canopée et la taille des éoliennes). Au vu de la configuration des parcs éoliens, et de la proximité entre la zone du rotor et la zone d'activité des chiroptères, les espèces de lisières apparaissent logiquement comme les plus à risque.

Ces résultats doivent toutefois être considérés avec précaution. En effet, l'expérience montre que les espèces de lisières et notamment les pipistrelles peuvent être aussi amenées, ponctuellement, à voler plus haut en s'affranchissant des corridors de lisières.

Figure 22 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2015 en fonction du type de vol



➤ Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

La figure suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèces en 2015. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse en groupe, comportements sociaux...).

On s'aperçoit que les mortalités de chaque espèce ne sont pas regroupées sur une très courte période mais sont plutôt étalées sur une période estivale et automnale. C'est surtout début juillet et à la fin août que l'on peut constater une concentration de mortalités vis-à-vis du reste des résultats.

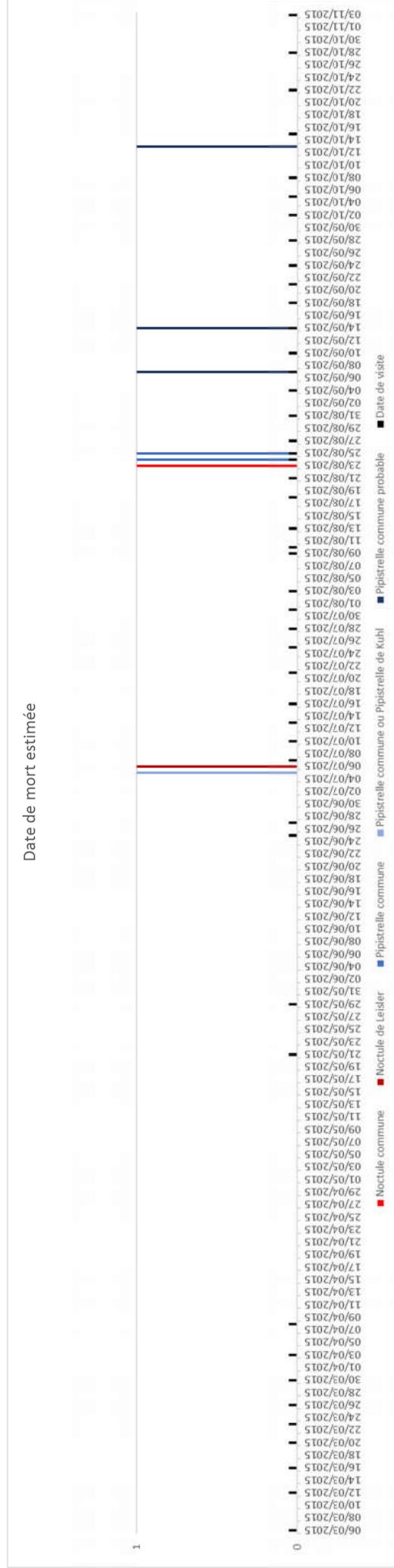
La période de début juillet correspond avec une période de mise bas pour certaines espèces ou d'élevage des jeunes pour d'autres. Il s'agit aussi d'une période où les essaimage d'insectes (par des conditions climatiques particulières, orageuse, journées chaudes...) peuvent être entraînés plus en hauteur et ainsi amener les chiroptères à évoluer au niveau du champ de rotation des pales d'éolienne. Les 2 cas de mortalité de début juillet sont situés sous l'éolienne G4. D'après les données climatiques relevées au niveau de cette éolienne début juillet, il apparaît une période de forte chaleur (température moyenne par nuit la plus élevée de l'année) couplée à du vent d'est (voire de nord-ouest). Il est donc possible que ces fortes chaleurs aient entraîné un essaimage massif d'insectes qui par des ascendances dynamiques, ou thermiques (au niveau des milieux ouverts de l'est ou du sud-est de l'éolienne G4) auraient pu se retrouver au niveau du rotor de l'éolienne G4. Ces ascendances ont donc pu permettre à des essaimes d'insectes soit de provenir de l'est (milieu de lisière et ouverts) grâce à du vent d'est principalement

relevé lors de cette période, soit de provenir de la vallée au nord-ouest de l'éolienne G4 (milieu forestier et humide avec la présence d'un ruisseau) lors de la première partie de la nuit du 5 juillet avec du vent modéré à fort provenant du nord-ouest. Cette abondance d'insectes en hauteur ayant pu attirer les chiroptères à ces mêmes hauteurs, cela a donc pu engendrer quelques cas de mortalité.

Généralement, selon les espèces, on considère que la période de fin août à début septembre peut aussi bien correspondre à une phase de parades (regroupements de mâles et femelles reproducteurs pour accouplements) qu'à une phase de transits automnaux vers des secteurs d'hibernation, plutôt durant le mois de septembre-octobre (retours des femelles des espèces migratrices, ou transits moins importants en distance pour des espèces dites « résidentes »). Ces types de comportements peuvent théoriquement être propices à des déplacements à une altitude plus élevée que lors des déplacements habituels (chasse, transit). Mais cela reste une hypothèse très relative sans l'appui de suivis acoustiques. Dans notre cas précis, les 3 cas de mortalités regroupés entre le 22 et le 25 août pourraient être issus de ce type de comportement migratoire/transit, notamment concernant la Noctule commune. Cependant, cette période a été marquée par des passages orageux et pourrait très bien correspondre avec des insectes poussés plus en hauteur devant les fronts orageux.

Les mortalités de septembre et octobre sont plus étalées dans le temps, et correspondent à des périodes moins favorables aux chiroptères (quelques averses début septembre, des épisodes cévenols très marqués mi-septembre et des passages pluvieux entrecoupés d'accalmies mi-octobre). Ces mortalités semblent donc plus liées à une activité régulière sur le site qui peut parfois être plus en hauteur et donc amener des cas de mortalité ponctuels.

Figure 28 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2015



En ce qui concerne la **Pipistrelle commune**, les 6 cadavres identifiés en 2015 sont notés entre début juillet (1 probable femelle adulte), fin août (2 adultes dont un mâle et un individu de sexe indéterminé), début septembre (2 individus, un mâle et une femelle adulte) et mi-octobre (1 adulte de sexe indéterminé). Cependant, seule les mortalités de fin août ont été identifiées comme Pipistrelle commune certaine, les autres sont « probables » car on ne peut être certain de la détermination vu l'état de décomposition des cadavres et le cas de début juillet pourrait aussi correspondre à de la Pipistrelle de Kuhl.

Ces données supposent que l'espèce exploite le site sur la majeure partie de son cycle biologique, ou en tout cas, depuis la période de mise-bas. Cela suppose que des gîtes diurnes sont localisés dans l'entourage du parc éolien, probablement au niveau de vieux bâtis des hameaux environnants pour cette espèce le plus souvent anthropophile. En juillet, il est probable que les mortalités aient concerné des individus provenant des hameaux, et éventuellement de colonies de mise-bas ou de gîtes de mâles isolés ou de femelles non reproductrices, alors probablement en phase d'activité de chasse. En août-septembre, il est aussi probable que l'activité de l'espèce relève d'une activité de chasse, mais on ne peut exclure d'éventuels mouvements de transits. Les comportements sociaux (pariades) devant plutôt être localisés plus proches des gîtes diurnes anthropophiles, il semble peu probable qu'il s'agisse de ce type de comportement. Cette fonction supposée du site comme site de chasse ne peut être précisée qu'avec la recherche de buzz de capture d'insectes au niveau des séquences ultrasonores, hors dans notre cas précis, aucun suivi d'activité n'a été réalisé sur le site en parallèle du suivi de mortalité. On ne peut donc pas aller plus loin d'ans l'interprétation des fonctionnalités du site pour l'espèce et donc des conditions de risques.

En ce qui concerne la **Noctule de Leisler**, le cas de mortalité est intervenu aussi début juillet (1 mâle adulte). Pour la **Noctule commune**, le cas de mortalité est intervenu fin août (1 mâle adulte). La période de mortalités constatée suppose que ces espèces exploient le site durant la période estivale. En effet, la Noctule de Leisler et la Noctule commune sont des espèces migratrices. Même si quelques cas de reproduction commencent à être référencés en France (Noctule de Leisler principalement), il est généralement admis qu'une ségrégation sexuelle des migrations s'opère ; les femelles gravides partent mettre bas généralement dans le Nord de l'Europe (Nord de l'Allemagne, Scandinavie, Russie) alors que les mâles sont plutôt sédentaires en Europe centrale (dont la France). Ils retrouvent alors les femelles à leurs retours de migrations automnales (août septembre pour la Noctule de Leisler et septembre – octobre pour la Noctule commune) et émettent des chants depuis des postes fixes pour les attirer et s'accoupler. Il s'agit d'espèces arboricoles (en dehors des colonies de reproduction plutôt en vieux bâtis).

Les cas de mortalité découverts début juillet (Noctule de Leisler) et fin août (Noctule commune) correspondant à deux mâles confirment bien cette ségrégation des sexes et ces individus devaient correspondre à des mâles erratiques durant la période estivale. Les secteurs de chasse de ces espèces ne sont pas forcément très définis, elles sont plutôt vagabondes et recherchent des essaims d'insectes qu'elles gobent par filtrage (la Noctule commune peut néanmoins plus régulièrement consommer des gros papillons ou coléoptères). Elles sont capables d'évoluer à des hauteurs importantes pouvant correspondre avec le rotor d'une éolienne. Dans notre cas précis, les individus impactés pouvaient soit être en transit au-dessus de la canopée, soit être en chasse au niveau du rotor avec une présence potentielle d'essaims d'insectes en hauteur.

Cette dernière hypothèse confirmerait la raison de la présence de Pipistrelle commune (ou Pipistrelle de Kuhl début juillet) au niveau du rotor, soit lors d'une période de forte chaleur (début juillet), soit lors d'une période orageuse (fin août).

Figure 24 : Cliché de la Noctule de Leisler découverte le 7 juillet 2015 sous l'éolienne G4



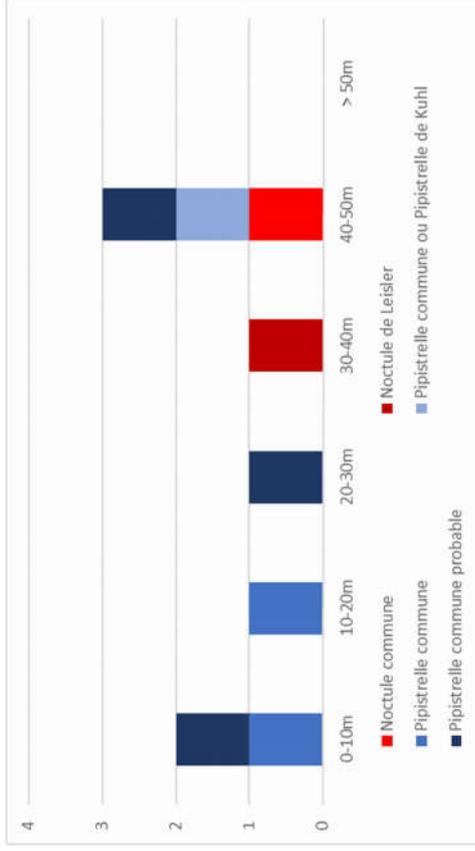
4.1.6 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

L'expérience montre que la précision de la distance de dispersion des cadavres vis-à-vis des mâts des éoliennes peut permettre de préciser la nature des causes de mortalité. Ainsi sous le parc éolien de Castelnaud Pégayrols ce paramètre était apparu caractéristique des mortalités occasionnées dans la partie basse du champ de rotation des pales, mortalités alors dues en partie à l'allumage automatique de lumières au passage des chauves-souris (BEUCHER et KELIM 2010).

Lors du suivi de 2015, le graphique suivant témoigne d'une dispersion bien marquée (les cadavres sont découverts à différentes distances du plus proche de l'éolienne à plus de 40 m). En effet **la moitié des cadavres de 2015 est retrouvée au-delà de 30m**. Cette remarque est assez étonnante. Elle laisse présager **des causes ou des conditions de mortalités particulières** pour ces cadavres,

- des individus impactés dans la partie haute du champ de rotation des pales d'éoliennes (en phase de transit migratoire ou bien de chasse en altitude à la poursuite d'essaimage d'insectes entraînés par les ascendances) de façon à être dispersés par le vent sur de plus grandes distances,
- des individus impactés sur l'extrémité du rotor (en rapport avec une activité de lisières le long des corridors de lisières), ou peut être au-dessus de la canopée...

Figure 25 : Graphique de répartition des cadavres de 2015 par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



Pour préciser cette notion de dispersion selon les espèces, on peut ajouter que :

- La Pipistrelle commune (ou Pipistrelle commune probable) est retrouvée aux différentes classes de distances (de 3m à 42m), ce qui peut laisser penser que les collisions peuvent avoir eu lieu

aussi bien pour des individus volant à la base du rotor (proche du corridor d'activité de lisières) que pour des individus volant bien plus haut.

- Les noctules sont quant à elles retrouvées à des distances plutôt importantes par rapport au mât de l'éolienne (35 et 40m). Ces espèces étant caractérisées par un vol haut, il est cohérent de retrouver ces cas de mortalité à des distances importantes du mât de l'éolienne. Mais le poids plus important de ces espèces par rapport aux pipistrelles suggérant une moindre sensibilité à la dispersion par le vent, ces remarques tendent bien à faire penser que les individus auront été impactés en hauteur, c'est-à-dire dans la partie haute du rotor de l'éolienne.

Finalement, nous retiendrons que les dispersions permettent de supposer qu'au moins une partie des mortalités constatées peut être liée à des vols hauts (au-delà la partie basse du rotor).

La distance moyenne de dispersion pour les 8 cadavres est d'environ 24,8m. Si on se réfère aux valeurs moyennes indiquées par NIERMANN et al. (2009) pour les petites espèces, les cadavres découverts sous le parc de Cuxac-Cabardès et Grand-Bois en 2015 sont dispersés en moyenne 1.5 à 2 fois moins loin des éoliennes que les moyennes évoquées par NIERMANN. On peut alors plutôt supposer qu'une partie des mortalités ait été occasionnée, soit à des hauteurs de vols correspondant à la partie basse du champ de rotation des pales d'éoliennes, soit par vent faible. Les deux hypothèses sont possibles, mais uniquement concernant les cas de mortalité les plus proches de l'éolienne.

Par contre, le fait d'avoir retrouvé la moitié des cadavres à plus de 30 m du mât des éoliennes tend à supposer que certains des cadavres soient quand même tombés depuis une certaine hauteur de vol, ou bien qu'ils aient été heurtés sur la partie latérale du champ de rotation des pales (notamment en rapport avec l'activité en lisière).

4.2 Taux de mortalité des chauves-souris

4.2.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2015

Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents types de végétation.

3 types de recouvrement du sol ont donc été créés :

- Type 1 : Gravier et chemin d'accès (pas ou très peu de végétation)
- Type 2 : Végétation d'une hauteur inférieure à 30cm et peu dense
- Type 3 : Végétation d'une hauteur supérieure à 30cm et dense.

Cette proportion est calculée au prorata de la surface prospectée. Par exemple, si sur une surface de 1 hectare, nous prospectons 0,4 hectares (0,6 hectares de boisement) et que sur ces 0,4 hectares, 0,2 hectares correspondent à du type 1 et 0,2 hectares correspondent à du type 2, nous aurons alors prospecté 50% en type 1 et 50% en type 2.

Le tableau ci-contre montre l'évolution de cette typologie de la végétation au cours du suivi, ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies.

Figure 26 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau= moyenne des proportions de chaque type de végétation pour les 2 périodes identifiées)

Période	Végétation			Mortalité CS	
	Type 1	Type 2	Type 3		
Période 1	EXEN 6-mars	53	45	2	
	NATECO 12-mars	53	45	2	
	EXEN 16-mars	48	50	3	
	EXEN 20-mars	53	45	2	
	EXEN 23-mars	51	49	1	
	NATECO 26-mars	53	45	2	
	NATECO 30-mars	53	45	2	
	ABIES 3-avr.	52	47	2	
	ABIES 8-avr.	52	47	2	
	NATECO 21-mai	54	45	1	
Période 2	ABIES 29-mai	67	24	9	
	NATECO 25-juin	84	11	5	
	P. MEDARD 27-juin	84	11	5	
	ABIES 7-juil.	57	37	5	2
	EXEN 10-juil.	54	41	5	
	NATECO 13-juil.	59	38	3	
	EXEN 16-juil.	54	45	2	
	ABIES 21-juil.	54	45	2	
	EXEN 25-juil.	53	46	1	
	EXEN 28-juil.	53	46	1	
Période 2	NATECO 31-juil.	55	45	0	
	ABIES 3-août	55	45	0	
	P. MEDARD 9-août	55	45	0	
	NATECO 10-août	54	45	1	
	NATECO 13-août	54	45	1	
	ABIES 18-août	54	45	1	
	P. MEDARD 21-août	54	45	1	
	Période 2				
	NATECO 24-août	54	45	1	2
	NATECO 27-août	54	45	1	1
ABIES 31-août	55	39	6		
P. MEDARD 4-sept.	55	39	6		
NATECO 7-sept.	55	44	2	1	
NATECO 10-sept.	54	44	2		
ABIES 14-sept.	53	43	4	1	
EXEN 18-sept.	54	43	3		
NATECO 21-sept.	55	41	4		
NATECO 24-sept.	55	41	4		
ABIES 28-sept.	52	42	6		
P. MEDARD 2-oct.	52	42	6		
NATECO 5-oct.	55	41	4		
NATECO 8-oct.	54	42	3		
NATECO 15-oct.	54	42	3	1	
NATECO 22-oct.	54	42	3		
EXEN 28-oct.	55	44	2		
EXEN 3-nov.	56	32	12		
Moyenne sur l'ensemble de la période					
		55,55	41,66	2,79	8,00
Moyenne sur la période 1					
		52,03	46,34	1,63	0,00
Moyenne sur la période 2					
		56,20	40,82	2,98	8,00

4.2.2 Les formules utilisées

➤ Winkelmann (LPO 2005)

Cette équation est celle conseillée par le protocole LPO (ANDRE, 2005) et c'est la formule la plus simplifiée des quatre que nous ayons utilisées :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a$$

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées.

C : Le nombre de cadavres comptés.

p : Le taux de persistance durant l'intervalle, équivalent à la proportion de cadavres qui restent sur le terrain après x jours (x étant le nombre de jours séparant 2 visites, par exemple si on effectue 2 visites par semaine, x = 3,5).

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection.

a : Coefficient de correction surfacique (cf : paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 33)

L'inconvénient de cette formule, et pas des moindres, est l'impossibilité d'effectuer le calcul si le taux de persistance est égal à 0 (si tous les cadavres disparaissent entre 2 visites). Ce cas peut être assez courant sur des sites où la prédation est très marquée notamment à proximité de fermes où des chiens errants peuvent être présents. L'expérience montre également que cette formule surestime la réalité.

➤ Erickson (2000)

Cette équation ressemble à celle de Winkelmann, mais permet de faire le calcul même lorsque le taux de prédation est très élevé (donc le taux de persistance nul). Pour cela, deux paramètres sont ajoutés, I (Fréquence de passage) et tm (durée de persistance en jours)

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a$$

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées.

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)

C : Le nombre de cadavres comptés.

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection.

a : Coefficient de correction surfacique (cf : paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 32)

Nous appliquerons un coefficient surfacique à cette formule par la suite selon la prospection effectuée sur le terrain (cf : paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 33).

Une équation adaptée de cette dernière est aussi utilisée (Aves & Groupe chiroptère Provence 2010) :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a$$

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées.

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)

C : Le nombre de cadavres comptés.

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection.

p : Le taux de persistance durant l'intervalle, équivalent à la proportion de cadavres qui restent sur le terrain après x jours (x étant le nombre de jours séparant 2 visites, par exemple si on effectue 2 visites par semaine, x = 3,5).

a : Coefficient de correction surfacique (cf : paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 33)

➤ Jones (2009)

Cette méthode repose sur plusieurs hypothèses, le taux de mortalité est constant sur l'intervalle. La durée de persistance suit une variable exponentielle négative et la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle. Le taux de persistance est alors remplacé par la formule suivante :

$$p = e^{-0.5 \times I / tm}$$

La notion d'intervalle effectif est aussi ajoutée par Jones et al. (2009). Plus l'intervalle I est long et plus le taux de persistance tend vers 0. Un cadavre découvert au bout d'un I très long n'est certainement pas mort au début de cet intervalle. Il est plus vraisemblablement mort dans « l'intervalle effectif » qui correspond à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1%.

L'intervalle effectif \hat{I} est donc égal à : $-\log(0,01) \times tm$

D'où :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0,5 \times I / tm)}} \times a$$

On notera que dans l'équation, I prendra la valeur minimale entre I et \hat{I} .

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées.

C : Le nombre de cadavres comptés.

a : Coefficient de correction surfacique (cf : paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 33)

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection.

\hat{I} : Intervalle effectif

\hat{e} : Coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à : $\frac{\text{Min}(I;\hat{I})}{I}$

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).

➤ Huso (2010)

Comme Jones, Huso considère une mortalité constante sur l'intervalle et que la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle, n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre. Le coefficient proposé est plus élevé : $p = \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I}$

D'où :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I}} \times a$$

On notera que dans l'équation, I prendra la valeur minimale entre I et \hat{I} .

Avec N : Le nombre total de cadavres estimés sur la période et les éoliennes considérées.

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts.

a : Coefficient de correction surfacique (cf : paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 33)

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection.

\hat{I} : Intervalle effectif

\hat{e} : Coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à : $\frac{\text{Min}(I;\hat{I})}{I}$

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).

4.2.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2015, deux tests ont été menés le 30 mars et le 14 septembre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

➤ Taux de détection

Figure 27 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb CS déposé	Nb CS découverte	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	18	7	0,39
Type 1	Moyenne	Moyenne	6	3	0,50
Type 2	Moyenne	Moyenne	6	3	0,50
Type 3	Moyenne	Moyenne	6	1	0,17
Moyen	C2	30/03/2015	9	1	0,11
Type 1	C2	30/03/2015	3	0	0,00
Type 2	C2	30/03/2015	3	1	0,33
Type 3	C2	30/03/2015	3	0	0,00
Moyen	C4	14/09/2015	9	6	0,67
Type 1	C4	14/09/2015	3	3	1,00
Type 2	C4	14/09/2015	3	2	0,67
Type 3	C4	14/09/2015	3	1	0,33

d	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,49	55,55	41,66
Période 1	0,49	52,03	46,34
Période 2	0,49	56,20	40,83

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavre découvert par l'observateur :

$$d = \frac{\text{Nombre de cadavres découverts}}{\text{Nombre de cadavres déposés}}$$

Le taux de détection étant logiquement lié à la hauteur de végétation, nous avons pondéré les calculs en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment.

Par exemple, le calcul du taux de détection moyen sur la totalité du suivi nous donne :

$d = d(\text{type 1}) * \text{proportion de type 1 prospecté en moyenne} + d(\text{type 2}) * \text{proportion de type 2 prospecté en moyenne} + d(\text{type 3}) * \text{proportion de type 3 prospecté en moyenne}$

$$d = 0,50 * (55,55/100) + 0,50 * (41,66/100) + 0,17 * (2,79/100) = 0,49$$

Rappelons qu'au niveau de ces calculs relatifs aux chauves-souris, ne sont utilisés que les résultats obtenus à partir des cadavres test de petite taille. Ceux obtenus à partir des cadavres de plus grande taille seront utilisés pour les calculs relatifs à la mortalité des oiseaux.

Les zones boisées n'ont pas été prospectées car elles ne peuvent être prospectées de façon rigoureuse (cadavres dans les branchages, au sol...).

On note logiquement que le taux de détection semble diminuer avec la hauteur de végétation. Les détections sont aisées sur le revêtement gravillonné qui entoure les éoliennes. Elles le sont beaucoup moins quand la végétation dépasse 30 cm.

➤ Taux de persistance

Figure 28 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance.

Type végétation	Eolienne	Date test	Départ	1j	2j	4j	6j	7j	8j	9j
Moyen		Moyenne	18	16	13	5	5	4	0	0
Type 1		Moyenne	6	5	4	1	1	1	0	0
Type 2		Moyenne	6	5	4	1	1	1	0	0
Type 3		Moyenne	6	6	5	3	3	2	0	0
Moyen	C2	30/03/2015	9	9	6	1	1	1	0	0
Type 1	C2	30/03/2015	3	3	2	0	0	0	0	0
Type 2	C2	30/03/2015	3	3	2	0	0	0	0	0
Type 3	C2	30/03/2015	3	3	2	1	1	1	0	0
Moyen	Toutes	14/09/2015	9	7	7	4	4	3	0	0
Type 1	Toutes	14/09/2015	3	2	2	1	1	1	0	0
Type 2	Toutes	14/09/2015	3	2	2	1	1	1	0	0
Type 3	Toutes	14/09/2015	3	3	3	2	2	2	1	0

	Tm	p	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	2,94	0,31			
Période 1	2,36	0,21	52,03	46,34	1,63
Période 2	2,39	0,21	56,20	40,83	2,98

■ Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

« p », utilisé pour la formule de Winkelman (+ Erikson adaptée), caractérise un taux de persistance sur la base de l'intervalle de temps de retours moyen entre deux visites au cours de la campagne de suivi (I).

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2015 (cf. Figure 26 page 29). Le tableau suivant détaille ce calcul. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de $I = 3.85$ j (mais 3.78 ou 4.13 selon les périodes).

Durée intervalle (en jour)	Nombre d'intervalle	Total
1	1	1
2	1	2
3	18	54
4	11	44
5	3	15
6	4	24
7	2	14
8	0	0
9	0	0
10	1	10
Total	40	154
Intervalle pondéré (tot)		3,85

Période 1	4,13
Période 2	3,78

■ Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso)

Le paramètre Tm traduit la durée moyenne de persistance d'un cadavre. Tm se calcule sur la durée au bout de laquelle tous les cadavres test ont disparus. Dans notre cas précis, **Tm est égal à 2.94** (mais entre 2.36 et 2.39 sur les périodes 1 et 2 en prenant en compte les types de végétation).

La durée moyenne de persistance d'un cadavre en jour est donc de :

$$tm = \frac{Nb \text{ cadavres persistant 1 jour}_{j+1} + Nb \text{ cadavres persistant 2 jours}_{j+2} \times 2 + Nb \text{ cadavres}_{j+4} \times 4 + \dots}{Nb \text{ cadavres présents}_{\text{depart}}}$$

➤ Coefficient de correction surfacique

Le coefficient surfacique sert à corriger le fait que certaines zones autour des éoliennes (notamment les forêts) ne soient pas prospectées. Plusieurs formules peuvent être utilisées pour prendre en compte ce biais.

- Formule basée sur l'hypothèse d'une dispersion linéaire des cadavres autour des mâts d'éoliennes

La formule la plus classiquement utilisée suppose que la dispersion des cadavres sous les éoliennes, mais aussi l'efficacité de la recherche est uniforme selon la distance au mât de l'éolienne.

Ce coefficient est égal à :

$$a = 1 + \left(1 - \frac{\text{Surface réellement prospectée}}{\text{Surface à prospectée (théorique)}}\right)$$

Dans notre cas précis, sur chacune des 12 éoliennes suivies, le suivi devait permettre de couvrir une surface de 1ha par éolienne. Mais la plupart d'entre elles étant situées en contexte boisé ou à proximité de lisières boisées, les zones situées dans ce type de milieu n'ont pas été prospectées. Aussi, la surface qui a réellement été prospectée a été estimée via l'outil SIG. La surface totale prospectée en 2015 est ainsi égale à 3.60 ha sur les 12 ha théoriques, soit légèrement inférieur à un tiers.

Figure 29 : Tableau des surfaces prospectées par éoliennes (en moyenne en 2015)

Eolienne	C1	C2	C3	C4	C5	C6	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Total
Surface prospectée en 2015 (ha)	0,345	0,34	0,302	0,276	0,298	0,362	0,268	0,24	0,34	0,25	0,309	0,27	3,6

Le coefficient de correction surfacique de 2015 est donc égal à : $a = 1 + (1 - 3.60/12) = 1.70$

- Formule prenant en compte la dispersion des cadavres propre au site (Arnett 2005)

Arnett (2005) propose un mode de calcul du coefficient surfacique qui prend en compte à la fois la dispersion des cadavres découverts sous les éoliennes et la proportion de surfaces prospectées par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne. Cette estimation est basée sur la formule suivante, revue par CORNU & VINCENT 2010. Il s'agit de subdiviser la surface prospectable en cercles centrés sur l'éolienne et dont les rayons respectifs sont de 14, 28, 42 et 56 m, de sorte de la surface considérée soit proche des 1 ha de prospection réalisés sous la plupart des parcs éoliens (pour permettre des comparaisons). La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

$$A = \frac{\sum_k C_k / S_k}{\sum_k Ck}$$

Avec

- A = coefficient de correction surfacique pondéré par la dispersion
- C = nombre de cadavres retrouvés dans le cercle k
- S = proportion de la surface du cercle k prospectée.

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2015 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

	Surface réellement prospectée (total)	Pourcentage prospecté	Nb cadavre CS
42m - 56m	0,692600	1,6749	0
28m - 42m	1,006000	27,1867	4
14m - 28m	1,319000	59,3288	1
0 - 14m	0,710400	96,4358	3

a (CS)	2.44
---------------	-------------

A = 2.44

Cette valeur de coefficient surfacique, plutôt élevée (généralement sa valeur est inférieure à 2), est due à la répartition des cadavres assez éloignée du mat et dans une zone de distance peu prospectée (27%).

Finalement, la formule de Arnett (2005) prend en compte plus de biais (dispersion des cadavres sous les éoliennes) que la formule linéaire. Par la suite, les calculs seront effectués avec les résultats de coefficients surfaciques calculés avec la formule d'Arnett (2005), plus précise.

4.2.4 Présentation des 2 méthodes de calcul

Nous avons utilisé deux méthodes pour effectuer l'estimation du taux de mortalité :

- Dans un premier temps les calculs ont été effectués avec des valeurs moyennes pour tous les taux calculés précédemment (sauf pour le taux de détection qui est fortement lié au type de végétation). C'est-à-dire que nous n'avons pas pris en considération l'évolution du type de végétation lors de la période de suivi.
- Dans un deuxième temps, afin de prendre en compte cette hétérogénéité de végétation au cours de la période et selon les éoliennes, nous avons recalculé les taux de détection, de persistance ainsi que la durée moyenne de persistance afin de se rapprocher au maximum de la réalité du terrain. Pour cela, nous avons calculé en moyenne, pour chaque période, la proportion de chaque type de végétation. Ces valeurs nous ont alors servi à pondérer les différents taux en fonction de ce type de végétation. Ainsi, par exemple, pour la période 1, nous avons en moyenne 52.03 % de la surface prospectée en gravier, 46.34 % en végétation de type 2 (Végétation <30cm), et 1.63 % en végétation de type 3 (végétation haute). Pour le calcul du taux de détection, on prend donc 52.03 % du taux de détection sur le type 1, 46.34 % sur le type 2 et 1.63 % sur le type 3. On a donc un taux de détection unique, mais qui a été pondéré selon le niveau moyen de végétation prospectée au cours de la période.

4.2.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (non prise en compte de l'évolution de végétation)

Vu que l'on ne tient pas compte des types de végétation, le calcul est effectué sans séparer la période de suivi en différentes périodes. Le tableau suivant synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 30 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	8,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,49	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,31	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,94	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	3,85	Pas de temps du suivi
î	5,89	$\hat{i} = -\log(0.01) * tm$
ê	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{i}) / l$
a	2,44	Coefficient de correction surfacique

Sur la base des paramètres précédents, les résultats de calculs des taux de mortalités sont les suivants pour les différentes formules utilisées.

Winkelmann :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{8}{0.31 \times 0.49} \times 2.44 = \mathbf{127.80}$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{l \times C}{tm \times d} \times a = \frac{3.85 \times 8}{2.94 \times 0.49} \times 2.44 = \mathbf{51.99}$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{l \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{3.85 \times (8 - 8 \times 0.31)}{2.94 \times 0.49} \times 2.44 = \mathbf{51.82}$$

Jones :

$$N = \frac{C}{a \times d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times l / tm)}} = \frac{8}{0.49 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 3.85 / 2.94)}} \times 2.44 = \mathbf{76.45}$$

Huso :

$$N = \frac{C}{a \times d \times \frac{tm \times (1 - e^{-l / tm})}{l} \times \hat{e}} \times 2.44 = \frac{8}{0.49 \times \frac{2.94 \times (1 - e^{-3.85 / 2.94})}{3.85}} \times 2.44 = \mathbf{71.26}$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 6 mars au 8 avril puis du 25 juin au 3 novembre 2015 et pour les 12 éoliennes du parc suivies. Ces résultats sont basés sur l'intégralité du parc éolien et sur 6 mois (discontinus), soit une grande partie de la période d'activité du cycle biologique des chiroptères. Même si ce raisonnement dépend bien sûr des espèces, on considère en effet que la phase d'activité des chiroptères s'étale en moyenne sur 8 mois / an (4 mois d'hibernation) sur le site Cuxac-Cabardès et Grand-Bois.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- on divise ces résultats par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- on divise par 6 (6 mois) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères).
- On multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères).

Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 8.43 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 5,76 et 14,20 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées. Rappelons que cette estimation est basée sur un coefficient surfacique qui prend en compte la dispersion des cadavres et qui est certainement sur-estimé.

Figure 31 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2015 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann		Erickson		Jones	Huso	Moyenne
	adaptée	réelle	adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	127,80	51,82	51,99	76,45	71,26	75,86	
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	10,65	4,32	4,33	6,37	5,94	6,32	
Mortalité par éolienne et par mois	1,77	0,72	0,72	1,06	0,99	1,05	
Mortalité par éolienne et pour une année	14,20	5,76	5,78	8,49	7,92	8,43	
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	170,39	69,10	69,32	101,93	95,01	101,15	

4.2.6 Calcul de mortalité avec la seconde méthode (prise en compte de l'évolution de la végétation)

Ici on tient compte de l'évolution des types de végétation et de leur évolution au cours de la période de suivi. Donc on divise la période de suivi en 2 périodes, en fonction des évolutions de la taille de végétation et des coupes (cf. planning de la Figure 26 page 29). Ci-dessous sont ainsi présentées les valeurs des paramètres nécessaires aux différentes équations selon la période.

Figure 32 : Paramètres pour le calcul des équations selon la deuxième méthode de calcul

Paramètres	Période	Valeurs	Explications
C	Période 1	0,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
	Période 2	8,00	
d	Période 1	0,49	Valeur du taux de détection pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	0,49	
p	Période 1	0,21	Valeur du taux de persistance pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	0,21	
tm	Période 1	2,36	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	2,39	
l	Période 1	4,13	Pas de temps du suivi
	Période 2	3,78	
\hat{l}	Période 1	4,73	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
	Période 2	4,78	
\hat{e}	Période 1	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
	Période 2	1,00	
a	Toutes périodes	2,44	Coefficient de correction surfacique selon la période

Pour chaque formule, on effectue le calcul pour chacune des périodes et ensuite on fait la somme de chacun de ces résultats pour obtenir la mortalité estimée sur la totalité de la période de suivi et pour l'ensemble des éoliennes suivies.

Les résultats pour cette seconde méthode de calcul sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats sont présentés selon les mêmes formats que pour la première méthode de calcul, c'est-à-dire ramenés par éolienne, puis par éolienne et par mois, puis par éolienne et sur l'ensemble de la période d'activité théorique des chauves-souris et enfin pour le parc éolien entier.

Le tableau aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 10.65 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 6.99 et 20.70 mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 33 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2015 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
		adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	186,27	62,90	63,04	87,87	79,32	95,88
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	15,52	5,24	5,25	7,32	6,61	7,99
Mortalité par éolienne et par mois	2,59	0,87	0,88	1,22	1,10	1,33
Mortalité par éolienne et pour une année	20,70	6,99	7,00	9,76	8,81	10,65
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	248,36	83,87	84,05	117,16	105,76	127,84

4.2.7 Analyses et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

La comparaison des résultats des deux méthodes de calculs montre finalement assez peu de différences. Compte tenu des nombreuses marges d'erreur qui s'ajoutent progressivement les unes aux autres dans les différentes étapes d'estimation d'un taux de mortalité, retenons globalement que **les parcs de Cuxac-Cabardès et Grand-Bois auraient théoriquement généré en 2015, 8,43 à 10,65 mortalités de chauves-souris par éolienne et par an**. Cela correspondrait à environ 100 à 130 mortalités pour l'ensemble du parc éolien. Cette estimation est issue d'un calcul de taux de mortalité avec une formule pour le calcul du coefficient surfacique non linéaire et donc dépendante de la dispersion des cadavres.

Si on avait utilisé la formule de coefficient surfacique linéaire ($a = 1,70$), le taux de mortalité serait tombé à environ 5 à 7 mortalités de chauves-souris par éolienne et par an, soit sur l'ensemble du parc une estimation de 70 à 90 chauves-souris par an.

Le suivi de mortalité a été réalisé sur la période printanière (soit de début mars à mi-avril) puis sur la période estivale et automnale (de fin juin à début novembre). Les possibles pics de mortalité relevés début juillet puis fin août, probablement entraînés par des essaimages d'insectes poussés en hauteur, auraient aussi pu avoir lieu début juin (période non suivie). En effet, la période de fin de printemps et début d'été est souvent propice à des essaimages d'insectes qui peuvent par des conditions climatiques particulières se retrouver plus en hauteur et de ce fait y entraîner les chauves-souris et donc une possible mortalité au niveau des éoliennes. Les conditions climatiques du mois de juin auraient pu entraîner ce type de comportement, mais aucun suivi, ni de mortalité ni d'activité ne peut venir ni confirmer, ni contrecarrer cette hypothèse.

Par conséquent, le taux de mortalité au niveau du parc éolien pourrait être de :

- 5 à 7 cas de mortalité par éolienne et par an (cas d'un calcul avec un coefficient surfacique linéaire)
- 8 à 10 cas de mortalité par éolienne et par an (cas d'un calcul avec un coefficient surfacique pondéré selon la dispersion des cas de mortalité découverts)
- Entre 10 et 15 cas de mortalité par éolienne et par an, si éventuellement des cas supplémentaires avaient potentiellement été trouvés durant le mois de juin.

Pour la suite de l'analyse, nous prendrions comme référence le calcul intermédiaire soit 8 à 10 cas de mortalité par éolienne et par an.

D'après les données disponibles actuellement en France mais aussi et surtout à l'étranger (Europe, voir tableaux de la page suivante), cette estimation de la mortalité témoignerait **d'une valeur de mortalité par éolienne et par an modérée (voire modérée à forte) vis-à-vis des chauves-souris**. La fourchette de taux de mortalité correspondrait effectivement à des résultats obtenus assez classiquement sous des parcs éoliens mais dans une fourchette haute. Même si cette analyse comparative reste délicate et soumise à de nombreux facteurs locaux (contraintes techniques de recherche, pression de suivi...), cette estimation semble révéler, **la possible présence d'un niveau de mortalité jugé hors norme**, mais d'un niveau moindre que ce qui a pu être récemment observé sur d'autres parcs éoliens français situés dans des contextes biogéographiques particuliers (Bouin en littoral atlantique (Dulac, 2006), Castelhan

Pégayrols en contexte forestier et ligne de crête (Beucher & Kelm, 2009-2010), Leuze en plaine camargaise de la Crau (GCP, 2010), parcs Drômois en forêt ou bordure de canal (Cornut et Vincent, 2010)). À titre de comparaison, sous ces parcs éoliens qui font aujourd'hui référence parmi les plus meurtriers, les taux de mortalité peuvent dépasser les 20 chauves-souris/éolienne/an, correspondant à plusieurs centaines de cadavres sur chaque parc selon leur taille.

En 2015, même si 8 cadavres ont été découverts et certains sur de courtes périodes (juillet, fin août), l'estimation de la mortalité annuelle (environ 5 à 10 mortalités par éolienne et par an selon les méthodes de calculs) n'atteint toutefois pas ce seuil d'importantes surmortalités. Cela n'enlève rien au caractère problématique de certains cas de mortalités issus d'une possible hausse d'activité ponctuelle entraînée par des conditions climatiques et une phénoménologie particulière des espèces proies.

Cette **hypothèse d'influence des essaimages d'insectes en altitude favorisés par des ascendances thermiques ou dynamiques** nous paraît importante sur ce site pour expliquer les mortalités de chiroptères. C'est d'abord assez remarquable au regard de la forte dispersion des cadavres sous les éoliennes comparée à l'expérience de bien d'autres suivis de la mortalité (forte dispersion non seulement pour les espèces de haut-vol (noctules) que pour une partie des espèces de lisières (pipistrelles)). Mais nous verrons par la suite que cette hypothèse semble aussi cohérente avec les résultats de suivis de la mortalité des oiseaux. En effet, la plupart des mortalités de chiroptères et notamment celles qui pourraient le plus correspondre à ce type de phénomène de prises ponctuelles d'altitude (noctules, pipistrelles dispersées) sont surtout relevées au niveau de la ligne ouest d'éoliennes. Or c'est aussi cette même ligne d'éoliennes qui impactera chez les oiseaux le Martinet noir, la seule espèce du cortège des mortalités également susceptible d'exploiter des phénomènes d'aéologie (ascendances thermiques ou dynamiques) à la poursuite d'opportunité d'insectes, ou simplement en comportement de migration active. Sur la carte de localisation du parc éolien (Figure 2 page 11), on note que cette ligne présente un contexte supposé favorable ...

- non seulement à la formation d'ascendances thermiques (coteaux sud/sud-est de Canade, ou sud-ouest de Sié ouverts et exposés aux rayons du soleil en journée)
- mais aussi proches de milieux potentiellement producteurs en insectes (plan d'eau de Canade au sud, proximité des combes et cols des ruisseaux des 9 fontaines à l'est, ou de celui de l'Aiguille à l'ouest, ou encore un autre plus au sud...)
- sans compter que certains hameaux ou vieux bâtis situés dans l'axe de ces phénomènes d'ascendances (Canade, Sié...) peuvent aussi être le siège de gîtes de pipistrelles localisés.

Au-delà de l'hypothèse d'interprétation qui reste à confirmer, objectivement, l'impact pourrait aussi bien être considéré comme :

- faible à modéré si l'on prend en compte un calcul du taux de mortalité avec un coefficient surfacique linéaire
- modéré (voire modéré à fort) si l'on prend en compte un taux de mortalité avec un coefficient surfacique pondéré selon la dispersion des cas de mortalité découverts
- plus important si des cas de mortalité supplémentaires avaient éventuellement été découverts pendant la période de début juin non suivi.

Enfinement, il reste difficile (selon le type de calcul utilisé, et selon la période de suivi réalisée) d'aboutir à une conclusion définitive sur l'impact qu'ont pu avoir les parcs de Cuxac-Cabardès et Grand-Bois sur les populations de chauves-souris du secteur, d'autant que celles-ci restent mal définies (localisation, taille, taux de fréquentation du site vis-à-vis des autres secteurs d'activité...).

Figure 34 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)

Site	Département	Contexte de milieu	Année de suivi	Nombre de victimes / éolienne / an	Référence
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2010	0	ALEPE 2010
Rézentières	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2013	0-3	Beucher, Albespy, Mognot 2014
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2011	0,95 - 0,99	Beucher, Keim (EXEN, KJM) 2011
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2011	1,29-1,41	Albespy, Beucher (2015)
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2010	1,3 - 2	Beucher, Keim (EXEN, KJM) 2010
Haut Cabardès	11	Forêt de résineux + lisières	2012	1,6 - 1,9	Beucher, Keim (EXEN, KJM) 2012
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2010	2,2 - 2,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2013
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2008	3,12	ALEPE 2009
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2011	3,7 - 3,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2014
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2010	4,2-4,9	Albespy, Beucher (2015)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2012	4,4 - 5,5	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2015
Cuq Servies	81	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2013	5,5 - 6,9	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2014
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2012	6,1-6,6	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2014	7,5-7,9	Beucher, Albespy 2015
Talizat	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2010	7,4-8,7	Beucher, Albespy 2011
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2006	6,0 - 9,3	Dulac 2008
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2008	9,78	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2009	10	ALEPE 2009
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2009	13,5	Albespy, Beucher (2015)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2007	20,3 - 21,6	Dulac 2008
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2005	21,5 - 26,7	Dulac 2008
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2009	26,8 - 31,1	Beucher, Keim (EXEN, KJM) 2011
Le Pouzin	7	Bordure de canal	05/05-20/10/2010	44 - 76	Comut & Vincent 2010
Mas de Leuze	13	Plaine camargaise	17/3-27/11/2009	79-3	Aves et GCP 2010
La Répara-Auriples	26	Forêt de résineux et lisières	05/05-20/10/2010	79 - 87	Comut & Vincent 2010

Figure 35 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE)

Site	Période de l'année	Nombre de victimes / éolienne / an (*ou pour la période d'étude)	Référence
EUROPE			
Portugal (12 sites)	2005 à 2010	0	Plusieurs auteurs
Caravilas (Portugal)	2006	0,22	Sinx, 2008 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Fumas (Portugal)	2006, 2007	0,8	Aives et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Seladoinho (Portugal)	2006	0,8	Aives et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Prouença I e II (Portugal)	2006	1,8	Lopes et al., 2008, Aives et al., 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Grèce (Soros)	2010	2,2	Georgiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Mosqueiros I (Portugal)	2008	3,6	Barreiro et al., 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Gardunha	2007	4,2	Aives et al., 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Stenberg (Autriche)	09/2003 - 09/2004	5,3	Traxler et al., 2004 in Brinkmann et al., 2006
Grèce (Dyalimos Lofos)	2010	5,5	Georgiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Grèce (Monastiri)	2010	6,5	Georgiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Candai Coelheira (Portugal)	2006, 2007	7,8	Aives et al., 2007, Amorim 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Prelerskinden (Autriche)	09/2003 - 09/2004	8,00	Traxler et al., 2004 in Brinkmann et al., 2006
Cantons de Berne et de Lucerne (Suisse)	06 - 10/2007	8,2	Leuzinger, 2008
Grèce (Mati)	2010	10,8	Georgiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
District de Freiburg (Allemagne)	Début 04 - mi-05 et mi-07 - mi-10/2005	11,8*	Brinkmann et al., 2006
S. Pedro (Portugal)	2006	12	Aives et al., 2007 in Dubourg-Savage et al., 2011
Grèce (Sapka)	2010	13,2	Georgiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Navarre (Espagne)	03/2000 - 03/2001	13,3	Lekuona, 2001
Grèce (Keriveros)	2010	13,9	Georgiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Caramulo (Portugal)	2006, 2007	14,2	Hortencio et al., 2007, Silva et al., 2008
District de Freiburg (Allemagne)	fin 07 - fin 10/2004	20,9	Brinkmann et al., 2006
Ouisero (Portugal)	2006, 2008	26,3	in Dubourg-Savage et al., 2011

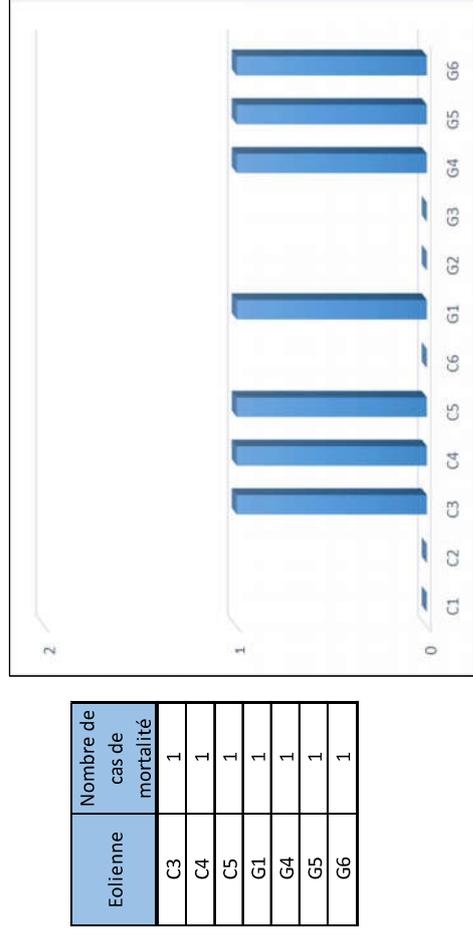
5 BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX

5.1 Typologie des mortalités

5.1.1 Bilan des mortalités par éoliennes

7 oiseaux furent retrouvés sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 6 mars et le 3 novembre 2015 (période tronquée en avril et en mai). Pour 45 visites de recherches réalisées au cours de cette période de 6 mois, cela représente une moyenne de 1,17 chauves-souris découvertes par mois pour l'ensemble des 2 parcs éoliens (soit 12 éoliennes). Une plume a été retrouvée, elle est prise en compte dans l'analyse des cas de mortalité mais pas dans le calcul du taux de mortalité car elle n'est pas prise en compte dans les tests.

Figure 36 : Bilan des mortalités des oiseaux constatées en 2015 et répartition par éolienne



On note que 7 des 12 éoliennes ont été à l'origine de mortalités avérées en 2015. Chacune de ces 7 éoliennes ont été à l'origine d'une mortalité constatée (les éoliennes C3, C4, C5, G1, G4, G5, G6). Finalement, ces mortalités sont découvertes **assez uniformément au niveau des 2 parcs**.

5.1.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux

Le premier graphique de la Figure 37 page 41 représente la chronologie des découvertes de cadavres d'oiseaux sur l'ensemble du parc éolien en 2015.

Le délai qui s'écoule entre la mort des oiseaux et la date des découvertes des cadavres dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur. Comme le protocole d'étude était basé en 2015 sur une ou deux visites de terrain par semaine selon la période, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier ;

- entre 0 (cas d'un oiseau tombé la nuit précédant la visite) et 3-4 jours (en période de 2 visites par semaine)
- entre 0 (cas d'un oiseau tombé la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (en période d'une seule visite par semaine)
- parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

Si on veut tenter d'analyser même grossièrement cette chronologie des mortalités avec différents facteurs d'influence, nous cherchons à estimer la date de la mortalité de chaque cadavre en fonction de son état au moment de la découverte. Quand il est trouvé, chaque cadavre fait en effet l'objet d'une description de son état de décomposition, avec estimation approximative de la date de la mort.

Comme pour les chauves-souris, plusieurs critères d'appréciation peuvent être utilisés en parallèle (cf : 4.1.3 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris)

Cette estimation reste approximative pour la présente étude, le niveau de précision nécessaire pour la suite des analyses étant aussi assez grossier. Ainsi, il convient de rester prudent sur toute analyse trop fine issue de la chronologie estimée des mortalités. Le deuxième graphique de la page 41 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur une si large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations à postériori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

Précisons que, comparativement à d'autres parcs éoliens suivis dans la région avec la même méthodologie, les mortalités constatées sous ceux de Cuxac-Cabardès et Grand-Bois ont apparemment été peu concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage même si l'état de dégradation de certains cadavres était avancé.

5.1.3 Typologie des cadavres découverts

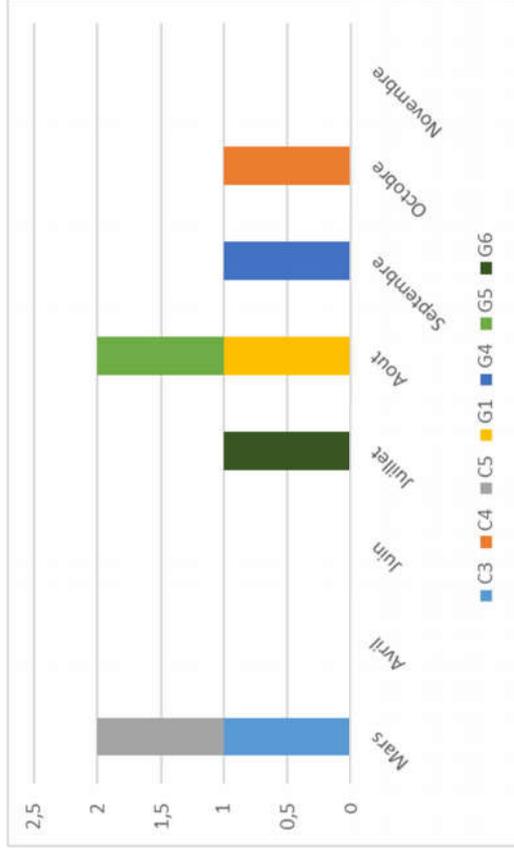
En ce qui concerne les rapports entre les cas de mortalité et leur chronologie, et les éoliennes, nous ne relevons pas de concentration des mortalités sur une période ou une éolienne particulière. L'ensemble des cas de mortalités semble se répartir de manière aléatoire dans le temps et géographiquement.

➤ **Proportion des mortalités estimées par espèces**

Nous analyserons par la suite à quelle phénoménologie du cycle biologique des espèces correspondent ces périodes de mortalités et dans quelles conditions climatiques générales ont-elles pu avoir lieu.

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. Ce fut le cas en 2015 sur certains cadavres (ou plumés) mais la plupart étaient bien conservés au moment de la détermination. Dans notre cas précis, tous les cadavres ont fait l'objet de plusieurs analyses biométriques.

Figure 38 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2015



Le **cortège d'espèces impactées en 2015 est assez diversifié** puisque parmi les 7 cadavres découverts, 5 espèces différentes sont représentées (une plumée non identifiée précisément). Ces 5 espèces déterminées sont toutes des passereaux correspondant à :

- Des espèces présentes localement tout au long de l'année mais possible migratrices aussi (Rougequeue noir, Rougegorge familier, Roitelet à triple bandeau)
- Une espèce migratrice et potentiellement présente en été (Martinet noir)
- Une espèce migratrice et non présente en période estivale (Gobemouche noir)

Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes.

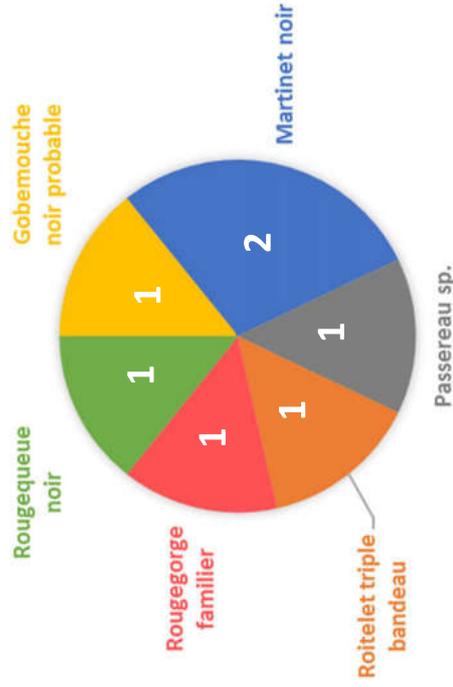
Figure 39 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes

Nom Français	Nom Latin	Type	Statuts de protection			Statuts de conservation	
			Protéc. Fr.	U. F. Protéc.	Conv Berne	Listes rouges nationales	Espèce déterminante ZNIEFF MP
Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	Passereau	P	—	2	Préc. mineure	—
Martinet noir	<i>Apus Apus</i>	Passereau	P	—	3	Préc. mineure	—
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapillus</i>	Passereau	P	—	2	Préc. mineure	—
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Passereau	P	—	3	Préc. mineure	—
Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	Passereau	P	—	2	Préc. mineure	—

5.1.4 Relation espèce / éolienne

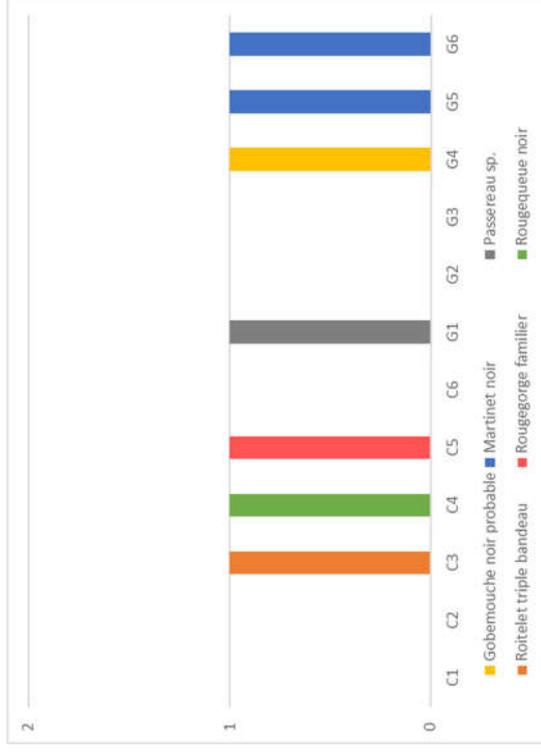
Le graphique suivant synthétise la proportion des effectifs touchés par espèces.

Figure 40 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2015



Le graphique suivant précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 41 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2015



Le graphique précédent montre l'absence de regroupement d'un groupe d'espèces sous une éolienne en particulier.

Sur ces deux parcs, il apparaît que les éoliennes sont de petite taille (hauteur en bout de pale de l'ordre de 120 m), et que la distance entre le bout de pale et le sol est d'une trentaine de mètres. L'ensemble de ces éoliennes est situé à une quinzaine de mètres au-dessus de la canopée (voire moins selon le relief).

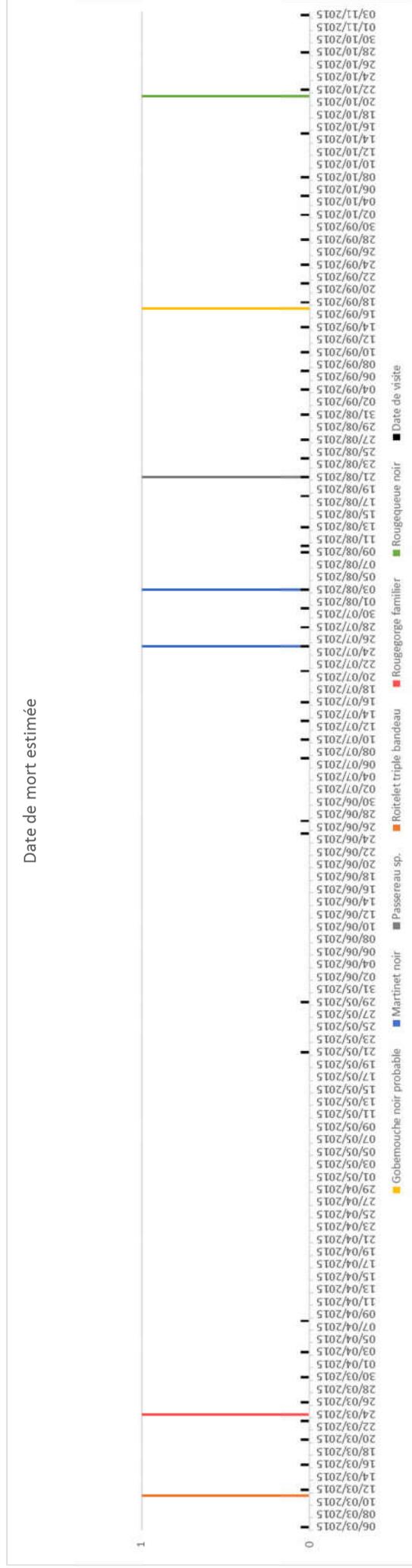
➤ Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

On s'aperçoit que les mortalités ne sont pas regroupées sur une très courte période mais sont plutôt étalées tout au long de la période de suivi.

Les deux martinets noirs sont tout de même découverts à moins de 15 jours d'écart fin juillet et début août.

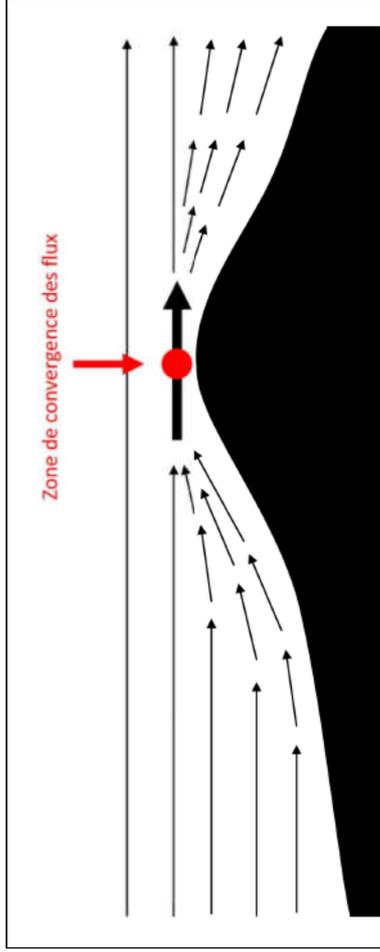
La figure suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèces en 2015. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

Figure 42 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2015



Un roitelet à triple bandeau (*Regulus ignicapilla*) a été découvert le 12 mars 2015 sous l'éolienne C3. Il s'agissait d'un mâle adulte dont la date de mort est estimée au 11 mars 2015. Le Roitelet à triple bandeau n'était pas mentionné dans l'étude d'impact réalisée par Les Ecologistes de l'Euzière. Il s'agit d'une espèce protégée en France, mais dont les statuts de conservation ne sont pas défavorables. D'après l'Atlas des oiseaux nicheurs de Midi Pyrénées (5 km au nord des parcs éoliens), le Roitelet à triple bandeau est noté comme nicheur sur certains secteurs de la Montagne noire. Il est donc possible qu'il puisse nicher sur le site ou ses alentours. Cependant la période de fin février et début mars correspond à la période de migration pour cette espèce. Cette espèce forestière est peu courante en haut vol, seuls quelques vols de transits peuvent éventuellement se dérouler à hauteur du champ de rotation des pales d'éoliennes. Il serait donc plus probable que cet individu ait été impacté lors de vols de migration nocturne qui se déroulent généralement à des hauteurs de vol importantes. De ce fait, le parc éolien étant situé au niveau d'une crête, il est possible que par concentration altimétrique des vols de migration (cf : Figure 43), cet individu de roitelet à triple bandeau se soit retrouvé au niveau du champ de rotation des pales d'éoliennes.

Figure 43 : Représentation schématique du phénomène de concentration altimétrique des passages migratoires nocturnes (MEEEDDM 2010)



Un rougegorge familier (*Erithacus rubecula*) a été découvert le 26 mars 2015 sous l'éolienne C5. Il s'agissait d'un adulte mais le sexe n'a pu être déterminé. Le Rougegorge familier était mentionné comme espèce résidente sur le site lors de l'étude d'impact de 2004. Il s'agit d'une espèce protégée mais dont les statuts de conservation ne sont pas défavorables. Il est donc très probable qu'il puisse nicher sur le site. Cependant la période de mars à début avril correspond à la période de migration pour cette espèce. Cette espèce assez forestière (mais aussi colonisant les haies) est peu courante en haut vol, seuls quelques vols de transits peuvent éventuellement se dérouler à hauteur du champ de rotation des pales d'éoliennes. Comme pour le roitelet à triple bandeau, il serait plus probable que cet individu ait été impacté lors de vols de migration nocturne qui se déroulent généralement à des hauteurs de vol importantes, et par concentration altimétrique des vols de migration (cf : Figure 43), cet individu se serait retrouvé au niveau du champ de rotation des pales d'éoliennes.

2 martinets noirs (*Apus apus*) ont été découverts le 25 juillet et le 3 août 2015. Les dates de mort estimées sont respectivement le 25 juillet et le 3 août 2015 et les éoliennes concernées sont respectivement l'éolienne G6 et l'éolienne G5. Le Martinet noir est une espèce protégée mais dont les statuts de conservation ne sont pas défavorables. Cette espèce est notée comme estivante et présente surtout au niveau de milieux anthropisés lors de l'étude d'impact de 2004. De ce fait, d'après l'étude d'impact de 2004, le Martinet noir semble être observé au niveau des villages et hameaux alentours mais peu sur le site dont le milieu est peu anthropisé. A cette période de l'année, cette espèce est dans sa phase de migration postnuptiale. Les deux individus retrouvés mort au pied des éoliennes devaient certainement être en migration. Le Martinet noir est connu pour être souvent retrouvé mort au pied des éoliennes (il est la 11e espèce la plus touchée en Europe (T. DURR, 2015)). Cette forte sensibilité s'explique par sa hauteur de vol à risque, correspondant parfaitement au champ de rotation des pales d'éolienne lors de prises d'altitudes au niveau d'ascendances thermiques ou dynamiques.

Figure 44 : Cliché du martinet noir (*Apus apus*) découvert le 25 juillet 2015 sous G6



Un gobemouche noir probable (*Ficedula hypoleuca*) fut découvert le 21 septembre 2015 sous l'éolienne G4, pour une date de mortalité estimée autour du 17 septembre. Pour cette espèce peu connue comme nicheuse en Midi Pyrénées, ces dates correspondent clairement à la phase des migrations postnuptiales (septembre). Septembre correspond d'ailleurs à la principale période de l'année pendant laquelle l'espèce est contactée dans la région, puisque les migrations pré-nuptiales s'effectuent plutôt par une voie située à l'Est de l'Europe (mais quelques individus sont aussi contactés à l'ouest). Comme la plupart des migrants nocturnes, le Gobemouche noir est supposé migrer assez haut pour s'affranchir des obstacles de relief. Dans le cas des parcs éoliens de Cuxac-Cabardès et Grand-Bois, il est possible que les éoliennes étant placées sur la crête d'un relief assez isolé par rapport à son entourage, ces vols hauts se soient retrouvés dans le champ de rotation des éoliennes, par concentration altimétrique des passages à ce niveau (cf : Figure 43). La distance assez importante pour cette espèce vis-à-vis du mat de l'éolienne

(45 m) va dans le sens de cette hypothèse, même si comme nous avons retrouvé seulement 2 ailes pour cet individu, il est possible qu'il ait été prédaté et donc déplacé.

Un rougequeue noir (*Phoenicurus achrurus*) a été découvert le 22 octobre 2015 sous l'éolienne C4. Il s'agissait d'une femelle adulte dont la date de mort est estimée au 21 octobre 2015. Le Rougequeue noir a été contacté lors de l'étude d'impact de 2004 et il est noté comme étant nicheur sédentaire. Il est donc très probable qu'il puisse nicher sur le site ou ses alentours. Il s'agit d'une espèce protégée en France, mais dont les statuts de conservation ne sont pas défavorables. Malgré son statut de nicheur au niveau du site, la date de mortalité (en dehors de sa période de reproduction) indique plutôt un comportement migratoire. La période de fin septembre et octobre correspond en effet au pic de la migration postnuptiale pour cette espèce. Comme la plupart des autres espèces impactées, il serait probable que cet individu (s'étant probablement reproduit plus au nord de la France ou de l'Europe) ait été impacté lors de vols de migration nocturne qui se déroulent généralement à des hauteurs de vol importantes. De ce fait, le parc éolien étant situé au niveau d'une crête, il est possible que par concentration altimétrique des vols de migration (cf : Figure 43), cet individu se soit retrouvé au niveau du champ de rotation des pales d'éoliennes.

Figure 45 : Cliché du Rougequeue noir (*Phoenicurus achrurus*) découvert le 22 octobre 2015 sous C4



Le **passereau** impacté le 27 août 2015 sous G1 n'a pu être identifié car il ne persistait que des plumes ne permettant pas une identification précise. Sans une idée de l'espèce impactée, il est difficile d'interpréter les conditions de survenue de ce cas de mortalité.

5.1.5 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

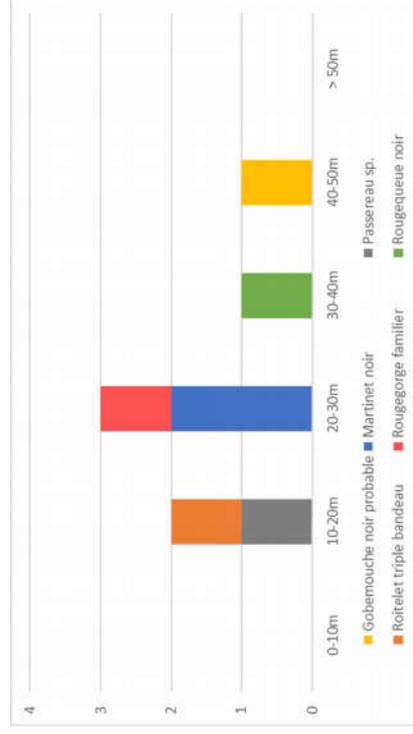
L'expérience montre que la précision de la distance de dispersion des cadavres vis-à-vis des mâts des éoliennes peut permettre de préciser la nature des causes de mortalité. Ainsi sous le parc éolien de

Castelneau Pégayrols ce paramètre était apparu caractéristique des mortalités occasionnées dans la partie basse du champ de rotation des pales (BEUCHER et KELM 2010).

Lors du suivi de 2015, le graphique suivant témoigne d'une dispersion assez marquée. En effet la moitié des cadavres de 2015 est retrouvée au-delà de 20 m. Cette remarque est assez étonnante. Elle laisse présager des causes ou des conditions de mortalités particulières,

- des individus impactés dans la partie haute du champ de rotation des pales d'éoliennes de façon à être dispersés par le vent sur de plus grande distance,
- des individus impactés sur l'extrémité du rotor et peut être au-dessus de la canopée...

Figure 46 : Graphique de répartition des cadavres de 2015 par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



Finalement, nous retiendrons que les dispersions permettent de supposer qu'au moins une partie des mortalités constatées peut être liée à des vols hauts (au-delà la partie basse du rotor).

La distance moyenne de dispersion pour les 7 cadavres est d'environ 25,1 m. Si on se réfère aux valeurs moyennes indiquées par NIERMANN et al. (2009) pour les petites espèces, les cadavres découverts sous les parcs de Cuxac-Cabardès et Grand-Bois en 2015 sont en moyenne 1.5 à 2 fois moins dispersés que les moyennes évoquées par NIERMANN. On peut alors plutôt supposer qu'une partie des mortalités ait été occasionnée, soit à des hauteurs de vols correspondant à la partie basse du champ de rotation des pales d'éoliennes, soit par vent faible. Les deux hypothèses sont possibles, mais uniquement concernant les cas de mortalité les plus proches de l'éolienne.

Par contre, le fait d'avoir retrouvé la moitié des cadavres à plus de 20 m du mât des éoliennes tend à supposer que certains des cadavres soient quand même tombés depuis une certaine hauteur de vol, ou bien qu'ils aient été heurtés sur la partie latérale du champ de rotation des pales (notamment en rapport avec l'activité en isière).

5.2.2 Les formules utilisées

Les formules utilisées sont identiques à celles du calcul du taux de mortalité des chauves-souris (cf : 4.2.2 Les formules utilisées page 30)

5.2.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2015, deux tests ont été menés le 30 mars et le 14 septembre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

➤ Taux de détection

Figure 48 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb OIS déposé	Nb OIS découverte	Taux de détection
Moyen	Moyenne	Moyenne	33	16	0,48
Type 1	Moyenne	Moyenne	11	7	0,64
Type 2	Moyenne	Moyenne	11	6	0,55
Type 3	Moyenne	Moyenne	11	3	0,27
Moyen	C2	30/03/2015	18	5	0,28
Type 1	C2	30/03/2015	6	2	0,33
Type 2	C2	30/03/2015	6	3	0,50
Type 3	C2	30/03/2015	6	0	0,00
Moyen	C4	14/09/2015	15	11	0,73
Type 1	C4	14/09/2015	5	5	1,00
Type 2	C4	14/09/2015	5	3	0,60
Type 3	C4	14/09/2015	5	3	0,60

d	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	55,55	41,66	2,79
Période 1	52,03	46,34	1,63
Période 2	56,20	40,83	2,98

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavre découvert par l'observateur :

$$d = \frac{\text{Nombre de cadavres découverts}}{\text{Nombre de cadavres déposés}}$$

Le taux de détection étant logiquement lié à la hauteur de végétation, nous avons séparé les calculs en fonction de cette hauteur de végétation. 3 types de recouvrement du sol ont été créés :

- Type 1 : Gravier et chemin d'accès (pas ou très peu de végétation)
- Type 2 : Végétation d'une hauteur inférieure à 30cm et peu dense
- Type 3 : Végétation d'une hauteur supérieure à 30cm et dense.

Rappelons qu'au niveau de ces calculs relatifs aux oiseaux, sont utilisés les résultats obtenus à partir des cadavres test de toutes les tailles de façon à représenter l'éventail de tailles différentes des espèces d'oiseaux (Rapace de grande taille au passereaux de taille plus petite).

Les zones boisées n'ont pas été prospectées car elles ne peuvent être prospectées de façon rigoureuse (cadavres dans les branchages, au sol...).

On note logiquement que le taux de détection semble diminuer avec la hauteur de végétation. Les détections sont aisées sur le revêtement gravillonné qui entoure les éoliennes. Elles le sont beaucoup moins quand la végétation dépasse 30 cm.

➤ Taux de persistance

Figure 49 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance.

Type végétation	Eolienne	Date test	Départ	1j	2j	4j	6j	7j	8j	9j
Moyen	Moyenne	Moyenne	33	31	25	8	8	6	0	0
Type 1	Moyenne	Moyenne	11	10	8	2	2	1	0	0
Type 2	Moyenne	Moyenne	11	10	8	2	2	2	0	0
Type 3	Moyenne	Moyenne	11	11	9	4	4	3	0	0
Moyen	C2	30/03/2015	18	18	12	1	1	1	0	0
Type 1	C2	30/03/2015	6	6	4	0	0	0	0	0
Type 2	C2	30/03/2015	6	6	4	0	0	0	0	0
Type 3	C2	30/03/2015	6	6	4	1	1	1	0	0
Moyen	Toutes	14/09/2015	15	13	13	7	7	5	0	0
Type 1	Toutes	14/09/2015	5	4	4	2	2	1	0	0
Type 2	Toutes	14/09/2015	5	4	4	2	2	2	0	0
Type 3	Toutes	14/09/2015	5	5	5	3	3	2	0	0

	Tm	p	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	2,85	0,28			
Période 1	2,38	0,23	52,03	46,34	1,63
Période 2	2,39	0,23	56,20	40,83	2,98

■ Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

« p », utilisé pour la formule de Winkelman (+ Erickson adaptée), caractérise un taux de persistance sur la base de l'intervalle de temps de retours moyen entre deux visites au cours de la campagne de suivi (I).

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2015 (cf. Figure 47 page 47). Le tableau suivant détaille ce calcul. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de $I = 3.85$ j (mais entre 3.78 et 4.13 selon les périodes).

Durée intervalle (en jour)	Nombre d'intervalle	Total
1	1	1
2	1	2
3	18	54
4	11	44
5	3	15
6	4	24
7	2	14
8	0	0
9	0	0
10	1	10
Total	40	154
Intervalle pondéré (tot)		3,85

Période 1	4,13
Période 2	3,78

■ Paramètre T_m (formules de Erickson + Jones + Huso)

Le paramètre T_m traduit la durée moyenne de persistance d'un cadavre. T_m se calcule sur la durée au bout de laquelle tous les cadavres test ont disparus. Dans notre cas précis, T_m est égal à **2.85** (mais entre 2.38 et 2.39 sur les périodes 1 et 2 en prenant en compte les types de végétation).

La durée moyenne de persistance d'un cadavre en jour est donc de :

$$t_m = \frac{Nb \text{ cadavres persistant } 1 \text{ jour}_{j+1} + Nb \text{ cadavres}_{j+2} \times 2 + Nb \text{ cadavres}_{j+4} \times 4 + \dots}{Nb \text{ cadavres présent}_{\text{départ}}}$$

➤ **Coefficient de correction surfacique**

Le coefficient surfacique sert à corriger le fait que certaines zones autour des éoliennes (notamment les forêts) ne soient pas prospectées. Plusieurs formules peuvent être utilisées pour prendre en compte ce biais.

- Formule basée sur l'hypothèse d'une dispersion linéaire des cadavres autour des mâts d'éoliennes

La formule la plus classiquement utilisée suppose que la dispersion des cadavres sous les éoliennes, mais aussi l'efficacité de la recherche est uniforme selon la distance au mât de l'éolienne.

Ce coefficient est égal à :

$$a = 1 + \left(1 - \frac{\text{Surface réellement prospectée}}{\text{Surface à prospectée (théorique)}}\right)$$

Dans notre cas précis, sur chacune des 12 éoliennes suivies, le suivi devait permettre de couvrir une surface de 1ha par éolienne. Mais la plupart d'entre elles étant situées en contexte boisé ou à proximité de lisières boisées, les zones situées dans ce type de milieu n'ont pas été prospectées. Aussi, la surface qui a réellement été prospectée a été estimée via l'outil SIG. La surface totale prospectée en 2015 est ainsi égale à 3.60 ha sur les 12 ha théoriques, soit légèrement inférieur à un tiers.

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 2 et 4 jours, on estime le nombre de cadavres restant à 1 jours. Ainsi, on obtient une valeur de $p = 0.28$ (mais à 0.23 sur les périodes 1 et 2 en prenant en compte les types de végétation).

Figure 50 : Tableau des surfaces prospectées par éoliennes (en moyenne en 2015)

Eolienne	C1	C2	C3	C4	C5	C6	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Total
Surface prospectée en 2015 (ha)	0,345	0,34	0,302	0,276	0,298	0,362	0,268	0,24	0,34	0,25	0,309	0,27	3,6

Le coefficient de correction surfacique de 2015 est donc égal à : $a = 1 + (1 - 3.60/12) = 1.70$

- Formule prenant en compte la dispersion des cadavres propre au site (Arnett 2005)

Arnett (2005) propose un mode de calcul du coefficient surfacique qui prend en compte à la fois la dispersion des cadavres découverts sous les éoliennes et la proportion de surfaces prospectées par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne. Cette estimation est basée sur la formule suivante, revue par CORNU & VINCENT 2010. Il s'agit de subdiviser la surface prospectable en cercles centrés sur l'éolienne et dont les rayons respectifs sont de 14, 28, 42 et 56 m, de sorte de la surface considérée soit proche des 1 ha de prospection réalisés sous la plupart des parcs éoliens (pour permettre des comparaisons). La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

$$A = \frac{\sum_k C_k / S_k}{\sum_k Ck}$$

Avec

- A = coefficient de correction surfacique pondéré par la dispersion
- C = nombre de cadavres retrouvés dans le cercle k
- S = proportion de la surface du cercle k prospectée.

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2015 en fonction des surfaces prospectées.

	Surface réellement prospectée (total)	Pourcentage prospecté	Nb cadavre OIS
42m - 56m	0,692600	1,6749	1
28m - 42m	1,006000	27,1867	1
14m - 28m	1,319000	59,3288	3
0 - 14m	0,710400	96,4358	1

a (OIS)	11,58
----------------	--------------

A = 11,58

Cette valeur de coefficient surfacique, très élevée (généralement sa valeur est inférieure à 2), est due à la répartition des cadavres assez éloignée du mat et dans une zone de distance peu prospectée (1,67%). De ce fait, le poids du Gobemouche noir découvert à 45 m de G4 est très important dans le calcul du fait que cette classe de distance n'ait pas été prospectée intensément du fait des boisements. De plus, comme évoqué précédemment, il est possible que ce cas de mortalité ait été déplacé par le prédateur qui a commencé à consommer cet individu (il ne restait que les 2 ailes, le corps ayant disparu). Par exemple, si ce cas de mortalité n'était pas pris en compte, le coefficient surfacique ne serait que de 1.95 soit assez proche du coefficient surfacique linéaire.

Finalemment, la formule de Arnett (2005) prend en compte plus de biais (dispersion des cadavres sous les éoliennes) que la formule linéaire. Par la suite, les calculs seront effectués avec les résultats de coefficients surfaciques calculés avec la formule d'Arnett (2005), plus précise. Nous comparerons les calculs de taux de mortalité avec la formule d'Arnett (2005) prenant en compte du cadavre de Gobemouche noir ou pas.

5.2.4 Présentation des 2 méthodes de calcul

Comme pour le calcul du taux de mortalité des chiroptères, nous avons utilisé deux méthodes pour effectuer l'estimation du taux de mortalité des oiseaux :

- Dans un premier temps les calculs ont été effectués avec des valeurs moyennes pour tous les taux calculés précédemment (sauf pour le taux de détection qui est fortement lié au type de végétation lors de la période de suivi.
- Dans un deuxième temps, afin de prendre en compte cette hétérogénéité de végétation au cours de la période et selon les éoliennes, nous avons recalculé les taux de détection, de persistance ainsi que la durée moyenne de persistance afin de se rapprocher au maximum de la réalité du terrain. Pour cela, nous avons calculé en moyenne, pour chaque période, la proportion de chaque type de végétation. Ces valeurs nous ont alors servi à pondérer les différents taux en fonction de ce type de végétation. Ainsi, par exemple, pour la période 1, nous avons en moyenne 52.03 % de la surface prospectée en gravier, 46.34 % en végétation de type 2 (Végétation <30cm), et 1.63 % en végétation de type 3 (végétation haute). Pour le calcul du taux de détection, on prend donc 52.03 % du taux de détection sur le type 1, 46.34 % sur le type 2 et 1.63 % sur le type 3. On a donc un taux de détection unique, mais qui a été pondéré selon le niveau moyen de végétation prospectée au cours de la période.

5.2.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (non prise en compte de l'évolution de végétation)

Vu que l'on ne tient pas compte des types de végétation, le calcul est effectué sans séparer la période de suivi en différentes périodes. Le tableau suivant synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 51 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	6,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,59	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,28	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,85	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	3,85	Pas de temps du suivi
\hat{l}	5,70	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
\hat{e}	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
a	11,58	Coefficient de correction surfacique

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux morts sur la période allant du 6 mars au 8 avril puis du 25 juin au 3 novembre 2015 et pour les 12 éoliennes du parc suivies. Ces résultats sont basés sur l'intégralité du parc éolien et sur 6 mois (discontinus).

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- on divise ces résultats par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- on divise par 6 (6 mois) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux, c'est-à-dire tout au long de l'année).
- On multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères).

Enfinement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 39,55 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 70,03 et 26,53 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées. Rappelons que cette estimation est basée sur un coefficient surfacique qui prend en compte la dispersion des cadavres et qui est certainement surestimé.

Figure 52 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2015 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
		adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	420,15	159,16	159,61	232,12	215,35	237,28
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	35,01	13,26	13,30	19,34	17,95	19,77
Mortalité par éolienne et par mois	5,84	2,21	2,22	3,22	2,99	3,30
Mortalité par éolienne et pour une année	70,03	26,53	26,60	38,69	35,89	39,55
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	840,31	318,32	319,22	464,23	430,69	474,55

Le même calcul a été réalisé en prenant le coefficient surfacique plus rationnel : a = 1.95. Les résultats de ce calcul sont présentés dans le tableau de la figure ci-dessous.

Finalement, on aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 6,67 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 11,82 et 4,48 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 53 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2015 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique plus rationnel a = 1,95)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
		adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	70,91	26,86	26,94	39,18	36,35	40,05
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	5,91	2,24	2,24	3,26	3,03	3,34
Mortalité par éolienne et par mois	0,98	0,37	0,37	0,54	0,50	0,56
Mortalité par éolienne et pour une année	11,82	4,48	4,49	6,53	6,06	6,67
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	141,82	53,72	53,88	78,35	72,69	80,09