

3. Annexe 3 : Évaluation de l'impact sur le Chat forestier par Modélisation SIM-Oïko

Pour analyser le fonctionnement du Chat forestier dans le secteur de Saverne, un simulateur écologique, SimOïko, a été utilisé. L'étude complète réalisée par Terroiko possède un volume de 41 pages.

**Analyse du fonctionnement du chat forestier dans le secteur de Saverne
et conception de mesures de compensation au sein de la séquence ERC**

Rapport d'étude

Catherine de Roincé

03 février 2020



TerrOïko

Table des matières

<i>A. Objectifs et méthodologie générale de l'étude</i>	3
<i>B. Paramétrage de SimOïko</i>	8
<i>C. Exploitation des résultats de simulation du fonctionnement du chat forestier</i>	23
<i>D. Impacts résiduels du projet « État après extension » sur l'état de conservation du chat forestier</i>	25

Table des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des paramètres retenus pour la simulation du chat forestier	10
Tableau 2 : Habitats de vie du chat forestier retenus pour la simulation	12
Tableau 3: Exemple de tableau de conversion pour le chat sauvage dont la distance de dispersion maximale est de 80 km.....	16
Tableau 4 : Paramétrage de l'habitat du chat forestier (Ph) et des coefficients de fraction (Cp)	16
Tableau 5 : Liste des données utilisées pour la réalisation de l'occupation du sol	19
Tableau 6 : Valeur et interprétation de la légende des cartes de résultats de SimOïko	23
Tableau 7 : Évolution de la taille et la stabilité de la population de chat forestier au sein du patch d'habitat modifié par le projet d'extension	27
Tableau 8 : Synthèse de l'analyse de l'équivalence écologique entre l'état de référence et le scénario de compensation	37

Table des Figures

Figure 1: Aire d'étude pour la simulation numérique	8
Figure 2 : Localisation des vingt-deux patchs d'habitats du chat sauvage définis pour la simulation	14
Figure 3 : Représentation des coefficients de friction en fonction de la réduction de la distance parcourable	15
Figure 4 : Occupation du sol à l'état initial (El) et à l'échelle de la zone d'étude étendue (ZEE)	20

Figure 5: Occupation du sol à l'état initial (EI) à l'échelle de la zone d'étude rapprochée (ZER)	21
Figure 6 : Occupation du sol après l'extension (SC1) à l'échelle de la zone d'étude rapprochée (ZER)	22
Figure 7: Comparaison entre deux états de fonctionnement de dynamique de populations réalisés avec SimOïko	24
Figure 8 : Patch d'habitat de la zone d'extension	25
Figure 9 : Carte du fonctionnement métapopulationnel du chat forestier sur la zone d'étude rapprochée. Pour chaque patch il est indiqué le nombre d'individus moyen estimé.	29
Figure 10 : interprétation du fonctionnement initial du réseau écologique de la zone d'étude rapprochée pour le chat forestier	30
Figure 11 : Variation des déplacements du chat forestier sur la zone d'étude rapprochée entre l'état après extension et l'état initial.....	31
Figure 13 : Comparaison de la fonctionnalité des patchs d'habitat du chat forestier en tant que relais dans le réseau écologique	32
Figure 12 : Différence de fonctionnalité des patchs d'habitat du chat forestier en tant que relais dans le réseau écologique entre l'état initial et l'état après extension.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 14 : Évolution de la taille de population moyenne de chat forestier pour l'état initial (courbe bleue) et de son intervalle de confiance à 95% calculé à partir de 30 itérations (courbes pointillées vertes). Les vingt-cinq premières années correspondent à une période de stabilisation liée à la simulation. Elles ne peuvent être prises en compte dans l'analyse des résultats.	33
Figure 15 : Évolution de la taille de population moyenne de chat forestier pour l'état après extension (courbe bleue) et de son intervalle de confiance à 95% calculé à partir de 30 itérations (courbes pointillées vertes). Les vingt-cinq premières années correspondent à une période de stabilisation liée à la simulation. Elles ne peuvent être prises en compte dans l'analyse des résultats.	33
Figure 16 : Fonctionnement du chat forestier sur la zone d'étude étendue à l'état initial.....	34
Figure 17 : Fonctionnement du chat forestier sur la zone d'étude étendue à l'état après extension	35
Figure 18 : Noyaux de populations identifiés par analyse des flux d'individus dispersants.....	36

A. Objectifs et méthodologie générale de l'étude

I \ Objectifs de l'étude à partir des observations déjà acquises sur le terrain

L'impact du projet d'extension de l'entreprise Kuhn a été étudié par le bureau d'étude Egis. Un enjeu sur le chat forestier, espèce protégée, a émergé au cours de leurs investigations de terrain. Il se trouve en effet que plusieurs chats forestiers ont été observés dans la zone de projet. Afin de prendre en compte la biologie de l'espèce, il est nécessaire d'étudier le fonctionnement démographique et les déplacements de cette espèce dans la zone de projet. Le présent diagnostic vise donc à répondre aux questions suivantes :

- La zone d'étude est-elle fonctionnelle pour le chat forestier ?
- La disparition de l'habitat forestier du site risque-t-elle d'affecter significativement la démographie et les déplacements du chat forestier ?

II \ SimOïko : simulateur des dynamiques de populations et des déplacements

La plateforme de simulation numérique SimOïko, utilisée pour évaluer la fonctionnalité écologique des habitats et l'importance des populations susceptibles d'être présentes, est dérivée du modèle de recherche MetaConnect développé lors de la thèse de S. Moulherat au CNRS (Moulherat 2014).

SimOïko valorise les travaux de recherche issus de plusieurs projets nationaux et européens concernant le fonctionnement des métapopulations animales et végétales (ANR : Mobicène, DIAMES, Projets européens : FP6 TenLAMAS et FP7 SCALES). SimOïko a été testé et validé par la comparaison des résultats obtenus grâce à ce simulateur avec des résultats obtenus par d'autres modèles ainsi que par la comparaison avec des données réelles issues du terrain. Ces validations ont été effectuées pour chaque module de base de SimOïko et ont donné lieu à publication scientifique (Moulherat 2014, Gunton et al. 2016, Calvet et al. in prep).





Pour chaque espèce simulée avec SimOïko, les résultats de simulation permettent de comprendre finement le fonctionnement des populations. Pour chaque espèce, l'occupation du sol est utilisée comme donnée d'entrée du simulateur. L'ensemble des milieux naturels sont qualifiés au titre de leur potentialité en tant qu'habitat naturel et de difficulté de l'espèce à le traverser (coefficient de friction).

Dès lors, les simulations peuvent être réalisées et reproduire l'ensemble du cycle de vie de chaque individu de l'espèce ciblée ce qui permet l'estimation de tailles de populations et de probabilités d'extinction globales ainsi que par patch d'habitat potentiel.

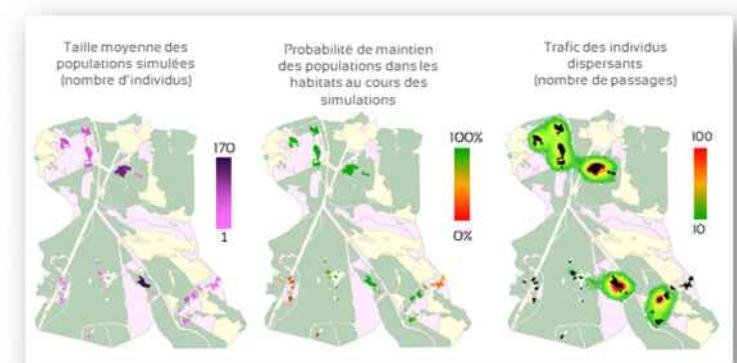


Exemple de cycle de vie tel que reproduit dans SimOïko

Au-delà de la seule dynamique de la population, SimOïko simule explicitement les déplacements des individus en utilisant l'algorithme du *Stochastic Movement Simulator* (Palmer et al. 2011) qui est actuellement l'algorithme de déplacement le plus réaliste qui ait été développé (Coulon et al. 2006, Coulon et al. 2008, Aben et al. 2014, Palmer et al. 2014, Coulon et al. 2015, Moulherat et al. 2019). Cet algorithme suppose que les individus se déplacent en suivant le chemin le plus facile au sein du paysage qu'ils perçoivent. Se faisant, les trajectoires des individus sont enregistrées et les informations sur les lieux de passages et le nombre d'individus passant d'un patch d'habitat à un autre, extrêmement difficiles à mesurer directement sur le terrain mais déterminant du bon fonctionnement des populations, deviennent accessibles.

L'utilisation de SimOïko permet d'aborder les cartes d'habitats d'espèces de manière fonctionnelle. En effet, pour les espèces qui font l'objet de simulations, il est dès lors possible de qualifier, quantifier et hiérarchiser très rapidement et sur la base d'éléments objectifs les éléments paysagers réellement constitutifs de l'habitat de ces espèces et d'en apprécier la fonctionnalité. En sortie, SimOïko fournit **des données écologiques telles qu'observables sur le terrain** :

- **Données démographiques** : taille et probabilité de maintien des populations.
- **Données de déplacement** : trafic d'individus sur le territoire et flux d'individus entre populations.



Visualisation cartographique des données écologiques obtenues avec SimOïko

De par ses caractéristiques techniques, SimOïko est en mesure de **modéliser l'intégralité du cycle de vie des espèces sur un territoire et d'évaluer l'impact d'aménagements sur les dynamiques métapopulationnelles et les réseaux écologiques à différents horizons temporels**.

	Informations nécessaires pour le diagnostic écologique au regard des textes réglementaires							
	Dynamique démographique		Dispersion			Structure génétique		
	Effectifs des populations	Stabilité des populations	Colonisation d'habitats	Zones de passage entre populations	Nombre d'individus dispersants entre populations	Isolément génétique	Consanguinité	
Fonctionnalité des connectivités écologiques		X		X	X	X		
État de conservation des espèces	X	X	X	X	X	X	X	
Résultats exploitables avec SimOïko								
SimOïko	X	X	X	X	X	X	X	

III \ Assister la mise en œuvre de la séquence ERC par simulation du fonctionnement du chat forestier

L'approche d'éco-conception des mesures ERC assistée par simulation numérique permet de quantifier de manière objective et prospective, l'effet d'un ou plusieurs scénarios de mesures. Dans le cadre de cette première phase d'étude, deux états ont été simulés :

Un état de référence : État initial

L'état de référence correspond au fonctionnement de l'espèce au sein de l'occupation du sol actuelle avant le projet. Il permettra de valider par simulation que l'équivalence écologique est atteinte pour l'espèce une fois les mesures ERC mises en place.

Un état du projet d'extension (état projet + mesures d'évitement et réduction déjà définies) : État après extension

Afin de déterminer la localisation et la nature des mesures ERC, l'état projet après mesures d'évitement et de réduction (définies par le bureau d'étude Egis dans le cadre de l'expertise écologique du projet) a été simulé et correspond à l'occupation du sol du projet réalisé juste après travaux. Il permet d'orienter les recherches de mesures ERC spécifiques au chat forestier en apportant une visualisation sur l'aire d'étude étendue du fonctionnement de l'espèce une fois le projet terminé mais en absence de mesures additionnelles.

Il est à noter que les simulations réalisées par SimOïko intègrent une part d'aléas dans la dynamique de l'espèce (aléas climatiques, épidémiologiques etc) afin de déterminer la robustesse des résultats face à ces événements.

Le scénario avec mesures ERC spécifiques au chat forestier sera mis en œuvre quand les mesures de compensation seront déterminées. Ce scénario sera comparé à l'état de référence pour estimer l'équivalence écologique voire le gain écologique en termes de fonctionnement des métapopulations du chat forestier au sein de l'aire d'étude.

B. Paramétrage de SimOïko

I \ Aire d'étude étendue

Le chat forestier étant une espèce à large aire vitale, l'aire d'étude est élargie autour de Saverne. De plus, il a semblé pertinent d'utiliser comme zone d'étude une aire de simulation étendue pour pouvoir intégrer les échanges d'individus entre le massif forestier des Vosges du nord et la vallée de la Zorn. Ceci permet d'inclure une partie de la plaine d'Alsace côté Saverne qui paraît être importante dans les déplacements du chat forestier.

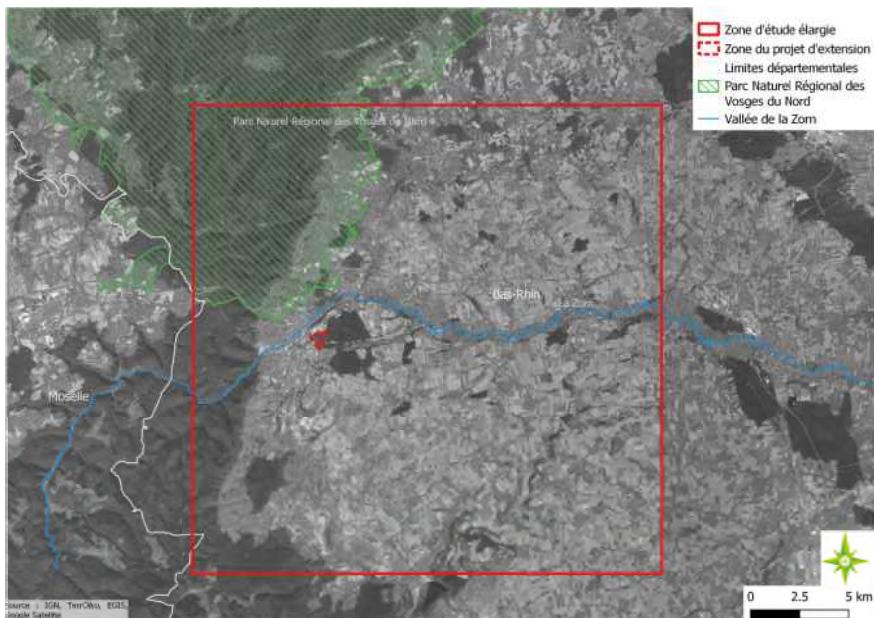


Figure 1: Aire d'étude pour la simulation numérique

La zone d'étude permet donc de traiter la potentialité de différents sites compensatoires ainsi que d'identifier, dans une relative proximité spatiale, les secteurs à forte plus-value fonctionnelle. Cette aire d'étude étendue permet en outre de bien comprendre les interactions des réseaux écologiques de la zone avec ceux des territoires adjacents et d'assurer ainsi la cohérence entre l'ensemble des réseaux écologiques de ces espaces.

II \ Cycle de vie du chat forestier

Paramètres retenus

La dynamique et les déplacements du chat forestier ont été simulés sur l'ensemble de la zone d'étude. Les détails du cycle de vie et du paramétrage utilisé sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse des paramètres retenus pour la simulation du chat forestier

Cycle de vie	Explications des paramètres	Paramétrage retenu
<p>Dispersion : - d_{max}: distance maximale de dispersion qui correspond à la capacité motrice des individus - d_{disp}: probabilité de dispersion : probabilité qu'un juvénile quitte son patch pour s'installer dans un autre patch</p> <p>Survie : - s_0: survie des chatons - s_1: survie des juvéniles - s_2: survie des adultes</p> <p>Recrutement : - g: coefficient de recrutement, dépendant du patch dans lequel se trouve chaque juvénile et de la compétition des autres adultes du patch pour que le juvénile s'établisse et se reproduise dans ce patch</p> <p>Reproduction : - F: fécondité des femelles par année - σ: sex-ratio</p>	<p>Dispersion : - $d_{max} = 80km$ - $d_{disp} = 40\%$ - $s_0 = 0,68$ - $s_1 = 0,68$ - $s_2 = 0,68$ - $F = 7,73$ - $\sigma = 0,5$</p>	

TerrOiko / p. 10

Justification du paramétrage

La période de reproduction du chat forestier s'étend entre janvier et juin bien que le pic d'activité principal soit compris entre début janvier et fin février. Les mises-bas ont généralement lieu au début du printemps (deux tiers des naissances ont lieu entre le mois de mars et avril) (Stahl & Léger, 1992). Les femelles mettent bas entre 1 et 6 chatons par portée (Sordello R., 2012). D'après Léger et al., (2008), les portées ont des tailles comprises entre 3 et 4 jeunes avec un nombre de jeune moyen par portée de 3,1. Une autre étude estime que le taux de fécondité moyen (F) du chat forestier est de 7,73 (Jones et al., 2009). Pour cette étude, le taux de fécondité est pondéré par la survie moyenne des chatons selon l'équation $s_0 * F$. Le taux de survie moyen des chatons est de 0.68 cependant chaque chaton se voit attribuer un taux de survie qui est tiré dans une loi mathématique (loi normale) ainsi le taux de survie de chaque chaton varie autour de 0.68. Ceci permet de prendre en compte une certaine variabilité sur le nombre de chatons par femelle et par an comme reporté dans l'étude de Sordello (2012) et de Léger et al., (2008).

Au cours de l'automne, les chatons sont rejettés par leur mère (Sordello R., 2012). Les chatons qui auront survécu à l'hiver (s_0) donneront les juvéniles de l'année suivante. C'est à ce stade que les individus dispersent (d_{disp}). Les mâles semblent disperser plus loin que les femelles, car ils ne peuvent pas se reproduire tant qu'un autre mâle occupe le territoire (Kraft, 2008). Une étude réalisée en Allemagne a permis d'estimer des distances de dispersions comprises entre 3 et 55 km du lieu de naissance (Stahl & Léger, 1992). Des distances maximales de dispersions ont été observées allant jusqu'à 80 km du lieu de naissance (Sordello R., 2012). Il est aussi observé que certains individus adultes quittent leur territoire de plusieurs kilomètres, cependant ils réintègrent leur domaine vital après quelques jours (Sordello R., 2012). Pour la simulation nous avons choisi la distance maximale de 80km car il s'agit de la capacité motrice des individus à se déplacer. La simulation prend en compte cette distance maximale mais tous les individus ne disperseront pas si loin.

Une partie des juvéniles atteindra le stade adulte (s_1). Le recrutement des adultes est conditionné par la densité d'adultes au sein d'un patch (g). Ainsi, si un patch est déjà saturé en adultes reproducteurs, un juvénile aura une probabilité de s'y établir plus faible que dans un patch non saturé. Seule une fraction des adultes survit chaque année (s_2). Les paramètres de survie sont calculés par TerrOiko d'après l'espérance de vie qui est d'environ 10 ans.

III \ Définition des habitats de vie

Paramètres retenus

La Figure 2 présente les patchs d'habitat retenus pour la simulation au sein de l'aire d'étude. Ils correspondent aux habitats forestiers définis dans le Tableau 2

Tableau 2 : Habitats de vie du chat forestier retenus pour la simulation

Habitat (Code EUNIS)
G1 : Forêts de feuillus caducifoliés
G3 : Forêts de conifères
G4 : Formation mixte d'espèces caducifoliées et de conifères

Justification

Le chat sauvage est une espèce forestière. Il est observé principalement dans des forêts de feuillus et mixtes d'altitude modeste. Il peut également être observé dans des forêts de plaine et de colline moyenne altitude (Sordello R., 2012).

Le chat forestier utilise les milieux ouverts et semi-ouverts pour son alimentation puisqu'il chasse et se nourrit en grande partie de campagnols et d'autres petits mammifères de milieux ouverts. Le chat sauvage se retrouve donc également dans des milieux plus ouverts comme des clairières, des lisières ainsi que des prairies naturelles. Une étude sur l'utilisation des différents types d'habitats par le chat sauvage en Espagne a montré une abondance d'individus plus forte dans des paysages de forêts méditerranéennes et de feuillus comparée aux forêts de conifères et aux autres espaces ouverts. La même étude a également mis en évidence une abondance similaire entre forêts de conifères et milieux ouverts (agricoles et plaines) (Lozano J., 2010).

Une autre étude réalisée en Europe a mis en évidence l'importance de la présence de forêts, de cours d'eau et de clairières dans la sélection de l'habitat chez le chat sauvage (Klar et al., 2008). Les massifs forestiers associés à des prairies naturelles sont donc les milieux jugés optimaux pour l'espèce. Les auteurs de cette étude ont montré que le facteur primordial dans la sélection de l'habitat des chats forestiers est la proximité d'une forêt : 75% des mâles et 91% des femelles recensés par l'étude étaient dans une forêt. Ceci peut s'expliquer par la présence de cavités naturelles dans les forêts que le chat sauvage utilise comme abris de gîte et de reproduction. Il s'agit souvent d'arbres creux ou de cavités

sous des racines d'arbres âgés. Il peut également utiliser des chablis comme abris. En période hivernale, ces gîtes doivent être protégés et abrités alors qu'en été, il ne s'agit pas forcément d'un emplacement précis, mais plutôt d'un bosquet dense par exemple (Sordello R., 2012). L'étude sur la sélection de l'habitat en Europe a également souligné le caractère répulsif des villages et des routes pour les chats sauvages. Dans cette étude, la probabilité qu'un chat établisse son territoire diminuait quand le territoire se situait à moins de 900m d'une habitation et/ou de 200m d'une route (Klar et al., 2008). Bien que les routes représentent un caractère répulsif pour l'installation d'un individu, celles-ci ne constituent toutefois pas une barrière aux déplacements. Pour cette étude, nous avons choisi de ne pas limiter les habitats à des patchs se situant à plus de 900m d'une habitation et de 200m d'une route car ceci limiterait très fortement les habitats potentiels de la zone d'étude qui est fortement fragmentée par l'urbain. En ce point, la définition de l'habitat du chat forestier pour la simulation est plus optimiste que ce qui est observé dans l'étude de Klar (2008).

Du fait des capacités motrices et cognitives de cette espèce, les couverts forestiers séparés d'une distance inférieure à 15 m ont été regroupés en un seul patch. Ainsi les petites routes, chemins forestiers, etc. pouvant traverser des forêts ne sont pas considérés comme divisant celles-ci en plusieurs patchs d'habitat.

La densité de chat forestier est difficile à estimer car la taille du domaine vital n'est pas la même selon l'âge et le sexe. De plus, la densité au sein d'un même massif forestier varie également si celle-ci est étudiée avant ou après la période de reproduction et la naissance des chatons. Ainsi, plusieurs études révèlent des densités complètement différentes. Une première étude dans le Bas-Rhin et le Haut-Rhin mentionne des densités comprises entre 0.03 et 0.7 individus pour 100 hectares de massif forestier (soit une densité de 0.0003 à 0.007 individus par hectare). D'autres observations du même ordre de valeur sont faites en Meurthe-et-Moselle et dans les Vosges (Schauenberg P., 1981). D'autres observations provenant d'Allemagne rapportent des densités comprises entre 0.3 et 0.5 individus pour 100 ha (0.003 et 0.005 individus par hectare) dans la zone centrale d'un massif forestier et de 0.2 individus pour 100 ha (0.002 individus par hectare) dans les bordures (Sordello R., 2012). Jones (2009) rapporte une densité de 0.295 individus par hectare. Dans le cadre de cette étude, la capacité d'accueil maximale des patchs retenus est 0.295 individus/ha comme reporté dans Jones et al. (2009). Elle peut paraître excessive par rapport aux densités observées, cependant il est à noter que celles-ci relèvent uniquement les adultes reproducteurs. Or, la capacité d'accueil doit intégrer la présence de l'ensemble des individus (chatons, juvéniles, adultes, etc), c'est pourquoi, nous avons retenues celle de 0.295 individus/ha. Afin de valider ce choix de paramétrage, la cohérence entre les observations de terrain et les tailles de populations simulées a été vérifiée.

IV \ Définition des coefficients de friction des milieux de la zone d'étude

Principe de la méthode de calcul des coefficients de friction (perméabilité)

La méthode de calcul des coefficients de friction utilisée par TerrOïko permet de traduire dans les algorithmes de dispersion la modification des capacités de dispersion des espèces en fonction du type de milieu traversé. La définition de cette interaction passe par l'estimation de coefficients de perméabilité.

Une estimation de ces coefficients sans protocole d'acquisition ni d'harmonisation entre plusieurs sources d'information (avis d'expert et littérature) peut aboutir à des biais de résultats (certains experts notent entre 1-5, d'autres entre 1-100). TerrOïko harmonise les différentes sources d'information pour obtenir des coefficients homogènes et représentatifs de la réalité de terrain.

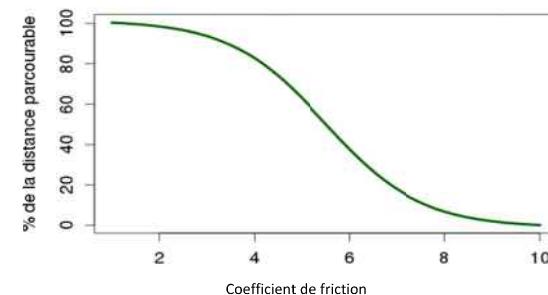


Figure 3 : Représentation des coefficients de friction en fonction de la réduction de la distance parcourable

Les coefficients de perméabilité estimés par TerrOïko sont normalisés entre 1 et 10 où la valeur 1 correspond aux milieux dans lesquels l'espèce peut se déplacer le plus loin (100 % de ses capacités) et la valeur 10 correspond à un milieu infranchissable. Le coefficient de perméabilité d'un milieu donné est alors estimé selon la réduction relative des capacités de dispersion de la guilde dans ce milieu par rapport au milieu de référence (Figure 3).

Selon les sources, l'information de capacité de dispersion d'une espèce dans un milieu est donnée soit par sa distance de dispersion (en kilomètres) soit par une mesure de l'efficacité de dispersion relative au milieu de référence (% ou coefficient de perméabilité sur une échelle linéaire bornée).

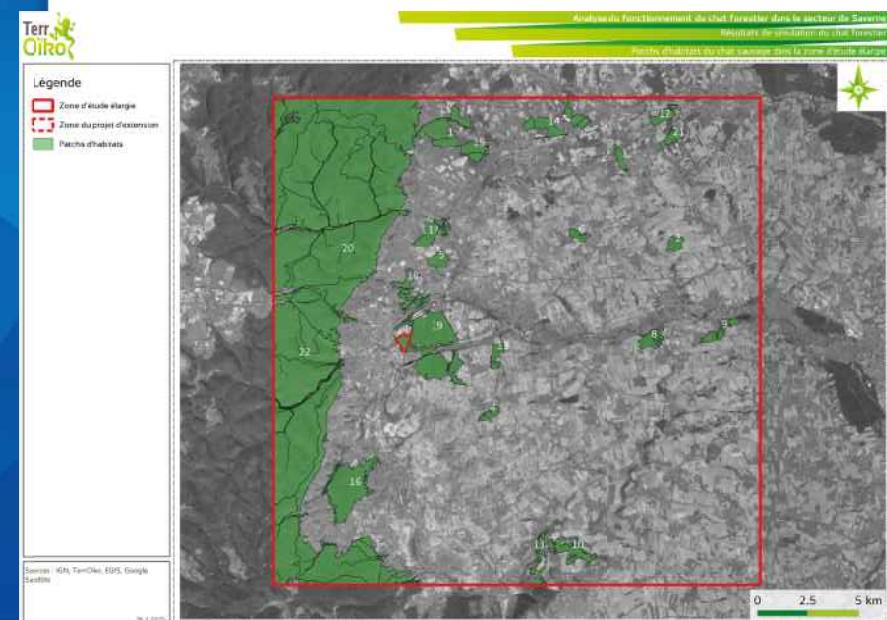


Figure 2 : Localisation des vingt-deux patchs d'habitats du chat sauvage définis pour la simulation

TerrOïko réalise alors des conversions entre distance de dispersion et valeur du coefficient de perméabilité au cours du processus de normalisation. Ainsi, une réduction de 1 point du coefficient de perméabilité peut tout à fait être traduite en une réduction de la distance de dispersion et vice-versa. Ainsi, l'un ou l'autre des paramètres peut être renseigné sans impact sur cette méthode de calcul (Tableau 3).

Tableau 3: Exemple de tableau de conversion pour le chat sauvage dont la distance de dispersion maximale est de 80 km

Réduction des capacités de dispersion	0 %	5 %	20 %	30 %	50 %
Distance maximale de dispersion dans ce milieu (km)	80	76	64	56	40
Coefficient de perméabilité	1	1,87	4,24	5,59	7,75

Paramètres retenus

Les coefficients de perméabilité utilisés pour la simulation du chat forestier sont présentés ci-dessous pour la typologie EUNIS (Tableau 4).

Tableau 4 : Paramétrage de l'habitat du chat forestier (Ph) et des coefficients de fraction (Cp)

Habitat	Code EUNIS	P _h	Cp (%), m
<i>Eaux de surface continentales</i>			
Eaux dormantes de surface	C1		4.2 (-20%, -16km)
Lacs, étangs et mares temporaires	C1.6		4.2 (-20%, -16km)
Eaux courantes de surface	C2		2.7 (-10%, -8km)
<i>Prairies ; terrains dominés par des herbacées non graminoides, des mousses ou des lichens</i>			
Prairies ; terrains dominés par des herbacées non graminoides, des mousses ou des lichens	E		2.7 (-10%, -8km)
Prairies mésiques	E2		2.7 (-10%, -8km)
<i>Landes, fourrés et toundras</i>			
Landes, fourrés et toundras	F		2.7 (-10%, -8km)
Haies	FA		2.7 (-10%, -8km)
Plantations d'arbustes à des fins ornementales ou pour les fruits, autres que vignobles	FB.3		2.7 (-10%, -8km)
Vignobles	FB.4		2.7 (-10%, -8km)
<i>Boisements, forêts et autres habitats boisés</i>			
Boisements, forêts et autres habitats boisés	G	X	1 (-0%, -0km)
Forêts de feuillus caducifoliés	G1	X	1 (-0%, -0km)
Plantations forestières très artificielles de feuillus caducifoliés	G1.C	X	1 (-0%, -0km)
Vergers d'arbres fruitiers et d'arbres à noix	G1.D	X	1 (-0%, -0km)
Forêts de feuillus caducifoliés et sempervirents	G1xG2	X	1 (-0%, -0km)
Forêts de conifères	G3	X	1 (-0%, -0km)
Alignements d'arbre, petits bois anthropiques	G4	X	1 (-0%, -0km)
<i>Habitats agricoles, horticoles, domestiques régulièrement ou récemment cultivés</i>			
Monocultures intensives	I1.1		2.7 (-10%, -8km)
Cultures mixtes des jardins maraîchers et horticulture	I1.2		2.7 (-10%, -8km)
Monocultures extensives	I1.3		2.7 (-10%, -8km)

Friches, jachères	I1.5		2.7 (-10%, -8km)
<i>Zones bâties, sites industriels ou autres habitats artificiels</i>			
Bâtiments indifférenciés	J0		10 (-100%, -80km)
Construction à forte densité	J1		10 (-100%, -80km)
Zones industrielles et commerciales	J1.4 x		10 (-100%, -80km)
Réseaux routiers : Autoroutes	J2.5		
Réseaux ferroviaires : LGV	J4.21		10 (-100%, -80km)
Construction à faible densité	J4.31		10 (-100%, -80km)
Sites industriels d'extraction	J2		9.9 (-90%, 72km)
Réseaux routiers : Bretelles	J3		9.2 (-70%, 56km)
Réseaux ferroviaires : Lignes classiques	J4.24		7.7 (-50%, 40km)
Réseaux de transport et autres zones de construction à surface dure	J4.32		5.6 (-30%, -24km)
Réseaux routiers : Routes secondaires	J4		4.2 (-20%, -16km)
Plans d'eau construits très artificiels	J4.22		4.2 (-20%, -16km)
Canal	J5		4.2 (-20%, -16km)
Dépôts de déchets	J5.41		
Réseaux routiers : Chemins	J6		4.2 (-20%, -16km)
Surfaces pavées et espaces récréatifs	J4.23		2.7 (-10%, -8km)
Parties construites des cimetières	J4.6		2.7 (-10%, -8km)
<i>Complexes d'habitats</i>			
Cultures intensives parsemées de bandes de végétation naturelle	J4.7		2.7 (-10%, -8km)
Pâturages boisés avec une strate arborée recouvrant le pâturage	X07		
Terrains faiblement boisés avec des arbres feuillus caducifoliés	X09		2.7 (-10%, -8km)
Terrains faiblement boisés avec des arbres feuillus sempervirents	X13		
Terrains faiblement boisés avec des conifères	X14		2.7 (-10%, -8km)
Terrains faiblement boisés avec des arbres feuillus et conifères	X15		
	X16		2.7 (-10%, -8km)

Justification

Pour cette étude, nous considérons que les eaux dormantes de surface (C1) constituent une barrière à la dispersion supérieure aux eaux courantes de surface (C2). La capacité motrice du chat sauvage est diminuée de 20% dans le cas des eaux dormantes et de 10% pour les eaux courantes de surface. En effet, les eaux dormantes correspondent à de plus grandes étendues d'eau qui sont plus difficilement traversables ou évitées pour le chat sauvage comme des lacs, étangs, mares... Les eaux courantes de surface correspondent à des sources, des ruisseaux et des cours d'eau temporaires. D'après la classification EUNIS, les plans d'eau douce artificiels tels que les lacs, les réservoirs et les canaux artificiels sont compris dans les eaux dormantes de surface à condition d'y trouver des communautés aquatiques semi-naturelles. Ainsi, les capacités de dispersion du chat sauvage sont les mêmes pour les eaux dormantes de surface que pour les canaux (J5.41).

Les prairies, les terrains dominés par des herbacées non graminoides, des mousses ou des lichens (E), les landes et fourrés (F), les habitats agricoles, horticoles, domestiques régulièrement ou récemment

cultivés (I) et les complexes d'habitats (X) correspondent tous à des habitats suboptimaux mais qui restent facilement traversables par le chat sauvage. Ainsi, le coefficient de friction du milieu est de 2,7.

Les boisements, forêts et autres habitats boisés constituent l'habitat optimal du chat sauvage d'où un coefficient de friction de 1.

Pour les zones bâties et sites industriels, la perméabilité de ces milieux pour le chat dépend de la densité des zones construites. Les déplacements du chat sauvage sont inexistant dans le tissu urbain à forte densité ($J1 ; J1.4 \times J2.5$) d'où un coefficient de friction de 10. Par défaut, les bâtiments indifférenciés ($J0$) sont associés à du tissu urbain à forte densité. Le chat sauvage peut se mouvoir un peu plus facilement dans des constructions à faible densité ($J2$) cependant ces déplacements sont fortement réduits (coefficient de friction de 9,9).

Concernant les réseaux routiers, il est considéré dans le modèle que le chat sauvage ne peut pas traverser les autoroutes et les lignes grandes vitesses du fait des clôtures de part et d'autre de ces infrastructures et de leur taille. Les lignes ferroviaires classiques sont plus facilement traversables car celles-ci ne sont pas clôturées ainsi le coefficient de friction est de 5,6. Il en va de même pour les routes secondaires et les réseaux de transport et autres zones de construction à surface dure ($J4$: comprend les routes et les parkings) où le coefficient de friction est de 4,2. Les chemins se voient attribuer un coefficient de friction de 2,7, car ceux-ci n'impactent pas vraiment les déplacements du chat forestier, mais ne correspondent pas non plus à son habitat de déplacements optimal.

Les surfaces pavées et espaces récréatifs ($J4.6$) qui correspondent aux squares citadins et aux espaces récréatifs à surfaces dures où la circulation est piétonne et la partie construite des cimetières ($J4.7$) ont un coefficient de friction de 2,7 pour le chat sauvage car celui-ci, bien que capable de traverser ce type de milieux, préférera les éviter.

V \ Occupation du sol

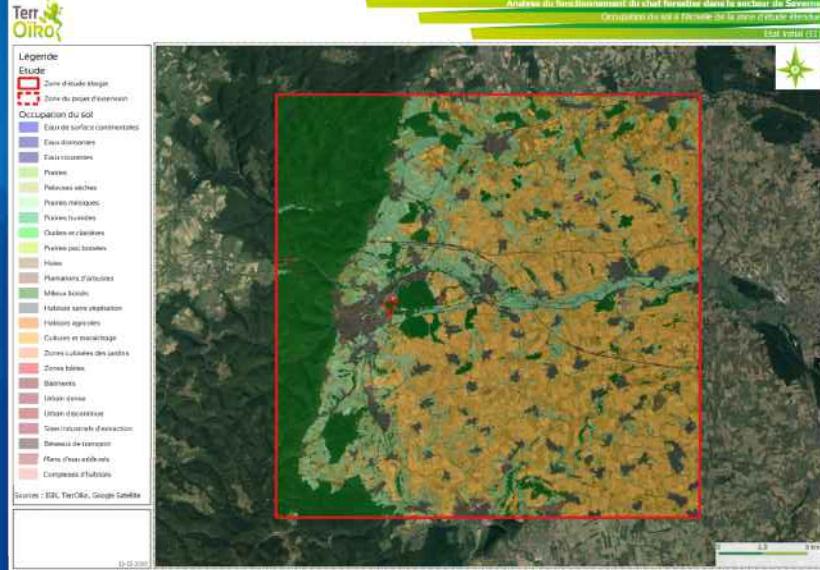
L'occupation du sol (OS) est présentée dans les Figure 4 à Figure 6. L'occupation du sol a été produite à partir des données listées dans le Tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : Liste des données utilisées pour la réalisation de l'occupation du sol

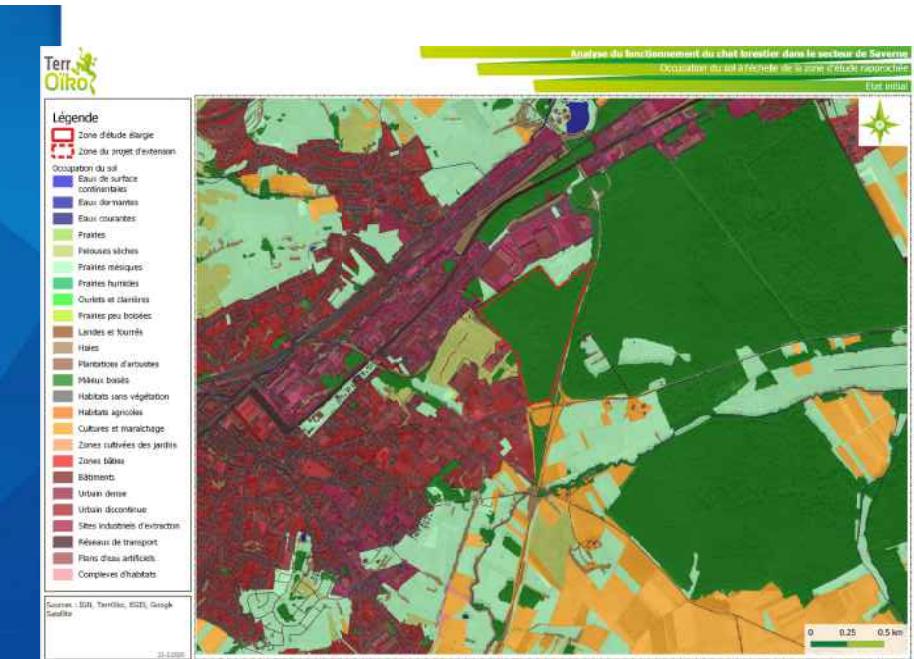
Nom de la donnée	Contenu(s) de la donnée
Corine Land Cover	Occupation du sol à large échelle
Registre Parcellaire Graphique	Parcelles agricoles
BD topo	Forêts, végétation et bâti à fine échelle
BD hydrographie	Réseau hydrographique à fine échelle
BD transport	Réseau ferré et routier à fine échelle

Pour chaque milieu naturel qualifié dans cette OS avec la typologie standard européenne EUNIS, la table attributaire a été renseignée avec les champs suivants :

- Patch d'habitat potentiel (0 = non patch d'habitat potentiel, 1 = patch d'habitat potentiel),
- Coefficient de friction (1 à 10 ou 1 représente une traversabilité très facile et 10 une infranchissabilité)



TerrOïko / p. 20



TerrOïko / p. 21

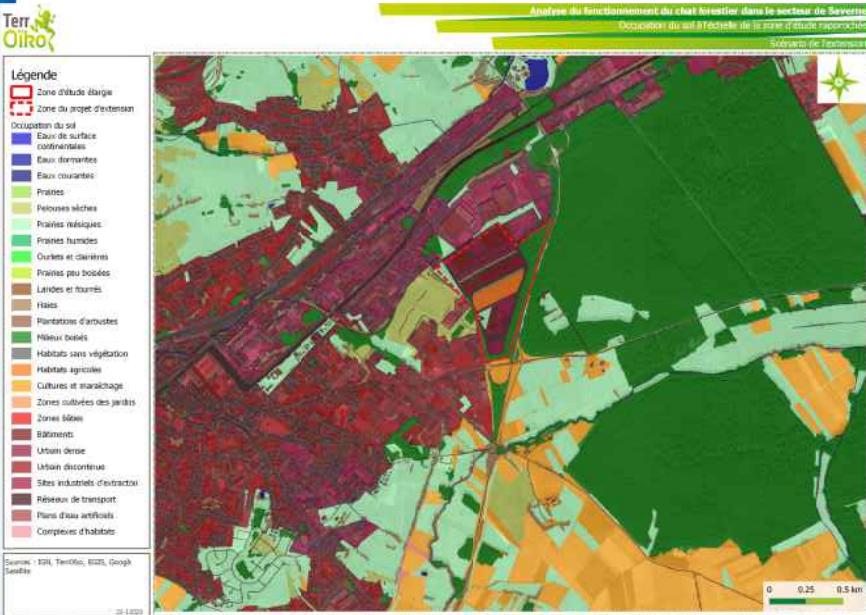
C. Exploitation des résultats de simulation du fonctionnement du chat forestier

IV . Interprétation des résultats cartographiques

Les résultats cartographiques de simulation traitent de la **stabilité et taille des populations** simulées ainsi que les **déplacements individuels** (zone de passage). Le Tableau 6 ci-dessous précise la manière dont les résultats de simulation sont interprétés.

Tableau 6 : Valeur et interprétation de la légende des cartes de résultats de SimOiko

Légende	Indicateur	Interprétation
	Stabilité et taille des populations : Pour chaque patch d'habitat identifié dans l'occupation du sol, la stabilité est qualifiée par la probabilité d'extinction des populations. La taille des populations correspond à la taille moyenne des populations estimée au cours des simulations.	
Populations instables 1-5 individu	Les populations instables à petit effectif (inférieur à 5 individus) ont une probabilité d'extinction comprise entre 0.3 et 0.6.	Ces populations sont considérées comme populations puits, elles peuvent trouver leur fonctionnalité en tant que patch relais (dispersion en pas japonais).
Extinction	Les populations instables sujettes à extinction ont une probabilité d'extinction supérieure à 0.66.	Ces populations sont considérées comme non viables et les patchs d'habitats comme non fonctionnels .
Populations stables (nombre d'individu) 1 - 5 5 - 10 10 - 20 20 - 35 Sup. 35	Les populations stables ont une probabilité d'extinction estimée inférieure à 0.3. Elles sont classées en cinq niveaux de population moyenne.	Ces populations sont considérées comme viables même si pour certaines d'entre elles leur effectif peut être limité par la capacité d'accueil des patchs (qualité et/ou surface).
Déplacements par maille de 25m² Un passage tous les 4 ans Un passage tous les 2 ans Un passage par an Un passage tous les 6 mois Un passage par mois Un passage par semaine	Déplacements des individus : le nombre de passage d'individus par pixel de 5x5m de la carte au cours des simulations a été enregistré et traduit par une fréquence de passage.	Les zones de passage avec des valeurs de trafic comprises entre 1 passage tous les 4 ans et tous les 2 ans peuvent être considérées comme un corridor peu fonctionnel . Celles avec des valeurs comprises entre 1 passage par an et 1 passage tous les 6 mois comme un corridor fonctionnel . Celles avec des valeurs de trafic comprises entre 1 passage par mois et 1 passage par semaine comme un continuum entre métapopulations .



TerrOiko / p. 22

II \ Comparaison entre deux états de fonctionnement de dynamiques populationnelles

La comparaison entre l'état actuel et les états attendus des différents scénarios d'aménagements est obtenue en mesurant leurs écarts de fonctionnalités (Figure 7).

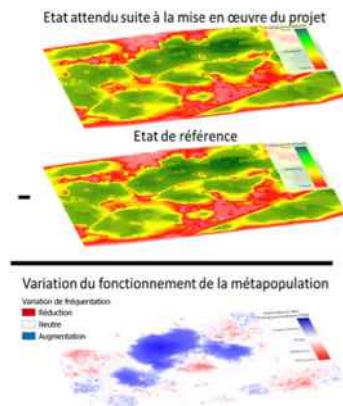


Figure 7: Comparaison entre deux états de fonctionnement de dynamique de populations réalisés avec SimOïko

III \ Indicateurs du fonctionnement du réseau écologique

Les résultats de flux d'individus dispersants entre patchs d'habitat sont analysés par la théorie des graphes paysagers. Deux indicateurs sont exploités :

La centralité intermédiaire

Cet indicateur de fonctionnalité du réseau écologique donne l'importance de chaque patch en tant que patch relais à la dispersion pour les autres patchs. Ainsi, plus le nombre de chemins de dispersion pour lequel le patch considéré intervient comme relais est important, plus la valeur de l'indicateur augmente. On considère ainsi qu'un réseau écologique ayant de nombreux patchs à forte capacité de relais est fonctionnel et résilient car de nombreux chemins de dispersion sont possibles. Cet indicateur permet donc de juger de la stabilité et de la fonctionnalité du réseau écologique.

Les clusters de populations

Cet indicateur regroupe les populations reliées par dispersion. Deux populations sont attribuées à un même cluster à partir du moment où en moyenne un individu par an a été échangé.

D. Impacts résiduels du projet « État après extension » sur l'état de conservation du chat forestier

I \ Impacts structurels du projet sur l'habitat du chat forestier

En formulant comme hypothèse que les couverts forestiers distants de moins de 15 m forment un même patch d'habitat pour le chat forestier (voir section III \ Définition des habitats de vie), la zone d'extension est comprise dans un patch d'habitat plus grand situé en périphérie de l'aire urbaine de Saverne. Ce patch d'habitat est traversé par deux routes départementales : la D1404 et la D421 (Figure 8). Cette hypothèse est concordante avec les observations de terrain (photo-pièges) car des passages d'individus ont été observés traversant la D1404 via des busés dans les deux sens (T. Durr, comm. pers.). La zone d'extension se situe à l'extrême ouest de ce patch, encerclée par l'aire urbaine et la D1404.

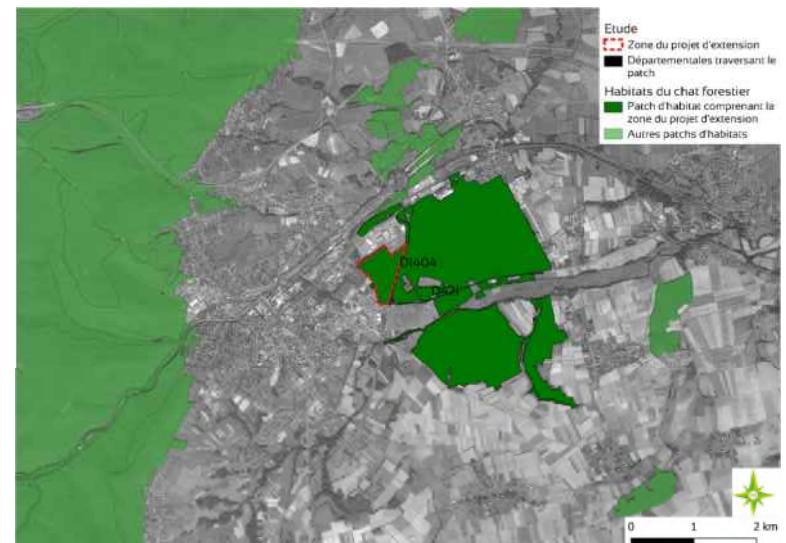


Figure 8 : Patch d'habitat de la zone d'extension

À l'état initial, ce patch a une superficie de 615 ha. Le nombre d'individus estimés par simulation pour l'État initial est donc le nombre d'individus estimés dans la totalité de ce patch. La superficie est réduite à 586 ha après le projet d'extension. Ceci correspond à une diminution de surface de 4,7%. Le nombre d'individus estimés par simulation pour l'État après extension est donc le nombre d'individus estimés dans ce patch de 586 ha.

Bien que le projet d'extension contribue à une diminution de l'habitat du chat forestier, les mesures d'évitement et de réduction prévues doivent permettre les déplacements d'individus au sein de la zone d'extension. En effet, l'extension prévue conserve des bandes d'habitats forestiers tout autour de la zone, ainsi que des corridors de déplacement au sein du projet. Ainsi, les nouvelles zones de bâtiments ont un fort coefficient de friction (valeur à 10) cependant les corridors au sein et autour du projet ont des coefficients de friction à 2.7 qui sont donc supérieurs à l'habitat forestier de l'état initial et dont la perméabilité est équivalente à des milieux ouverts ou agricoles du fait de la proximité au bâti et des nuisances potentiels (bruit, lumière).

II \ Évolution de l'état de conservation du chat forestier à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée après extension

Évolution de la taille et stabilité de la population au sein du patch d'habitat modifié par le projet d'extension

Le Tableau 7 présente les résultats de dynamique démographique correspondant au patch d'habitat modifié par le projet d'extension. Pour la taille de population, la taille de population moyenne ainsi que l'intervalle de confiance à 95% sont donnés. L'intervalle de confiance à 95% permet d'appréhender la gamme de tailles de populations simulées. Dans 95% des années simulées (50 ans) et des 30 répétitions de simulations, la taille de population était comprise dans cet intervalle. L'intervalle de confiance permet aussi d'évaluer la variabilité démographique de la population étudiée, en effet plus l'intervalle de confiance est large, plus la variabilité démographique est importante.

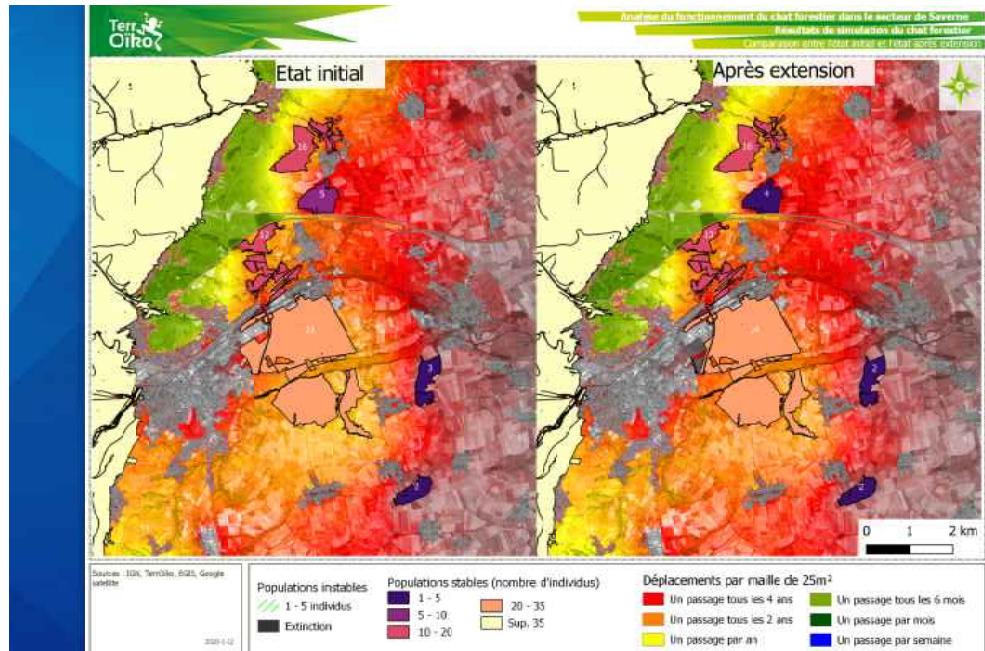
Tableau 7 : *Évolution de la taille et la stabilité de la population de chat forestier au sein du patch d'habitat modifié par le projet d'extension*

	Etat initial	Etat après extension	Variation Significativité de l'évolution	Interprétation
Taille totale de populations	23 ind (0-46 ind)	24 ind (1-48 ind)	+ 4,4% Non Significative	Étant donnée la forte variabilité du nombre d'individus dans ce patch d'habitat, la variation d'un individu sur la population totale après extension du projet est non significative. Cette variation s'explique par une forte variabilité du système notamment du fait de la fragmentation du paysage. La fragmentation est telle que si une population s'éteint localement, il sera très difficile pour les individus de recoloniser ce patch d'où de fortes variations de taille de populations.
Nombre d'adultes	14 (0-28 ind)	14 (0-29 ind)	0%	De même, la largeur de l'intervalle de confiance est équivalente entre les deux états. La variabilité du nombre d'individus dans le patch reste inchangée.
Nombre de juvénile	9 indiv (0-20 ind)	9 indiv (0-20 ind)	0%	La stabilité de la population est inchangée. Il s'agit d'une population stable dans le temps avec peu d'événements d'extinction locale.
Stabilité de la population	$P_{ext} = 0,004$	$P_{ext} = 0,004$	0%	Les flux entrant et sortant d'individus dispersants ne sont pas significativement modifiés par le projet.
Flux entrant d'individus dispersants	13	13	0%	
Flux sortant d'individus dispersants	8	9	+12% Non significative+	

La pose de dix-sept pièges photographiques au sein de la zone d'étude du projet d'extension et à ses abords a permis de recenser trente-cinq observations de chat forestier. Parmi ces observations, quinze ont eu lieu dans la zone du projet d'extension de 29 hectares. Quatre individus différents ont été clairement identifiés sur la zone du projet d'extension : un mâle, une femelle et ses deux chatons. En recoupant cette information avec la taille des domaines vitaux (129 hectares en moyenne (Jones et al., 2009)), le fait que généralement les domaines des mâles se superposent à deux des femelles (Sordello R., 2012) et que certaines femelles aient des petits ou non, cette observation de terrain coïncide avec les résultats issus de la simulation.

Évolution des dynamiques de population et déplacements au sein de la zone d'étude rapprochée

La Figure 9 présentent les résultats cartographiques des simulations du fonctionnement des populations de chat forestier en matière de dynamique de populations et de déplacements des individus dans la zone d'étude rapprochée à l'état initial et après la mise en place du projet d'extension et de ces mesures d'évitement et de réduction.



TerrOiko / p. 29

 Un fonctionnement peu modifié par le projet mais fortement constraint par l'urbanisation et l'agriculture céréalière

La Figure 10 explicite le fonctionnement métapopulationnel du chat forestier initial de la zone d'étude rapprochée. Le piémont des Vosges constitue la source d'individus dispersants principale de la zone. Par sa taille de population et sa position sur un axe de déplacement principal dans cette zone, le patch du projet a un rôle fonctionnel important dans le fonctionnement actuel du chat forestier. Néanmoins, cet axe de déplacement est actuellement fragilisé par le cumul de trois infrastructures de transport : canal, autoroute et LGV. Autour du patch du projet, de nombreux patchs présentent de petites populations qui ne pourraient se maintenir en l'absence de ces deux principaux patchs et par ailleurs difficilement accessibles par dispersion du fait de la matrice agricole ouverte et le mitage urbain.

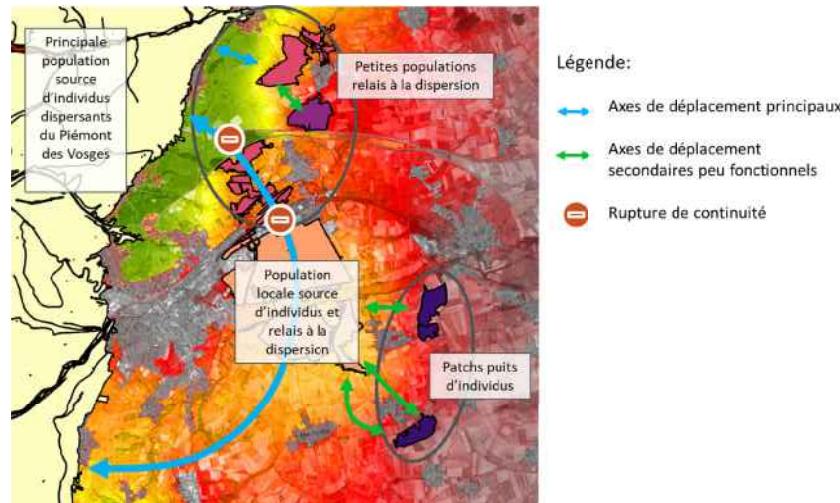


Figure 10 : interprétation du fonctionnement initial du réseau écologique de la zone d'étude rapprochée pour le chat forestier

Comme le présente la Figure 9, aucune modification significative de la taille ou de la stabilité des populations à proximité du projet émerge des résultats de simulation par la mise en place du projet d'extension. Concernant les axes de déplacement, on observe une légère diminution du trafic dans l'axe de déplacement principal (Figure 11).

 Les mesures E+R définies au sein du projet sont peu efficaces pour le chat forestier

Le Figure 11 met en évidence une faible exploitation des corridors écologiques définis au sein du projet d'extension par le chat forestier.

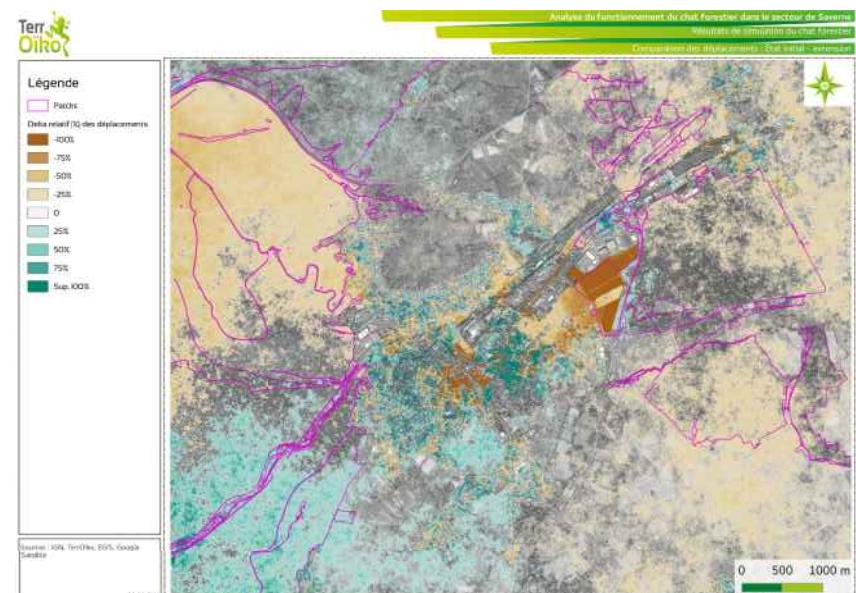


Figure 11 : Variation des déplacements du chat forestier sur la zone d'étude rapprochée entre l'état après extension et l'état initial

La fonctionnalité du patch au sein du réseau écologique modifiée par le projet d'extension

Le patch d'habitat sur lequel l'extension est étudiée apparaît dans les deux cas, état initial et après extension, comme essentiel dans la stabilité du réseau écologique en matière de patch relais. Le nombre de relais de dispersion diminue légèrement entre l'état initial (nombre de relais de dispersion = 34) et après l'extension (nombre de relais de dispersion = 32).

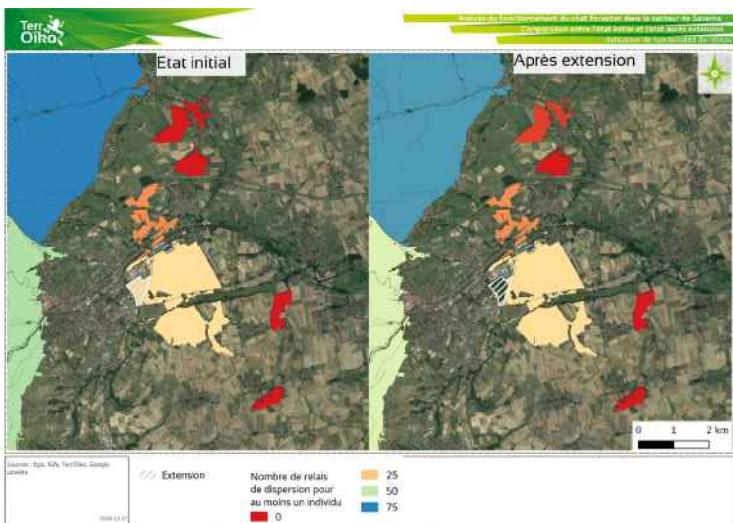


Figure 13 : Comparaison de la fonctionnalité des patches d'habitat du chat forestier en tant que relais dans le réseau écologique

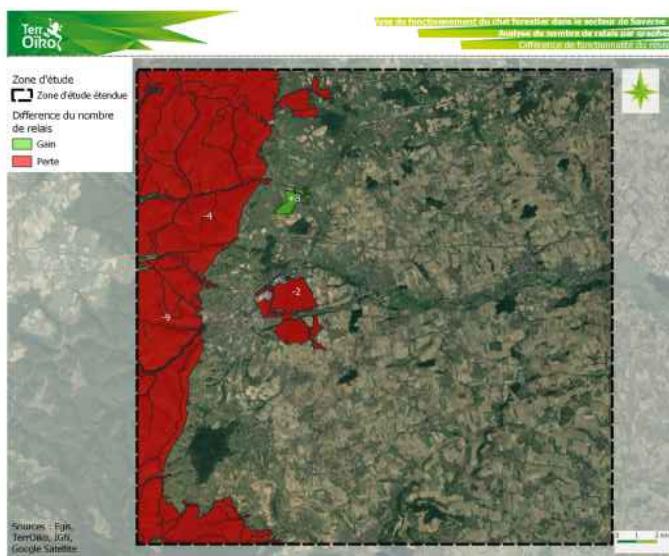


Figure 12 : Différence de fonctionnalité des patchs d'habitat du chat forestier en tant que relais dans le réseau écologique entre l'état initial et l'état après extension.

III \ Fonctionnalité de la population de chat forestier à l'échelle de l'aire d'étude étendue

Un fonctionnement démographique non modifié par le projet

Les Figure 14 et Figure 15 présentent les résultats des simulations du fonctionnement des populations de chat forestier en matière de dynamique de populations et de déplacements des individus sur l'aire d'étude étendue, avant et après la mise en place du projet d'extension et de ses mesures d'évitement et de réduction. La taille de population moyenne sur la zone d'étude étendue n'est globalement pas modifiée par la mise en place de l'extension. Il est à noter toutefois la très forte variabilité du nombre de chats forestiers dans les deux cas.

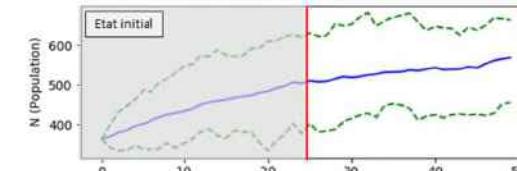


Figure 14 : Évolution de la taille de population moyenne de chat forestier pour l'état initial (courbe bleue) et de son intervalle de confiance à 95% calculé à partir de 30 itérations (courbes pointillées vertes). Les vingt-cinq premières années correspondent à une période de stabilisation liée à la simulation. Elles ne peuvent être prises en compte dans l'analyse des résultats.

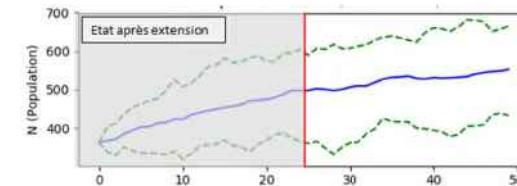


Figure 15 : Évolution de la taille de population moyenne de chat forestier pour l'état après extension (courbe bleue) et de son intervalle de confiance à 95% calculé à partir de 30 itérations (courbes pointillées vertes). Les vingt-cinq premières années correspondent à une période de stabilisation liée à la simulation. Elles ne peuvent être prises en compte dans l'analyse des résultats.

Les Figure 16 et Figure 17 correspondent aux cartes des dynamiques de populations et des déplacements du chat forestier sur la zone d'étude étendue. Aucune modification significative n'est constatée à cette échelle.

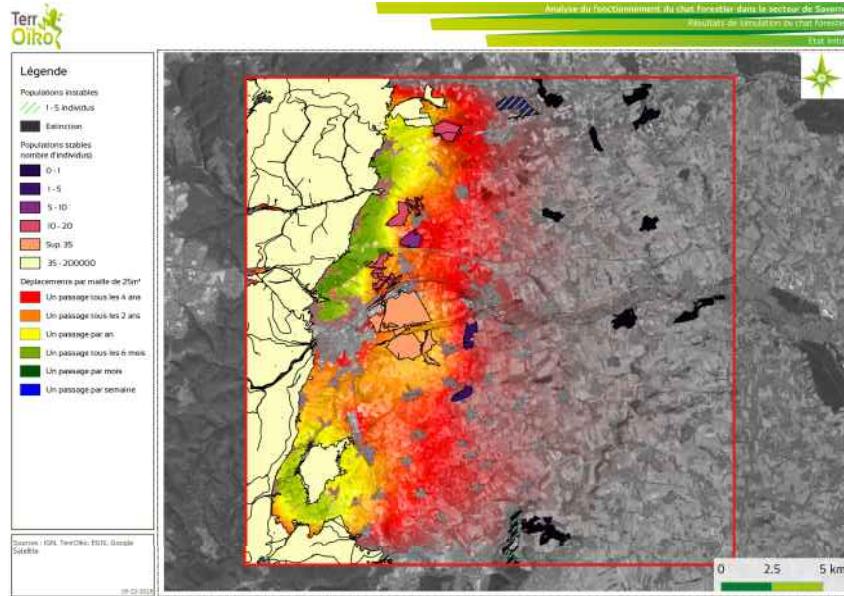


Figure 16 : Fonctionnement du chat forestier sur la zone d'étude étendue à l'état initial

TerrOiko / p. 34

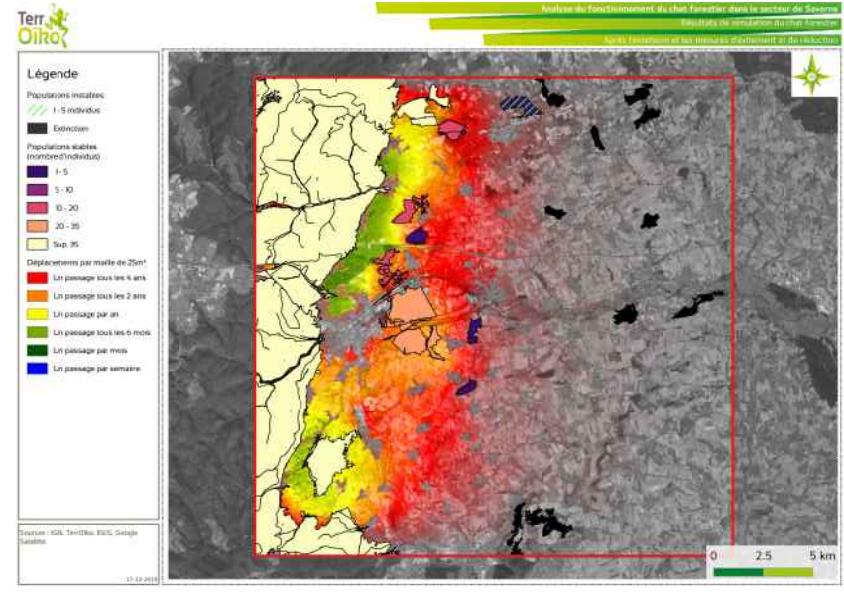


Figure 17 : Fonctionnement du chat forestier sur la zone d'étude étendue à l'état après extension

TerrOiko / p. 35

Un fonctionnement du réseau écologique non modifié par le projet

Dans les figures précédentes, il est à remarquer que la plupart des patchs d'habitat en dehors de la stricte proximité de la forêt du piémont des Vosges apparaissent comme peu fonctionnels, à la fois du fait de leur faible surface et de la matrice paysagère dégradée ne permettant pas des déplacements d'individus suffisants. Cette observation se confirme dans l'analyse des flux d'individus dispersants par l'intermédiaire des graphes paysagers (Figure 18). Ainsi, on observe un noyau principal constitué de la forêt du piémont des Vosges ainsi que les patchs à faible distance. En revanche, les patchs d'habitats situés plus loin forment des noyaux de populations distincts.

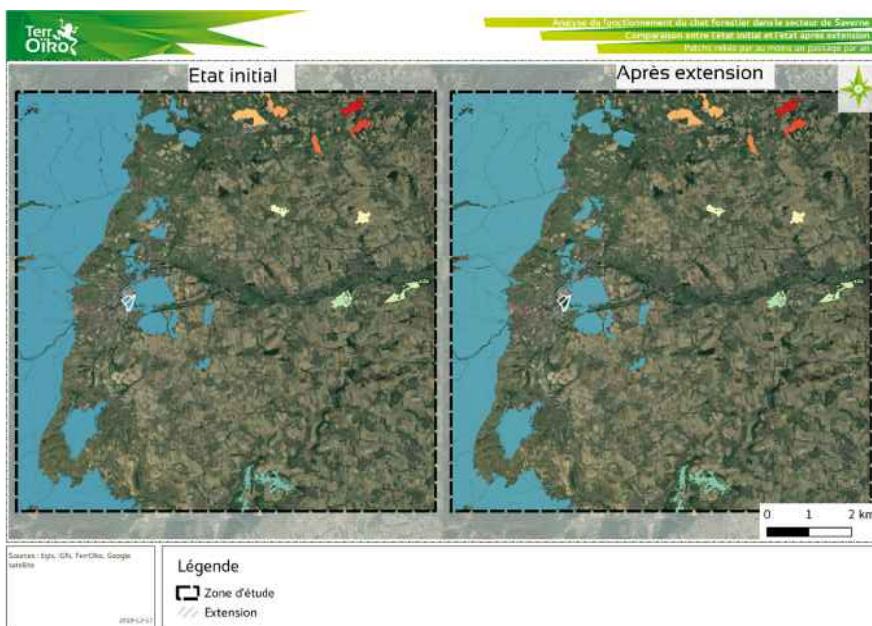


Figure 18 : Noyaux de populations identifiés par analyse des flux d'individus dispersants

IV \ Tableau synthétique de l'impact résiduel du projet d'extension

Le Tableau 8 ci-dessous vous présente la synthèse des indicateurs de comparaison de l'état initial et l'état après extension permettant d'aboutir à une évaluation des impacts résiduels.

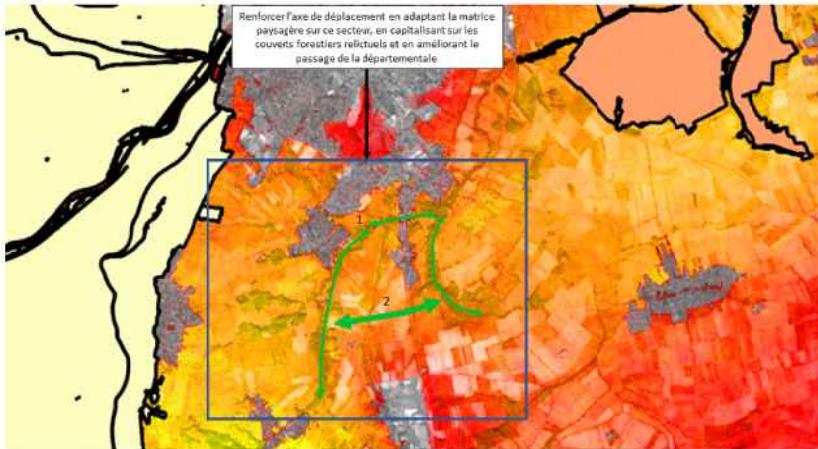
Tableau 8 : Synthèse de l'analyse de l'équivalence écologique entre l'état de référence et le scénario de compensation

Indicateur de l'état de conservation du chat forestier	Impact résiduel	Justification
Fonctionnalité du patch d'habitat modifié par le projet		
Taille et stabilité des populations	Non significatif	<ul style="list-style-type: none"> - Variabilité de la taille de population inchangée - Taille de population et flux d'individus dispersants inchangés - Très faible risque d'extinction
Fonctionnalité dans le réseau écologique	Faible impact	<ul style="list-style-type: none"> - Indicateurs de fonctionnalité du patch en légère baisse - Corridors écologiques au sein du projet potentiellement exploités pour les déplacements et la chasse à condition que le climat nocturne soit peu lumineux mais ne viennent pas renforcer la population des patchs alentour
Fonctionnement des populations en directe proximité du projet		
Taille et stabilité des populations dans les patchs	Non significatif	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune modification significative des taille et stabilité des populations sur la zone d'étude rapprochée
Fonctionnalité du réseau écologique et déplacements	Faible impact	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la fréquence de passage sur l'axe de déplacement principal
Fonctionnement des populations sur la zone d'étude étendue		
Taille et stabilité des populations dans les patchs	Non significatif	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune modification significative
Fonctionnalité du réseau écologique	Non significatif	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune modification
Conclusion sur les impacts résiduels		
<ul style="list-style-type: none"> • Dynamiques de populations très fluctuantes liées à une forte variabilité du système et à des populations de petites tailles. • Faibles impacts résiduels portant sur la fonctionnalité du réseau écologique à proximité du projet. • Le projet modifie les zones de passage de l'espèce et contribue à fragiliser légèrement des corridors écologiques actuellement peu fonctionnels. 		

▼ Préconisations pour les mesures ERC spécifiques au chat forestier au regard des impacts résiduels

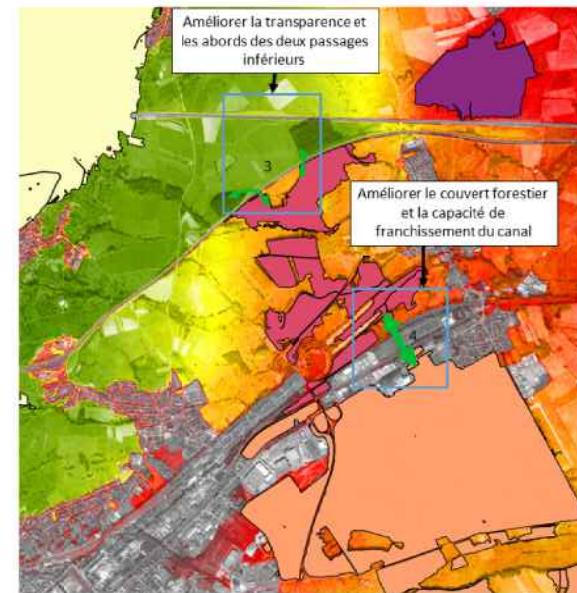
À l'issue de l'analyse des impacts résiduels, l'objectif principal des mesures ERC pour le chat forestier doit se concentrer sur l'axe principal de déplacement du chat forestier (voir Figure 10), celui traversant le patch d'habitat modifié par le projet. Plusieurs secteurs apparaissent pertinents pour la mise en place de mesures.

Secteur sud de l'axe de déplacement principal



Dans ce secteur, deux axes apparaissent comme intéressants pour le déplacement du chat forestier et pour la conception de mesures compensatoires. L'axe 1 suit une ripsylve, cependant la proximité du milieu urbain et la traversée d'une départementale (la D 1004) très fragmentante constitue un dérangement important qui nuit aux déplacements du chat forestier. Ainsi, améliorer le passage des individus à ce niveau pourrait être bénéfique pour la métapopulation de chat forestier dans le secteur cependant les nuisances liées à l'urbanisation s'avèrent un frein important pour améliorer durablement la fonctionnalité de la métapopulation. L'axe 2 est constitué de deux ripsylves de part et d'autre de la départementale 1004 non reliées entre elles. Un important travail paysager avec l'aménagement de nombreuses haies et la création d'un corridor de dispersion entre ces deux ripsylves pourrait être une piste de mesures compensatoires intéressante pour améliorer les déplacements du chat forestier dans le secteur.

▼ Secteur nord de l'axe principal de déplacement au niveau du passage de l'autoroute



Dans ce secteur, au nord de l'axe principal de déplacement, deux pistes de mesures compensatoires sont envisageables. L'aménagement de deux passages inférieurs sous l'autoroute permettrait de renforcer l'axe 3 de déplacement. Un travail paysager des abords de ces passages et l'amélioration de leur transparence devra être mis-en-place. Au nord du patch, le canal s'avère être un élément très fragmentant du paysage et une barrière à la dispersion (axe 4). Afin d'améliorer les déplacements du chat forestier dans le secteur il est important d'améliorer la capacité de franchissement du canal. De plus améliorer le couvert forestier dans cette zone ainsi que rendre les espaces de friches plus attractifs pour le chat forestier permettraient de faciliter les déplacements du chat forestier. Dans ce secteur, un travail d'aménagement paysager des abords des passages inférieurs, ainsi que l'amélioration de la transparence de ces ouvrages et la franchissabilité du canal permettraient d'améliorer la fonctionnalité des corridors du chat forestier au nord du site d'extension et de reconnecter la population du patch d'extension aux petits patchs au nord et au gros massif forestier fonctionnel du parc naturel régional des Vosges du Nord.

BIBLIOGRAPHIE

Aben, Job, Diederik Strubbe, Frank Adriaensen, Stephen C. F. Palmer, Justin M. J. Travis, Luc Lens, et Erik Matthysen. 2014. « Simple Individual-Based Models Effectively Represent Afro tropical Forest Bird Movement in Complex Landscapes » édité par R. Fuller. *Journal of Applied Ecology* 51(3):693-702.

Calvet. in prep. « Modeling spatial planning and land use changes to better apply the mitigation hierarchy : empirical evidence from the region Occitanie. » *Landscape and Urban Planning*.

Coulon, A., J. Aben, S. C. F. Palmer, V. M. Stevens, T. Callens, D. Strubbe, L. Lens, E. Matthysen, M. Baguette, et J. M. J. Travis. 2015. « A Stochastic Movement Simulator Improves Estimates of Landscape Connectivity ». *Ecology* 96(8):2203-13.

Coulon, A., J. W. Fitzpatrick, R. Bowman, B. M. Stith, C. A. Makarewicz, L. M. Stenzler, et I. J. Lovette. 2008. « Congruent Population Structure Inferred from Dispersal Behaviour and Intensive Genetic Surveys of the Threatened Florida Scrub-Jay (*Aphelocoma coerulescens*) ». *Molecular Ecology* 17(7):1685-1701.

Coulon, A., G. Guillot, J. F. Cossion, J. M. A. Angibault, S. Aulagnier, B. Cargnelutti, M. Galan, et A. J. M. Hewison. 2006. « Genetic Structure Is Influenced by Landscape Features: Empirical Evidence from a Roe Deer Population: LANDSCAPE AFFECTS ROE DEER GENETIC STRUCTURE ». *Molecular Ecology* 15(6):1669-79.

Gunton, Richard M., Charles J. Marsh, Sylvain Moulherat, Anne-Kathleen Malchow, Greta Bocedi, Reinhard A. Klenke, et William E. Kunin. 2017. « Multicriterion Trade-Offs and Synergies for Spatial Conservation Planning » édité par J. Bennett. *Journal of Applied Ecology* 54(3):903-13.

Jones, Kate E., Jon Bieby, Marcel Cardillo, Susanne A. Fritz, Justin O'Dell, C. David L. Orme, Kamran Safi, Wes Sechrest, Elizabeth H. Boakes, Chris Carbone, Christina Connolly, Michael J. Cutts, Janine K. Foster, Richard Grenyer, Michael Habib, Christopher A. Plaster, Samantha A. Price, Elizabeth A. Rigby, Janna Rist, Amber Teacher, Olaf R. P. Bininda-Emonds, John L. Gittleman, Georgina M. Mace, et Andy Purvis. 2009. « PanTHERIA: A Species-Level Database of Life History, Ecology, and Geography of Extant and Recently Extinct Mammals: Ecological Archives E090-184 » édité par W. K. Michener. *Ecology* 90(9):2648-2648.

Klar, Nina, Néstor Fernández, Stephanie Kramer-Schadt, Matthias Herrmann, Manfred Trinzen, Ingrid Büttner, et Carsten Niemitz. 2008. « Habitat Selection Models for European Wildcat Conservation ». *Biological Conservation* 141(1):308-19.

Kraft, S. 2008. « Relevé de la présence du *Felis s. silvestris* (Schreber, 1777) dans le Kaiserstuhl et les forêts rhénanes limitrophes. A l'aide de la méthode des pièges à poils. Mémoire de fin d'études d'ingénieur forestier de l'ENGREF AgroParisTech. »

Léger, François, Philippe Stahl, Sandrine Ruette, et Jean-Luc Wilhelm. 2008. « La répartition du Chat forestier en France : évolutions récentes. » *Faune sauvage* (280):24-39.

Lozano, Jorge. 2010. « Habitat use by European wildcats (*Felis silvestris*) in central Spain : what is the relative importance of forest variables? ». *Animal Biodiversity and Conservation*, 143-50.

Moulherat, Sylvain. 2014. « Toward the development of predictive systems ecology modelling: MetaConnect and its use as an innovative modeling platform in theoretical and applied fields of ecological research ».

Moulherat, Sylvain, Jules Boileau, Coralie Calvet, Gaël Bardon, et Sylvain Pioch. s. d. « CIRFE - Cumul d'Infrastructures linéaires de transport terrestre et Relations Fonctionnelles Ecologiques. »

Palmer, Stephen C. F., Aurélie Coulon, et Justin M. J. Travis. 2011. « Introducing a 'Stochastic Movement Simulator' for Estimating Habitat Connectivity: Perceptual Range Limits Habitat Connectivity ». *Methods in Ecology and Evolution* 2(3):258-68.

Palmer, Stephen C. F., Aurélie Coulon, et Justin M. J. Travis. 2014. « Inter-Individual Variability in Dispersal Behaviours Impacts Connectivity Estimates ». *Oikos* 123(8):923-32.

Schauenberg, Paul. 1981. « Eléments d'écologie du Chat forestier d'Europe. » *La Terre et la Vie* (35):3-36.

Sordello, Romain. 2012. « Synthèse bibliographique sur les traits de vie du Chat forestier (*Felis silvestris* Schreber, 1775) relatifs à ses déplacements et à ses besoins de continuités écologiques. »

Stahl, Philippe et François Léger. 1992. « Le chat sauvage d'Europe. » *Encyclopédie des carnivores de France*. 50.