



Programme « TRANS-FER »

Analyse et rétablissement de la transparence écologique des infrastructures ferroviaires

2011-2014



Muséum
national
d'Histoire
naturelle



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie



Résumé

❖ Objectifs du programme «Trans-fer»

SNCF Réseau est un des principaux gestionnaires d'infrastructure de transport en France et en Europe. Il a notamment en charge la gestion des 30 000 km de voies ferrées nationales, dont plus de 2 000 km de lignes nouvelles à grande vitesse. Dans ce contexte, il a engagé le projet « Trans-fer » (Analyse de la TRANSparence écologique des infrastructures FERroviaires et préconisations) en s'appuyant sur une équipe scientifique (Service du Patrimoine Naturel du Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS) et technique (CEREMA et bureau d'étude Ecosphère) afin de garantir à la fois la rigueur de l'analyse scientifique et l'opérationnalité des analyses et propositions de mesures.

Le programme «Trans-fer» a pour objets principaux :

- l'évaluation de la transparence des infrastructures linéaires pour différents groupes taxonomiques ;
- l'évaluation du rôle des différents ouvrages de rétablissement non dédiés à la faune pour les mammifères terrestres et les chiroptères, dans différents contextes (2 anciennes lignes « classiques » non clôturées + 2 lignes nouvelles LGV clôturées) ;
- une réflexion sur les mesures de restauration des continuités écologiques susceptibles d'être mises en œuvre sur des lignes existantes (notamment l'adaptation des caractéristiques techniques des ouvrages de franchissement non dédiés à la faune pour améliorer la transparence générale des lignes...).

Le projet «Trans-fer» est innovant de part :

- la considération des infrastructures de transport dans leur globalité, par tronçon et non ponctuellement au niveau de leurs ouvrages transversaux ;
- le nombre de tronçons et les linéaires de ligne considérés (quatre tronçons totalisant environ 80 km de voies), intégrant des lignes classiques et des lignes nouvelles (Lignes à Grande Vitesse – LGV) ;
- la diversité des groupes taxonomiques étudiés simultanément (amphibiens, mammifères terrestres et aériens, insectes terrestres et aériens) et la diversité des techniques mises en œuvre (techniques génétiques, suivis photographiques et acoustiques). Le projet aborde ainsi des espèces aux traits de vie distincts et aux sensibilités différentes faces à la fragmentation (diversité des modes de déplacement...) ;
- le montage du projet, qui combine expertise et recherche en ayant pour objectif de réinjecter cette connaissance ensuite dans des mesures opérationnelles de restauration.

❖ Contexte des tronçons ferroviaires étudiés

Le programme «Trans-fer» porte sur 4 tronçons ferroviaires d'environ 20 km chacun :

- deux tronçons de lignes classiques (LC) : l'un entre Besançon et Mouchard (Franche-Comté) et l'autre entre Saint-Amour et Bourg-en-Bresse (Rhône-Alpes). Ces lignes classiques ne sont pas clôturées et leurs emprises sont en moyenne de 15 mètres de largeur ;
- deux tronçons de lignes à grande vitesse (LGV) : LGV Paris-Lyon entre Avallon et Montceau les Mines (Bourgogne) et LGV Est Européenne entre Châlons-en-Champagne et Pont-à-Mousson (Lorraine). Les emprises clôturées varient entre 20 et 50 mètres de largeur et sont délimitées tout le long par un grillage d'une hauteur moyenne de 1,8 mètre. Concernant la LGV Est Européenne, il est à noter que la mise en place de passages à faune spécifiques a contribué à rétablir la transparence de l'infrastructure sur une partie de son tronçon.

Ces tronçons ferroviaires ont été sélectionnés de manière à présenter deux grands types de milieux : des milieux ouverts (prairies, cultures, etc.) et des milieux dits fermés (forêts de feuillus, de conifères, etc.).

Les tronçons ferroviaires étudiés sont localisés sur des territoires couverts par 4 Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (Bourgogne, Franche-Comté, Lorraine et Rhône-Alpes). Le programme «Trans-fer» participe à l'évaluation de la perméabilité écologique et à la localisation des points de conflits sur ces tronçons et répond ainsi aux objectifs des SRCE d'amélioration des connaissances. Les données obtenues pourront alimenter les programmes d'actions visant à améliorer la transparence des réseaux de transport et à répondre aux objectifs de restauration des continuités écologiques.

❖ Méthodologies des suivis

Trois méthodologies ont été mises par œuvre afin de suivre des espèces ou groupes d'espèces :

- **Suivi par technique génétique** (un amphibien : la salamandre tachetée ; un papillon : le Myrtil ; deux espèces de coléoptères : la Féronie noire et le Carabe des bois) avec 72 sites de prélèvements pour l'ensemble des espèces suivies (environ 30 individus prélevés par espèce et par site) ;
- **Suivi photographique** : les mammifères terrestres (Hérisson, grands rongeurs, lagomorphes, carnivores, sanglier et cervidés) ;
- **Suivi acoustique** : les chiroptères.

Sur les 4 lignes ferroviaires étudiées, 217 ouvrages d'arts ont été identifiés permettant de mettre en œuvre des suivis des mammifères terrestres et/ou des chiroptères par échantillonnage sur **88 ouvrages de tout type non dédiés à la faune** (buses, dalots, ponts... correspondant à des rétablissements routiers ou agricoles et à des ouvrages hydrauliques) et **22 sections courantes** situées le long des voies. Au total, 5376 jours de suivis par des Appareils Photographiques et 250 nuits par des détecteurs automatiques d'ultra-son SM2BAT+ ont été mis en œuvre sur une durée d'un peu plus d'un an afin de couvrir les 4 saisons (printemps, été, automne et hiver).

❖ Résultats des protocoles du programme «Trans-fer»

Résultats des suivis par technique génétique

Une des 4 espèces recherchées dans le cadre de l'expertise génétique, le **Carabe des bois** (coléoptère) a dû être abandonnée de nos analyses car elle s'est avérée insuffisamment abondante sur certains tronçons pour permettre des traitements statistiquement fiables.

Au final, 2 220 échantillons ont été récoltés sur les 3 espèces modèles exploitables :

- **Salamandre tachetée (amphibien)** : la présence d'une structuration des populations a été constatée dans trois régions sur quatre. Les analyses réalisées ont pu mettre en évidence un effet significatif de la distance entre les populations sur leur différenciation génétique mais aucun effet de barrière lié à une infrastructure n'a été constaté ;
- **Myrtil (papillon diurne)** : espèce la plus mobile des trois, les résultats sont plus hétérogènes. La présence d'une structuration génétique a été constatée en Rhône-Alpes et en Lorraine. En Rhône-Alpes, cette structure peut provenir d'un isolement par la forêt et/ou d'un effet de fondation après dispersion à grande distance. D'autres tests statistiques (tests de Mante) indiquent la possibilité d'un effet barrière de la voie ferrée, qui n'est cependant pas confirmé par les modèles linéaires généralisés (GLM). En Lorraine, la structuration pourrait être liée à une dispersion à longue distance entre les sites suivis les plus éloignés et/ou à l'isolement d'un des sites par la nouvelle ligne ferroviaire ;
- **Féronie noire (coléoptère)**, aucune structuration des populations n'a été constatée. Des tests complémentaires indiquent l'existence d'une différenciation par la distance en Lorraine, ce qui montre que malgré la faible diversité génétique, un effet des structures paysagères peut être détecté chez cette espèce à cette échelle.

Résultats des suivis photographiques

477 941 photographies ont été prises par les appareils photo automatiques dont 21% (environ 100000) liées à la faune sauvage :

- Le nombre de traversées/jour de mammifères terrestres sur les **ouvrages non dédiés** (rétablissements routiers ou agricoles, ouvrages hydrauliques) varie de 0.33 à 0.61 individus/j (surtout des carnivores, des lagomorphes mais très peu d'ongulés). On note que la fréquentation est moins importante sur les passages supérieurs que sur les passages inférieurs, ainsi que sur les passages goudronnés par rapport aux passages en terre stabilisé qui s'avèrent plus favorables lorsque la fréquentation humaine est limitée. Si les carnivores passent dans tous les types de passage inférieurs, en revanche les lagomorphes (lièvres...) et surtout les ongulés fréquentent peu les passages inférieurs à 2 m de haut ;
- en comparaison, le suivi sur le seul **passage spécifique Grande Faune** étudié sur notre secteur donne 3.72 individus/j soit 5 à 10 fois plus que pour les passages non dédiés. Les chiffres sont relativement comparables aux ouvrages non dédiés concernant les carnivores (Renard, Blaireau, Chat forestier...) mais sont supérieurs pour les lagomorphes et surtout pour les ongulés (Sanglier, Chevreuil et même Cerf), qui représentent 54% du total ;

- Le nombre de traversées/jour sur les **sections courantes** est en moyenne comparable à ce que l'on observe sur les ouvrages non dédiés les moins contraignants (passages inférieurs les plus tranquilles avec sol en terre battue). Cependant, ce chiffre varie fortement d'un secteur à l'autre, allant d'aucune traversée à 1,18 traversée sur une seule coulée de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne suivi durant 4 saisons. Sur le plan méthodologique, il est à noter que la détection des espèces sur les sections courantes est plus difficile, les animaux n'étant pas canalisés par les ouvrages, ce qui fait que les décomptes sont probablement sous-estimés par rapport aux passages supérieurs ou inférieurs ;
- une faible **fréquentation des abords** est observée le long des sections courantes des lignes classiques ou des lignes nouvelles (0,23 à 0.34 fréquentation/jour). Là encore pour les mêmes raisons méthodologiques que précédemment, les chiffres sont probablement sous-estimés. Le Sanglier et le Blaireau sont à toutes les saisons les espèces les plus fréquentes aux abords des deux LGV (27% chacun). Concernant le Sanglier, on constate que ce dernier utilise rarement les ouvrages non dédiés pour traverser ce qui montre l'effet de coupure généré par la voie ferrée. En revanche, pour les lignes ordinaires, l'absence de clôture permet certainement aux ongulés de traverser sans contrainte majeure ;
- **En conclusion**, l'étude montre que la plupart des carnivores sont capables de traverser en section courante ou d'utiliser les ouvrages non dédiés, y compris ceux de taille relativement modeste (< à 2 m). Par contre, elle confirme l'absence de franchissement de certains ongulés, notamment du Sanglier et du Cerf, sur des ouvrages non dédiés à la faune. La fréquentation des abords des LGV totalement grillagées par ces mêmes animaux et l'importance des franchissements constatés sur le seul passage spécifique Grande Faune que nous ayons étudié confirment l'importance des ouvrages spécifiques pour la grande faune terrestre.

Résultats des suivis acoustiques

68 128 séquences de chiroptères ont été enregistrées sur les 250 nuits dont 77% de Pipistrelle commune, 17% pour diverses espèces de Murins et 6% d'autres espèces :

- En comparaison avec d'autres références bibliographiques, la **fréquentation constatée sur les ouvrages** s'avère dans l'ensemble plus élevée que ce qui a été noté ailleurs sans que l'on puisse avancer d'explications claires (variabilité de la richesse des territoires). Les données collectées dans le cadre de Trans-fer montrent que les chauves-souris fréquentent tous les types d'ouvrages non dédiés à ce groupe avec une préférence pour les ouvrages d'une hauteur supérieure à 2 mètres (diversité et abondance plus élevées). Certaines espèces comme le Minoptère de Schreibers sont plus exigeantes en préférant emprunter des ouvrages d'une hauteur supérieure à 4 mètres. D'autres comme les Oreillard et la Barbastelle d'Europe ont besoin d'au moins 2 mètres et ne traversent pas au sein d'ouvrages inférieurs à 2 m. Les autres espèces sont moins exigeantes et fréquentent tous les types d'ouvrage (Pipistrelles sp., Murins sp., Rhinolophes) mais avec des effectifs plus faibles dans les petits ouvrages ;
- **La fréquentation moyenne des sections courantes** est supérieure à celle des ouvrages < à 2 mètres de haut, mais notablement inférieure à celle des ouvrages > à 2 mètres de haut ou

aux passages supérieurs. Cela tendrait à démontrer le rôle positif des grands passages inférieurs (> à 2 m de haut) et dans une moindre mesure des passages supérieurs pour les chiroptères. En revanche, les passages inférieurs de petite dimension (< à 2 mètres de haut) présentent un intérêt limité sauf pour les rhinolophes qui peuvent les utiliser de façon préférentielle, ce qui est d'autant plus intéressant que ce sont des espèces assez sensibles aux risques de collisions et à la fragmentation des paysages en raison de leur faible hauteur de vol.

❖ Les lignes ferroviaires sont-elles transparentes ?

Diverses études consacrées soit à des espèces emblématiques en matière de conservation : grands herbivores (Epps et al. 2005), grands carnivores (Riley et al. 2006, Ernest et al. 2010, Riley et al. 2014), serpents (Clark et al. 2010) ; soit à des espèces communes (Kuhlen et al. 2009, Frantz et al. 2010), ont démontré l'efficacité des méthodes de génétique du paysage pour évaluer l'isolement des populations.

Les expertises génétiques menées pour le projet «Trans-fer» indiquent, en premier lieu, que le réseau ferré n'induit pas l'isolement des populations sur deux des trois espèces étudiées (la Salamandre et la Féronie noire). Pour la troisième (le Myrtil), des résultats similaires sont obtenus dans deux régions sur quatre. La situation dans les deux autres régions ne permet pas d'écarter totalement un effet du réseau ferré, mais nous insistons sur le fait que la structuration génétique observée pourrait être expliquée par d'autres hypothèses comme l'éloignement des patches d'habitats favorables.

Les résultats obtenus dans Trans-fer peuvent être comparés à ceux d'autres études internationales. Parmi les rares études génétiques consacrées à l'effet des infrastructures linéaires, une seule porte exclusivement sur les voies ferrées (Bartoszek & Greenwald 2009). 6 autres études abordent les effets d'une combinaison d'infrastructures routières et ferroviaires (Gerlach & Musolf 2000, Rico et al. 2009, Geiser et al. 2013, Hepenstrick et al. 2012...). Toutes ces études présentent des résultats similaires à ceux obtenus pour Trans-fer. Dans aucune des études analysées, le réseau ferroviaire ne peut être explicitement mis en cause comme étant une barrière au brassage génétique des espèces. En revanche, deux études menées sur les espèces modèles que nous avons retenues relèvent un impact négatif des routes :

- Chez la Féronie noire en Allemagne, un isolement significatif a été détecté sur des populations séparées par une autoroute large d'une trentaine de mètres, en service depuis 31 ans (Keller et al. 2004). Une petite population isolée au centre d'une boucle de sortie c'est avérée génétiquement très différenciée de populations voisines situées à quelques centaines de mètres ;
- Chez la Salamandre tachetée en région parisienne, un effet négatif des voies routières rapides a été détecté. En revanche, la même étude a démontré l'absence d'effet de la ligne RER et des LGV situées dans l'aire d'étude (Picard et al. 2012).

Au regard des analyses avec les différents SRCE et au vu des résultats obtenus, le projet «Trans-fer» confirme que la plupart des groupes faunistiques étudiés adaptent leur comportement en traversant les sections courantes lorsque celles-ci ne sont pas hermétiquement closes et empruntent les

ouvrages existants spécifiques ou non (passages pour le grande faune, passages agricoles ou forestiers, rétablissement routiers, ouvrages hydrauliques, buses sèches, etc.). Les ongulés et les autres espèces suivies fréquentent néanmoins les abords de la ligne qui deviennent de nouveaux corridors participant ainsi au remailage des réseaux écologiques.

Les ouvrages non dédiés à la faune s'avèrent régulièrement franchis par de nombreuses espèces. Les éléments collectés permettent d'établir un état zéro de la connaissance sur la fréquentation de ce type d'ouvrage avec des quantifications intéressantes en terme de nombre moyen de franchissement par jour (tous taxons confondus et selon les groupes taxonomiques). Enfin, les résultats collectés indiquent qu'en moyenne on trouve un ouvrage de franchissement tous les 310 mètres pour la LGV Est Européenne, tous les 390 mètres pour la LGV Paris-Lyon, tous les 400 mètres pour la ligne classique Rhône-Alpes et enfin les 800 mètres pour la ligne classique Franche-Comté. Or, au vu des résultats des suivis photographiques et d'enregistrements ultrasonores présentés on constate que ces ouvrages existants spécifiques ou non sont susceptibles d'être empruntés par de nombreuses espèces de mammifères terrestres et volants et certainement par d'autres taxons tels que amphibiens, reptiles, invertébrés...

Cependant, on constate que les ouvrages les plus dérangés ou les plus petits s'avèrent nettement moins favorables et fonctionnent comme des filtres ne laissant passer que les espèces les moins exigeantes (carnivores, pipistrelles...). Les ongulés et certains chiroptères (Minioptère de Schreiber...) recherchent les passages les plus tranquilles et les mieux dimensionnés ce qui montre en particulier l'intérêt de passages spécifiques pour ces espèces.

❖ **Recommandations pour assurer la transparence des lignes ferroviaires**

Compte tenu de la nature des expertises réalisées sur les amphibiens et les insectes (expertises génétiques) il ne sera pas possible pour ces groupes de proposer des mesures adaptées aux 4 tronçons ferroviaires étudiés. **Les propositions qui suivent portent donc exclusivement sur les mammifères terrestres et les chiroptères.**

Nos recommandations sont issues de l'analyse :

- des données collectées sur le programme «Trans-fer» en matière de franchissement et/ou de fréquentations des abords par la faune terrestre et volante étudiée ;
- des caractéristiques des ouvrages (hauteur, largeur, revêtement...) ;
- des recommandations des différents Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE) ;
- et enfin de l'analyse éco-paysagère des tronçons des lignes ferroviaires étudiées.

En complément des recommandations génériques visant à la restauration des continuités écologiques, des propositions ont été élaborées pour chaque ligne étudiée, de l'amélioration des ouvrages existants à l'éventuelle création d'ouvrages spécifiques :

- **ligne classique Franche-Comté** : remplacement du revêtement sur un ouvrage supérieur, mise en place de panneaux sur 3 ouvrages supérieurs pour favoriser le franchissement par la faune, suppression de trottoirs sur un ouvrage inférieur, aménagements de banquettes sur 2

ouvrages, élargissement d'un ouvrage et enfin nettoyages d'ouvrages afin d'améliorer leurs fonctionnalités ;

- **ligne classique Rhône-Alpes** : remplacement du revêtement sur un ouvrage supérieur avec mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune, aménagements de banquettes sur 9 ouvrages, élargissement d'un ouvrage et enfin création d'un ouvrage spécifique sur un corridor à restaurer (Bois de Verne à Saint-Etienne du Bois) ;
- **la LGV Est-Européenne en Lorraine**: remplacement du revêtement sur 3 ouvrages supérieurs avec mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune, remplacement de l'enrobé et élargissement d'un ouvrage inférieur, enlèvements de grille sur buse et enfin déplacements des périmètres grillagés pour permettre l'accès de la faune terrestre aux buses et/ou dalots;
- **la LGV Paris-Lyon en Bourgogne** : remplacement du revêtement sur 2 ouvrages supérieurs avec mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune, aménagements de banquettes sur un ouvrage, remplacement de l'enrobé et élargissement de 2 ouvrages inférieurs et enfin déplacements du périmètre grillagé pour permettre l'accès de la faune terrestre aux buses et/ou dalots.

Les aménagements proposés devront bénéficier d'études précises avant toute mise en œuvre. Ces dernières devront être menées en concertation avec les exploitants de la ligne, afin de prendre en compte l'ensemble des paramètres techniques, fonciers, réglementaires, biologiques (recueil des collisions éventuelles, localisation précise de l'ouvrage, dimensionnement, risques de dégâts aux cultures...) en partenariat avec les structures locales (collectivités, riverains, DREAL, ONEMA, ONCFS, Fédération des chasseurs et des pêcheurs, Associations naturalistes...).

Sommaire

Résumé	2
1. Introduction : évaluer la transparence écologique d'une ligne ferroviaire	21
1.1. Présentation et objectifs du programme «Trans-fer»	21
1.2. Présentation des équipes en charge des techniques génétiques.....	22
1.3. Présentation des équipes en charge des suivis photographiques ou d'enregistrements ultrasonores.....	24
1.4. Présentation du CEREMA	24
2. Contexte	28
2.1. Les tronçons ferroviaires étudiés	28
2.1.1. Ligne classique en Franche-Comté	30
2.1.2. Ligne classique en Rhône-Alpes.....	30
2.1.3. Ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.....	31
2.1.4. Ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne	32
2.2. Les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique	33
2.2.1. SRCE et ligne classique en Franche-Comté.....	33
2.2.2. SRCE et ligne classique en Rhône-Alpes	34
2.2.3. SRCE de Lorraine et ligne nouvelle LGV Est Européenne.....	37
2.2.4. SRCE de Bourgogne et ligne nouvelle LGV Paris Lyon	40
3. Méthodologies	46
3.1. Le protocole d'échantillonnage des suivis par technique génétique	46
3.1.1. Méthodologie générale	46
3.1.2. Choix des espèces échantillonnées	49
3.1.2.1. Critères et processus de sélection	49
3.1.2.2. Présentation des espèces retenues	51
3.1.2.3. Protocole de prélèvement.....	58
3.1.3. Les sites d'échantillonnage pour chaque espèce.....	64
3.1.3.1. La Salamandre tachetée (Salamandra salamandra).....	64

3.1.3.2.	Le Myrtil (<i>Maniola juratina</i>)	70
3.1.3.3.	Les Coléoptères.....	75
3.1.4.	Les analyses génétiques.....	81
3.1.4.1.	Génotypage.....	82
3.1.4.2.	Structuration génétique.....	82
3.1.4.3.	Mécanismes de structuration.....	83
3.2.	Le protocole d'échantillonnage photographique et par enregistrement ultrasonores.....	85
3.2.1.	Méthodologie générale.....	85
3.2.1.1.	Généralités.....	85
3.2.1.2.	Repérage des tronçons retenus.....	88
3.2.1.3.	Cartographie de l'occupation du sol des tronçons retenus.....	89
3.2.2.	Les groupes taxonomiques suivis.....	89
3.2.2.1.	Les mammifères terrestres.....	89
3.2.2.2.	Les Chiroptères.....	89
3.2.3.	Les types d'ouvrages suivis par groupes taxonomiques.....	90
3.2.3.1.	Sélection des ouvrages et protocole de suivi par technique photographique.....	90
3.2.3.2.	Sélection des ouvrages et protocole de suivi par enregistrement ultrasonore.....	98
3.2.3.3.	Intérêts et limites méthodologiques.....	99
4.	Résultats	106
4.1.	Les résultats du protocole de génétique du paysage	106
4.1.1.	Résultats des prélèvements.....	106
4.1.1.1.	La Salamandre tachetée.....	107
4.1.1.2.	Le Myrtil.....	107
4.1.1.3.	Les coléoptères.....	108
4.1.1.4.	Intérêts et limites méthodologiques.....	109
4.1.2.	Résultats des analyses par espèces.....	112
4.1.2.1.	La Salamandre tachetée.....	112
4.1.2.2.	Le Myrtil 120.....	
4.1.2.3.	La Féronie noire.....	128
4.1.3.	Résultats d'ensemble.....	136
4.2.	Les résultats des suivis par technique photographique et d'enregistrements ultrasonores.....	138
4.2.1.	La faune terrestre.....	138

4.2.1.1.	Les traversées sur les ouvrages non dédiés à la faune terrestre	143
4.2.1.2.	Les traversées sur les sections courantes par la faune terrestre	148
4.2.1.3.	Les traversées sur le passage supérieur spécifique Grande Faune	149
4.2.1.4.	Les fréquentations des abords sur les lignes classiques	149
4.2.1.5.	Les fréquentations des abords sur les lignes nouvelles	150
4.2.1.6.	Bilan général sur la faune terrestre	150
4.2.2.	Les chiroptères	152
4.2.2.1.	La fréquentation des chiroptères sur des ouvrages non dédiés	155
4.2.2.1.	Les fréquentations des abords par les chiroptères.....	159
4.2.2.1.	Bilan général sur les chiroptères	161
4.2.3.	Analyses sur les résultats des suivis sur la faune terrestre et les chiroptères avec les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique.....	163
4.2.3.1.	La ligne classique Franche-Comté	164
4.2.3.2.	La ligne classique Rhône-Alpes.....	173
4.2.3.3.	La ligne nouvelle LGV Est Européenne en Lorraine	182
4.2.3.4.	La ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne.....	192
5.	Recommandations	206
5.1.	Recommandations générales	210
5.1.1.	Positionnement des clôtures.....	210
5.1.2.	Aménagement des passages routiers supérieurs non dédiés à la faune.....	211
5.1.3.	Aménagement des passages routiers inférieurs non dédiés à la faune.....	212
5.1.4.	Aménagement des passages hydrauliques	213
5.2.	Recommandations concernant les 4 tronçons étudiés.....	213
5.2.1.	Ligne classique en Franche-Comté	214
5.2.2.	Ligne classique en Rhône-Alpes.....	217
5.2.3.	Ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine	221
5.2.4.	Ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne	228
6.	Conclusions	234

Figures et Photographies

Figure 1 : Localisation des différents tronçons étudiés dans le Grand Est de la France	29
Figure 2 : Ligne Classique étudié en Franche-Comté	30
Figure 3 : Ligne Classique étudié en Rhône-Alpes (Ain)	31
Figure 4 : Ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine	32
Figure 5 : Ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne	33
Figure 6 : Corridors et continuum écologiques sur la ligne classique Franche-Comté – SRCE Franche-Comté... 35	
Figure 7 : Corridors et continuum écologiques sur la ligne classique Rhône-Alpes – SRCE Rhône-Alpes..... 36	
Figure 8 : Réservoirs, zones de perméabilité et corridors écologiques sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne – SRCE Lorraine	38
Figure 9 : Réservoirs, zones de perméabilité et corridors écologiques sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne – SRCE Lorraine	39
Figure 10 : Réservoirs, corridors et continuum écologique – sous trame Forêts sur la ligne nouvelle LGV Bourgogne – SRCE Bourgogne..... 41	
Figure 11 : Réservoirs, corridors et continuum écologique – sous trame Prairies-Bocages sur la ligne nouvelle LGV Bourgogne – SRCE Bourgogne	42
Figure 12 : Réservoirs, corridors et continuum écologique – sous trame Plans d’eau et Zones humides sur la ligne nouvelle LGV Bourgogne – SRCE Bourgogne	43
Figure 13 : Schéma théorique pour l’échantillonnage selon modèle mis au point par le CNRS de Moulis	47
Photographie 14 : Salamandre tachetée (<i>Salamandra salamandra</i>) - G. Conryut-Rogeon, 2013	52
Photographie 15 : Myrtil (<i>Maniola jurtina</i>) - R. Sordello, 2013..... 53	
Photographie 16 : Féronie noire (<i>Abax parallelepipedus</i>) - R. Sordello, 2013	56
Photographie 17 : Carabe des bois (<i>Carabus nemoralis</i>) - R. Sordello, 2013	56
Photographie 18 : Prélèvement sur un adulte de Salamandre tachetée : Étape 3 - Réalisation du frottis - A. Tanguy, 2013..... 60	
Photographie 19 : Prélèvement sur un adulte de Salamandre tachetée : Étape 4 - Stockage du coton tige imbibé de salive dans un eppendorf rempli d’alcool - R. Sordello, 2013..... 60	
Photographie 20 : Échantillonnage du Myrtil : patte arrière droite de l’individu est coupée à l’aide d’une paire de ciseau - R. Sordello, 2013	61
Photographie 21 : Échantillonnage du Myrtil : patte coupée recueillie dans un récipient avant «Trans-fer» dans l’eppendorf - R. Sordello, 2013..... 61	
Photographie 22 : Contrôle d’un piège ayant capturé plusieurs coléoptères - R. Sordello	62
Photographie 23 : Contrôle d’un piège ayant capturé un <i>C. problematicus</i> – R. Sordello..... 64	
Figure 24 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Franche-Comté (Ligne classique)	66
Figure 25 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Rhône-Alpes (Ligne classique) 67	
Figure 26 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Lorraine (Ligne nouvelle LGV) . 68	
Figure 27 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Bourgogne (Ligne nouvelle LGV)	69
Figure 28 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtil en Franche-Comté (ligne classique)	71
Figure 29 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtil en Rhône-Alpes (Ligne classique)	72
Figure 30 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtil en Lorraine (Ligne nouvelle LGV)	73
Figure 31 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtil en Bourgogne (Ligne nouvelle LGV)	74
Figure 32 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire et du Carabe des Bois en Franche-Comté (Ligne classique)	77
Figure 33 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire et du Carabe des Bois en Rhône-Alpes (Ligne classique)	78
Figure 34 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire en Lorraine (Ligne nouvelle LGV)	79
Figure 35 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire en Bourgogne (Ligne nouvelle LGV)	80

Photographies 36 : Vues perpendiculaire ou parallèle en fonction des possibilités de fixation	86
Photographies 37 : différents modes de fixations de l'APF	86
Photographie 38 : Détecteur à ultrasons modèle SM2BAT Photo : C. Louvet	87
Photographie 39 : Station fixe d'enregistrement automatique des signaux de chiroptères avec SM2BAT. Le dispositif est fixé sur un arbre. Photo : Ecosphère.....	87
Figure 40 : Exemple de sonogrammes analysés avec le logiciel AnalookW (Petit Rhinolophe à gauche, Pipistrelle soprane au milieu, Murin sp. à droite).....	87
Photographies 41 : Exemple de situations des stations d'enregistrements SM2BAT+	88
Photographie 42 : Repérage d'un ouvrage supérieur sur la ligne classique Franche-Comté – A. Plaisance – mai 2012	88
Photographie 43 : Ouvrage de type 1 (Passage fortement fréquenté par l'Homme)	91
Photographie 44 : Ouvrage de type 2 (Moins fréquenté par l'Homme)	91
Photographie 45 : Ouvrage de type 3 (Passage inférieur avec revêtement béton).....	91
Photographie 46 : Ouvrage de type 4 (Passage inférieur avec revêtement stabilisé)	91
Photographie 47 : Ouvrage de type 5 (Buse hydraulique sur la LGV Est Européenne).....	91
Photographie 48 : type 6 (Section courante - dans notre cas avec une coulée visible).....	91
Photographie 49 : Buse : Ouvrage circulaire de taille très variable	95
Photographie 50 : Type Dalot : Ouvrage hydraulique arrondi ou carré maçonné avec une margelle en béton	95
Photographie 51 : Ouvrage maçonné en béton de taille importante permettant le passage de véhicules	95
Photographie 52 : Pont supérieur.....	95
Photographie 53 : Exemple de photo pertinente pour la faune	96
Photographie 54 : Exemple de photo lié à la fréquentation humaine	96
Photographie 55 : Exemple de photo inutilisable	96
Photographie 56 : Capture d'écran du référencement des photos	97
Figure 57 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne classique en Franche-Comté.....	100
Figure 58 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne classique en Rhône-Alpes	101
Figure 59 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine .	102
Figure 60 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne	103
Photographie 61 : Prospections au filet à papillon pour l'échantillonnage du Myrtil - Conruyt G., 2013	108
Figure 62 : Visualisation de la localisation des 6 clusters génétiques (Ka-Kf) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne classique en Franche Comté.	114
Figure 63 : Visualisation de la localisation des 5 clusters génétiques (Ka-Ke) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne classique en Rhône-Alpes.	115
Figure 64 : Visualisation de la localisation des 6 clusters génétiques (Ka) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.	116
Figure 65 : Visualisation de la localisation des 4 clusters génétiques (Ka-Kd) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon en Bourgogne.	117
Figure 66 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne classique en Franche-Comté.	124
Figure 67 : Visualisation de la localisation des trois clusters génétiques (Ka-Kc) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne classique en Rhône-Alpes.	125
Figure 68 : Visualisation de la localisation des deux clusters génétiques (Ka) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.	126
Figure 69 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon en Bourgogne.	127
Figure 70 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne classique en Franche-Comté.	130
Figure 71 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne classique en Rhône-Alpes.....	131

Figure 72 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.....	132
Figure 73 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon en Bourgogne.....	133
Figure 74 : Répartition des photographies sur l'ensemble des sites suivis (ouvrages et sections courantes) sur les 4 tronçons ferroviaires.....	138
Figure 75 : Nombre d'évènements par espèce	139
Figure 76: Activité de la faune terrestre par tranche horaire et par saison sur l'ensemble de l'étude	140
Figure 77: Proportion en pourcentage des traversées/jour au sein du groupe des carnivores selon le type d'ouvrages et le type de ligne (classique ou nouvelle)	144
Figure 78: Nombre de traversées/jour de la faune terrestre sur les ouvrages non dédiés à la faune	145
Figure 79: Proportion en pourcentage du nombre total de contacts par espèces ou groupe d'espèces	154
Figure 80: Nombre moyen de contacts de toutes espèces par ouvrage (hauteur, type)	155
Figure 81: Nombre moyen de contacts de pipistrelle sp. par ouvrage (hauteur, type)	156
Figure 82: Nombre moyen de contacts de chiroptères (sauf pipistrelle sp.) par ouvrage (hauteur, type)	157
Figure 83: Nombre moyen de contacts de Rhinolophes par ouvrage (hauteur, type)	157
Figure 84: Nombre moyen de contacts d'Oreillard sp. par ouvrage (hauteur, type).....	158
Figure 85: Nombre moyen de contacts de Barbastelle d'Europe par ouvrage (hauteur, type).....	158
Figure 86: Nombre de contacts/nuit sur les différentes sections courantes étudiées	160
Figure 87: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne classique Franche-Comté.....	164
Figure 88: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne classique Rhône-Alpes	173
Figure 89: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine	182
Figure 90: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne.....	192
Figure 91: Aménagement d'un guidage vers un passage supérieur mixte (schéma Ecosphère)	208
Figure 92: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne classique Franche-Comté	216
Figure 93: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne classique Rhône-Alpes ..	220
Figure 94: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine (partie est).....	226
Figure 95: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine (partie ouest).....	227
Figure 96: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne.....	231

Tableaux

Tableau 1 : Code couleur des Eppendorfs en fonction des zones d'études.....	48
Tableau 2 : Nomenclature pour l'étiquetage des Eppendorfs	48
Tableau 3 : Critères de sélection et score pour les espèces retenues	50
Tableau 4 : Taxons retenus pour le protocole initial du programme «Trans-fer»	51
Tableau 5 : Nombre d'ouvrages recensés sur chaque tronçon étudié	89
Tableau 6 : Descriptif des types d'ouvrages choisis par tronçon pour la faune terrestre.....	92
Tableau 7 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne classique Franche-Comté.....	92
Tableau 8 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne classique Rhône-Alpes	93
Tableau 9 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne nouvelle LGV en Lorraine	93
Tableau 10 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne nouvelle LGV en Bourgogne	94
Tableau 11 : Descriptif des types d'ouvrages choisis par tronçon pour les chiroptères	99
Tableau 12 : Bilan de l'échantillonnage par zones d'étude et par espèces	106
Tableau 13 : Bilan de l'échantillonnage de la Salamandre tachetée par zones d'étude.....	107
Tableau 14 : Bilan de l'échantillonnage du Myrtil par zones d'étude	107

Tableau 15 : Bilan de l'échantillonnage de la Féronie noire par zones d'étude	108
Tableau 16 : Méta-données paysagères pour l'échantillonnage de salamandres	112
Tableau 17 : Hétérozygotie et structuration entre sites pour la Salamandre dans les 4 régions considérées ...	113
Tableau 18 : Synthèse des résultats de Geneland pour la salamandre	113
Tableau 19 : Résumé des tests de Mantel visant à évaluer l'effet d'isolement par distance (IBD), par barrière (IBB D ; IBB R) et par résistance (IBR D) sur la distance génétique (FST) entre populations de Salamandres.	118
Tableau 20 : Résumé des modèles linéaires généralisés mixtes testant l'effet de la distance géographique, de la présence d'une voie ferrée (barrière) et de la continuité des milieux forestiers (resist) sur la distance génétique (F_{ST}) entre paires de populations de Salamandre. *, ** : effet significatif ($P < 0.05$, ou $P < 0.01$ sur une anova de type 3 appliquée au modèle). Les effets significatifs sont illustrés.....	119
Tableau 21 : Méta-données paysagères pour l'échantillonnage de Myrtil.....	120
Tableau 22 : Hétérozygotie et structuration entre sites pour le Myrtil dans les 4 régions considérées	121
Tableau 23 : Synthèse des résultats de Geneland pour le Myrtil	122
Tableau 24 : Résumé des tests de Mantel visant à évaluer l'effet d'isolement par distance (IBD), par barrière (IBB D ; IBB R) et par résistance (IBR D) sur la distance génétique (FST) entre populations de Myrtil.	122
Tableau 25 : Résumé des modèles linéaires généralisés mixtes testant l'effet de la distance géographique, de la présence d'une voie ferrée (barrière) et de la continuité des milieux ouverts (resist) sur la distance génétique (FST) entre paires de populations de Myrtil. * : effet significatif ($P < 0.05$ sur une anova de type 3 appliquée au modèle).	123
Tableau 26 : Méta-données paysagères pour l'échantillonnage de Féronies noires.....	128
Tableau 27 : Hétérozygotie et structuration entre sites pour la Féronie noire dans les 4 régions considérées.	129
Tableau 28 : Synthèse des résultats de Geneland pour la Féronie noire.....	129
Tableau 29 : Résumé des tests de Mantel visant à évaluer l'effet d'isolement par distance (IBD), par barrière (IBB D ; IBB R) et par résistance (IBR D) sur la distance génétique (FST) entre populations de Féronie.	134
Tableau 30 : Résumé des modèles linéaires généralisés mixtes testant l'effet de la distance géographique, de la présence d'une voie ferrée (barrière) et de la continuité des milieux ouverts (resist) sur la distance génétique (FST) entre paires de populations de Féronie. *, ** : effet significatif ($P < 0.05$ ou $P < 0.01$ sur une anova de type 3 appliquée au modèle). Les effets significatifs sont en gras.....	135
Tableau 31 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les ouvrages de la ligne classique Franche-Comté.....	140
Tableau 32 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les sections courantes de la ligne classique Franche-Comté.....	141
Tableau 33 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les ouvrages de la ligne classique Rhône-Alpes	141
Tableau 34 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les ouvrages de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne	142
Tableau 35 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les sections courantes de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne	142
Tableau 36 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur le passage spécifique Grande Faune (n°4) de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne.....	142
Tableau 37 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les ouvrages de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon.....	143
Tableau 38 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les sections courantes de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon.....	143
Tableau 39 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre	144
Tableau 40 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages supérieurs (type 1 & type 2)	146
Tableau 41 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages de type 3	146
Tableau 42 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages inférieurs (type 4).....	147
Tableau 43 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages de type 5 (buse, dalots)	147

Tableau 44 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre	148
Tableau 45 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre	149
Tableau 46 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre	150
Tableau 47 : Nombre d'espèces et nombre moyen de franchissements/jour sur les lignes étudiées.	151
Tableau 48 : Nombre de points d'écoute effectués pour les chiroptères selon la classe de hauteur des ouvrages inférieurs pour les lignes classiques (LC) et les lignes à grande vitesse (LGV).	152
Tableau 49 : Espèces ou groupes d'espèces de chiroptères contactés sur les différentes lignes étudiées.....	153
Tableau 50 : Nombre total de contacts et moyen/nuit d'écoute par type d'ouvrages ou sections courantes avec le nombre total d'espèces contactées	155
Tableau 51 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne classique Franche-Comté	159
Tableau 52 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne classique Rhône-Alpes	159
Tableau 53 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine	159
Tableau 54 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne.....	159
Tableau 55 : Nombre de contacts de chiroptères sur les sections courantes sur les 4 lignes étudiées	161
Tableau 56 : Nombre moyen de franchissements/nuit sur les lignes étudiées et d'autres références bibliographiques.....	162
Tableau 57 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne classique Franche-Comté	166
Tableau 58 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne classique Rhône-Alpes.....	175
Tableau 59 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.....	185
Tableau 60 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne.....	195
Tableau 61 : Ouvrages recensés de la ligne classique Franche-Comté avec les aménagements envisagés	215
Tableau 62 : Ouvrages recensés de la ligne classique Rhône-Alpes avec les aménagements envisagés	219
Tableau 63 : Ouvrages recensés de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine avec les aménagements envisagés.....	225
Tableau 64 : Ouvrages recensés de la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne avec les aménagements envisagés.....	230

Étude réalisée pour :



SNCF Réseau

92 avenue de France

75648 PARIS cedex 13

Dossier suivi par : Anne GUERRERO

E-mail : anne.guerrero@reseau.sncf.fr

Tél. : 01 53 94 34 21

Étude réalisée par :



Écosphère :

3 bis rue des Remises

94100 SAINT-MAUR-DES-FOSSES

Coordination : Sébastien ROUE

E-mail : sebastien.roue@ecosphere.fr

Tél : 05.56.37.72.23



**Muséum
national
d'Histoire
naturelle**

Service du Patrimoine Naturel :

36 rue Geoffroy Saint-Hilaire - CP 41

75231 PARIS cedex 05

Coordination : Romain SORDELLO

E-mail : sordello@mnhn.fr

Tél : 01 71 21 46 35



Station d'écologie expérimentale du CNRS de Moulis (SEEM) :

2 route du CNRS

09200 MOULIS

Coordination : Michel BAGUETTE

E-mail : baguette@mnhn.fr

Tél. : 05 61 04 03 60

Étude réalisée avec la collaboration :



Direction Territoriale Est

1 boulevard Solidarité – BP 85230

57076 METZ Cedex 3

Coordination : Jean CARSIGNOL

E-mail : jean.carsignol@cerema.fr

Tél : 03.87.20.46.14

Référence du rapport :

SNCF Réseau, Ecosphère, MNHN-SPN, CNRS, CEREMA – décembre 2015 – Programme « Trans-fer » : Analyse et rétablissement de la transparence écologique des infrastructures ferroviaires 2011-2014 – SNCF Réseau, Paris, 245 pp. + annexes.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement des auteurs ou de leurs ayant-droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L.122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal.

Membres de chaque structure ayant contribué à ce programme

Pour SNCF Réseau

- Anne Guerrero,
- Mathieu Prunac,
- Anne Petit,
- Didier Llorens,
- Julien Loiselay,

Correspondants locaux dans les directions territoriales pour les transmissions de données, accès, etc :

Denis Correia, Aziz Jaidane, Philippe Lecaillon, Virginie Leroy, Jean Poirot

Pour le Muséum national d'Histoire Naturelle

- Julien Touroult, Directeur adjoint en charge des programmes de conservation Natura 2000 et TVB
- Romain Sordello, coordination générale et échantillonnage Bourgogne/Lorraine
- Géraldine Conruyt-Rogeon, échantillonnage Franche-Comté/Rhône-Alpes

Experts sollicités pour les espèces :

Jean-Christophe De Massary (Amphibiens), Pascal Dupont (Lépidoptères), Patrick Haffner (Mammifères), Arnaud Horellou (Coléoptères), Christine Rollard (Araignées), Audrey Savouré-Soubelet (Mammifères)

Participants au terrain :

Géraldine Conruyt-Rogeon, Olivier Delzons, Laura Douard, Benoît Legros, Renaud Puissauve, Romain Sordello, Arnaud Tanguy, Marianne Vargac

Secrétariat pour matériel et missions :

Sylvie Chevallier, Mélanie Hubert, Fabienne Rue

Remerciements à :

- Toute l'équipe du SPN de Brunoy pour la collecte des bouteilles et des boîtes d'œuf et en particulier à Fabienne Rue, secrétaire
- Khaldia Akkari et Marielle Peroz pour le prêt de leur loupe binoculaire
- Pascal Delpy et Céryl Techer (Site de Brunoy) pour l'achat de matériel
- Laurent Godé du Parc naturel régional de Lorraine
- Philippe Pagniez de la Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL) de Bourgogne
- Sébastien Hesse de la Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL) de Lorraine
- Nicolas Varanguin de la Société d'Histoire naturelle d'Autun (SHNA)

Pour le CNRS

- **Michel Baguette**, Responsable de la Station d'Ecologie Expérimentale du CNRS de Moulis
- **Murielle Richard & Virginie Stevens**, coordination générale des analyses génétiques

Avec la collaboration de Gaëlle Blanvillain, Sophie Dardenne & Matteo Negroni

Pour le CEREMA

- **Jean Carsignol**, Expert Biodiversité du CEREMA Direction territoriale Est

Pour Ecosphère

- **Jean-Christophe Kovacs**, Supervision et relectures
- **Sébastien Roué**, coordination générale

Participants au terrain :

Maxime Clasquin, Guillaume Marchais, Amandine Plaisance, Pierre Salen

Analyses des photographies/Ultrasons

Julien Bariteaud, Emeric Bru, Guillaume Marchais, Amandine Plaisance, Sébastien Roué, Jennifer Thomas

Cartographie / Sigiste

Julien Bariteaud, Emeric Bru

1. INTRODUCTION



1. Introduction : évaluer la transparence écologique d'une ligne ferroviaire

1.1. Présentation et objectifs du programme «Trans-fer»

La réduction et la fragmentation des habitats sont actuellement considérées comme des causes majeures de l'érosion de la biodiversité et les infrastructures linéaires de transports (ILT) ont été identifiées comme l'un des principaux facteurs responsables de cette fragmentation (Gerlach & Musolf, 2000 ; Jackson, 2000 ; Glista *et al.*, 2007 ; Vandewoestijne *et al.*, 2005).

Les effets et menaces occasionnés sont multiples avec :

- des effets directs tels que la perte d'habitats (De Saadeler *et al.*, 2003) ou de la mortalité causée par les collisions (Glista *et al.*, 2007 ; Clevenger *et al.*, 2003 ; Clevenger *et al.*, 2001 ; Jackson, 2000) ;
- des effets de long terme dus à la disparition d'interactions paysagères de par l'effet barrière (Forman & Alexander, 1998 ; Coffin, 2007). Ces ruptures de flux engendrent parfois une diminution de l'abondance, de la densité et de la diversité spécifique et entraînent une réduction de la viabilité des populations (Scherer *et al.*, 2012 ; Cushman, 2006 ; Vandewoestijne *et al.*, 2005 ; Jackson, 2000).

Pour permettre le passage transversal de la faune au travers des ILT, et notamment des lignes ferroviaires, des ouvrages spécifiques sont construits depuis une quarantaine d'années. L'essentiel de ces mesures portent sur les lignes nouvelles mais on assiste à une demande croissante de rétablissement des continuités écologiques sur les réseaux existants. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer les impacts occasionnés par les voies ferrées sur la biodiversité, alors que cette connaissance scientifique de la transparence des infrastructures de transport reste modeste (Allag-Dhuisme *et al.*, 2010) et est même particulièrement lacunaire concernant les infrastructures ferroviaires (Savouré-Soublet *et al.*, 2012). Par ailleurs, l'évaluation de l'efficacité des ouvrages de franchissement est aussi assez récente et très souvent axée uniquement sur les vertébrés (Carsignol, 2006).

En 2007, le Grenelle de l'Environnement a souligné l'importance d'agir face au phénomène de la fragmentation des habitats. Le Ministère en charge de l'écologie s'est alors engagé dans une nouvelle politique d'identification des Trames Verte et Bleue (TVB), afin de préserver et de restituer les continuités écologiques en conciliant aménagement du territoire et préservation de la biodiversité. Les continuités écologiques d'importance régionale et les principaux obstacles à la circulation des espèces ont été identifiés dans les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE). Plus largement, le MEDDE (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie) a mis cet enjeu au cœur des politiques publiques et notamment de sa Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020 (Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'énergie 2011). Des appels à projet « Restauration des continuités écologiques » ont été lancés dès 2010.

SNCF Réseau est un des principaux gestionnaires d'infrastructure de transport en France et en Europe. Il a notamment en charge la gestion des 30 000 km de voies ferrées nationales, dont plus de 2 000 km de lignes nouvelles à grande vitesse, et a assuré le développement du réseau dans le cadre notamment du plan de modernisation engagé sur la période 2008-2013.

C'est dans ce contexte que SNCF Réseau (anciennement Réseau Ferré de France - RFF) a souhaité s'engager en soumettant le projet « Trans-fer » (Analyse de la TRANSparence écologique des infrastructures FERroviaires et préconisations) à l'un de ces appels à projet en s'entourant d'une

équipe scientifique (Service du Patrimoine Naturel – SPN - du Muséum national d'Histoire naturelle, Centre national de la recherche scientifique - CNRS) et technique (CEREMA - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - et bureau d'étude Ecosphère) afin de garantir à la fois la rigueur de l'analyse scientifique et l'opérationnalité des analyses et propositions de mesures.

Le programme «Trans-fer» a pour objets principaux :

- l'évaluation de la transparence des infrastructures linéaires pour différents groupes taxonomiques ;
- l'évaluation du rôle des différents ouvrages de rétablissement non dédiés à la faune pour les mammifères terrestres et les chiroptères, dans différents contextes (2 anciennes lignes « classiques » non clôturées + 2 LGV clôturées) ;
- une réflexion sur les mesures de restauration des continuités écologiques susceptibles d'être mises en œuvre sur des lignes existantes (notamment l'adaptation des caractéristiques techniques des ouvrages de franchissement non dédiés à la faune pour améliorer la transparence générale des lignes...).

Le projet «Trans-fer» est innovant de part :

- la considération des infrastructures de transport dans leur globalité, par tronçon et non ponctuellement au niveau de leurs ouvrages transversaux ;
- le nombre de tronçons et les linéaires de ligne considérés (quatre tronçons totalisant environ 80 km de voies), intégrant des lignes classiques et des lignes nouvelles (Lignes à Grande Vitesse – LGV) ;
- la diversité des groupes taxonomiques étudiés simultanément (amphibiens, mammifères terrestres et aériens, insectes terrestres et aériens) et la diversité des techniques mises en œuvre (techniques génétiques, suivis photographiques et acoustiques). Le projet aborde ainsi des espèces aux traits de vie distincts et aux sensibilités différentes faces à la fragmentation (diversité des modes de déplacement...) ;
- le montage du projet, qui combine expertise et recherche en ayant pour objectif de réinjecter cette connaissance ensuite dans des mesures opérationnelles de restauration.

1.2. Présentation des équipes en charge des techniques génétiques

Le Service du Patrimoine Naturel (SPN) du Muséum national d'Histoire Naturelle (MNHN) assure une mission d'expertise scientifique et technique auprès du Ministère de l'écologie (MEDDE) concernant le programme Trame verte et bleue. Dans ce cadre, il participe aux réflexions nationales telles que celles portant sur le suivi et l'évaluation de cette politique publique. A ce titre, le SPN a été amené à effectuer des propositions au MEDDE pour suivre et évaluer l'efficacité des Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE). La mobilisation de l'outil génétique fait partie de ces propositions (Sordello et al., 2012 ; Sordello et al., 2011).

Son rôle prend place à deux des différentes échelles du projet :

- à l'échelle nationale par la présence d'un chef de projet situé sur le site de Brunoy : le SPN fait partie du comité technique réuni autour du MEDDE pour préciser les orientations nationales du projet TVB comme les critères de cohérence nationale, les exigences sémiologiques des SRCE ou le suivi et l'évaluation de la politique TVB ;
- à l'échelle régionale (Franche-Comté) et interrégionale (Grand Est) par la présence d'une chargée de mission hébergée en DREAL (Direction régionale de l'Ecologie, de l'Aménagement et du Logement) Franche-Comté : le SPN élabore des dispositifs expérimentaux concernant les continuités écologiques (protocole de relevé de collisions, suivi des ouvrages de franchissement) et contribue également à fédérer les acteurs de la trame verte et bleue dans cette inter-région.

Au-delà de ces différents travaux réalisés aux échelles nationale et régionale, le SPN assure une veille scientifique globale sur le thème des continuités écologiques et se positionne comme un acteur important sur cette thématique. Il a ainsi acquis depuis plusieurs années une compétence certaine sur ce sujet par l'analyse d'articles scientifiques et de retours d'expériences lui permettant de rester à la pointe des nouvelles avancées de la recherche. Il tente d'adopter un rôle de pionnier sur le thème de la fragmentation des habitats en s'intéressant à des sujets encore peu pris en compte comme la pollution lumineuse et à des outils d'avenir comme la génétique du paysage.

Dans le cadre de ce programme, le SPN a eu en charge :

- de contribuer à la réalisation et au suivi du travail de terrain pour plusieurs groupes taxonomiques (amphibiens, coléoptères carabidés et lépidoptères rhopalocères) ;
- de mettre en œuvre, avec des laboratoires partenaires, les techniques de génétique du paysage.

Les analyses génétiques ont été dirigées par Michel Baguette (MNHN) et réalisées par l'USR 2936 du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) localisée à la Station d'Ecologie Expérimentale de Moulis (SEEM). Créée en 1948 sous le nom de «Laboratoire souterrain de Moulis», cette unité de recherche compte aujourd'hui une vingtaine de membres permanents et est ouverte à des collaborateurs du monde entier qui souhaitent y mener des recherches. L'étude des causes et des conséquences de la dispersion, c'est-à-dire du mouvement des individus entre populations, est au cœur des préoccupations de la SEEM. La station bénéficie pour cela de l'expertise théorique de chercheurs en place (entre-autres, Jean Clobert, Michel Loreau, Michel Baguette, Virginie Stevens), de bâtiments d'élevage pour divers groupes taxonomiques, d'un mésocosme terrestre unique au monde (le Métatron) qui permet de tester des hypothèses en manipulant la dispersion à une échelle spatiale inégalée jusqu'à présent (48 cages de 200 m³ chacune connectées par des corridors de 19 m de long dont l'ouverture est contrôlée), de jeux de données à long terme (plus de 20 ans) sur des espèces « modèle » en écologie spatiale et de laboratoires de phénotypage et de génotypage. Michel Baguette analyse depuis deux décennies la dispersion dans les métapopulations et ses conséquences sur la connectivité des paysages, sur les plans théoriques et empiriques.

1.3. Présentation des équipes en charge des suivis photographiques ou d'enregistrements ultrasonores

Créé en 1988 par 3 ingénieurs écologues, Ecosphère est un bureau d'études spécialisé dans l'expertise et l'aménagement des milieux naturels comprenant plus de 80 personnes avec ses filiales.

En un peu plus de 25 ans, Ecosphère a participé à plus de 2 500 études environnementales, incluant des études d'impacts et d'incidence Natura 2000, des audits et expertises post-projets, le développement de méthodes de comparaison et de hiérarchisation pour des expertises écologiques de territoires (ZNIEFF, PNR, Natura 2000, ENS...) et l'élaboration d'indices de biodiversité pour différents types d'habitats.

Concernant le domaine ferroviaire, Ecosphère dispose d'une importante expérience pour avoir pris en charge de nombreuses études sur des lignes existantes ou sur des lignes à grande vitesse (LN Provence Côte d'Azur, LGV Grands Projets du Sud-Ouest, LGV Sud Europe Atlantique, LGV Poitiers-Limoges, Lyon-Turin, réouverture de voie ferrée Flamboin-Montereau, etc.).

Dans le cadre de ce programme, Ecosphère a eu en charge :

- la réalisation et le suivi du travail de terrain pour les grands mammifères et les chiroptères avec des appareils de pièges photographiques et des détecteurs automatiques d'ultrasons ;
- de mettre à profit son expertise des études d'infrastructures ferroviaires ;
- de contribuer à l'animation de cet appel à projet ;
- de coordonner et réaliser le rapport de synthèse.

1.4. Présentation du CEREMA

Le CEREMA, Etablissement public à caractère administratif regroupant onze services du ministère de l'égalité des territoires et du logement (METL) et du ministère de l'écologie (MEDDE), dont les huit Centres d'études techniques de l'équipement (CETE), le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (Certu), le Centre d'études techniques, maritimes et fluviales (CETMEF), et le Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Setra), agit pour le compte de l'État et de ses services déconcentrés.

Il propose des prestations de conseil, d'assistance, d'expertise et d'études dans les domaines touchant aux infrastructures et à leur exploitation, au transport et sécurité, à l'aménagement du territoire ainsi qu'au domaine environnement-risques.

Au sein de cet établissement public, la division Environnement de la Direction territoriale Est et son pôle de compétence et d'innovation réalise des missions très variées :

- le pilotage et l'assistance à maîtrise d'ouvrage d'études d'environnement centrées sur la biodiversité (milieux terrestres et aquatiques) ;
- l'identification des trames vertes et bleues, la préservation et la restauration des corridors écologiques dans le cadre de projets d'infrastructures ou d'aménagements urbains et d'élaboration de documents d'urbanisme ;
- l'approfondissement de la connaissance des espèces et des habitats liée aux impacts des infrastructures sur la biodiversité ;

- le contrôle de dossiers et de chantiers d'infrastructures dans les domaines de la biodiversité et de l'assainissement ;
- l'expertise de projets d'aménagements ou de réalisations d'infrastructures routières et ferroviaires, notamment en matière d'impacts et de mesures de réduction ou de compensation de ces impacts ;
- la réalisation d'études paysagères liées à la route, à la voie d'eau et aux aménagements urbains ;
- la formation et le «Trans-fer»t de la doctrine, des connaissances et du savoir-faire au sein du réseau scientifique et technique (RST) du Ministère.

La Division environnement de la Direction territoriale Est compte 10 agents dont 2 experts (parmi lesquels Jean Carsignol) et 2 spécialistes reconnus par le RST auquel il appartient.

Dans le cadre de ce programme, le CEREMA a eu en charge :

- de contribuer par la présence de M. CARSIGNOL aux différents comités de pilotage tout au long de la vie du projet ;
- de mettre à profit son expertise dans ce domaine des infrastructures linéaires de transport.

En synthèse

SNCF Réseau est un des principaux gestionnaires d'infrastructure de transport en France et en Europe. Il a notamment en charge la gestion des 30 000 km de voies ferrées nationales, dont plus de 2 000 km de lignes nouvelles à grande vitesse. Dans ce contexte, il a engagé le projet « Trans-fer » (Analyse de la TRANSparence écologique des infrastructures FERroviaires et préconisations) en s'appuyant sur une équipe scientifique (Service du Patrimoine Naturel du Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS) et technique (CEREMA et bureau d'étude Ecosphère) afin de garantir à la fois la rigueur de l'analyse scientifique et l'opérationnalité des analyses et propositions de mesures.

Le programme «Trans-fer» a pour objets principaux :

- *l'évaluation de la transparence des infrastructures linéaires pour différents groupes taxonomiques ;*
- *l'évaluation du rôle des différents ouvrages de rétablissement non dédiés à la faune pour les mammifères terrestres et les chiroptères, dans différents contextes (2 anciennes lignes « classiques » non clôturées + 2 LGV clôturées) ;*
- *une réflexion sur les mesures de restauration des continuités écologiques susceptibles d'être mises en œuvre sur des lignes existantes (notamment l'adaptation des caractéristiques techniques des ouvrages de franchissement non dédiés à la faune pour améliorer la transparence générale des lignes...).*

Le projet «Trans-fer» est innovant de part :

- *la considération des infrastructures de transport dans leur globalité, par tronçon et non ponctuellement au niveau de leurs ouvrages transversaux ;*
- *le nombre de tronçons et les linéaires de ligne considérés (quatre tronçons totalisant environ 80 km de voies), intégrant des lignes classiques et des lignes nouvelles (Lignes à Grande Vitesse – LGV) ;*
- *la diversité des groupes taxonomiques étudiés simultanément (amphibiens, mammifères terrestres et aériens, insectes terrestres et aériens) et la diversité des techniques mises en œuvre (techniques génétiques, suivis photographiques et acoustiques). Le projet aborde ainsi des espèces aux traits de vie distincts et aux sensibilités différentes faces à la fragmentation (diversité des modes de déplacement...);*
- *le montage du projet, qui combine expertise et recherche en ayant pour objectif de réinjecter cette connaissance ensuite dans des mesures opérationnelles de restauration.*

2. CONTEXTE



2. Contexte

2.1. Les tronçons ferroviaires étudiés

Le programme Trans-fer concerne quatre tronçons de lignes ferroviaires d'environ vingt kilomètres de longueur chacun (*cf.* figure 1) :

- deux tronçons de lignes classiques (LC) : l'un entre Besançon et Mouchard (Région Franche-Comté) et l'autre entre Saint-Amour et Bourg-en-Bresse (Région Rhône-Alpes). Ces lignes classiques ne sont pas clôturées et leurs emprises sont en moyenne de 15 mètres de largeur ;

- deux tronçons de lignes à grande vitesse (LGV) : LGV Paris-Lyon en Bourgogne entre Avallon et Montceau les Mines et LGV Est Européenne en Lorraine entre Châlons en Champagne et Pont à Mousson. Ces lignes nouvelles sont totalement clôturées avec un grillage d'une hauteur moyenne de 1,8 mètre et les emprises clôturées varient entre 20 et 50 mètres de largeur.

Les tronçons ferroviaires ont été sélectionnés de manière à présenter deux grands types de milieux : des milieux ouverts (prairies, cultures, etc.) et des milieux dits fermés (forêts de feuillus, de conifères, etc.).

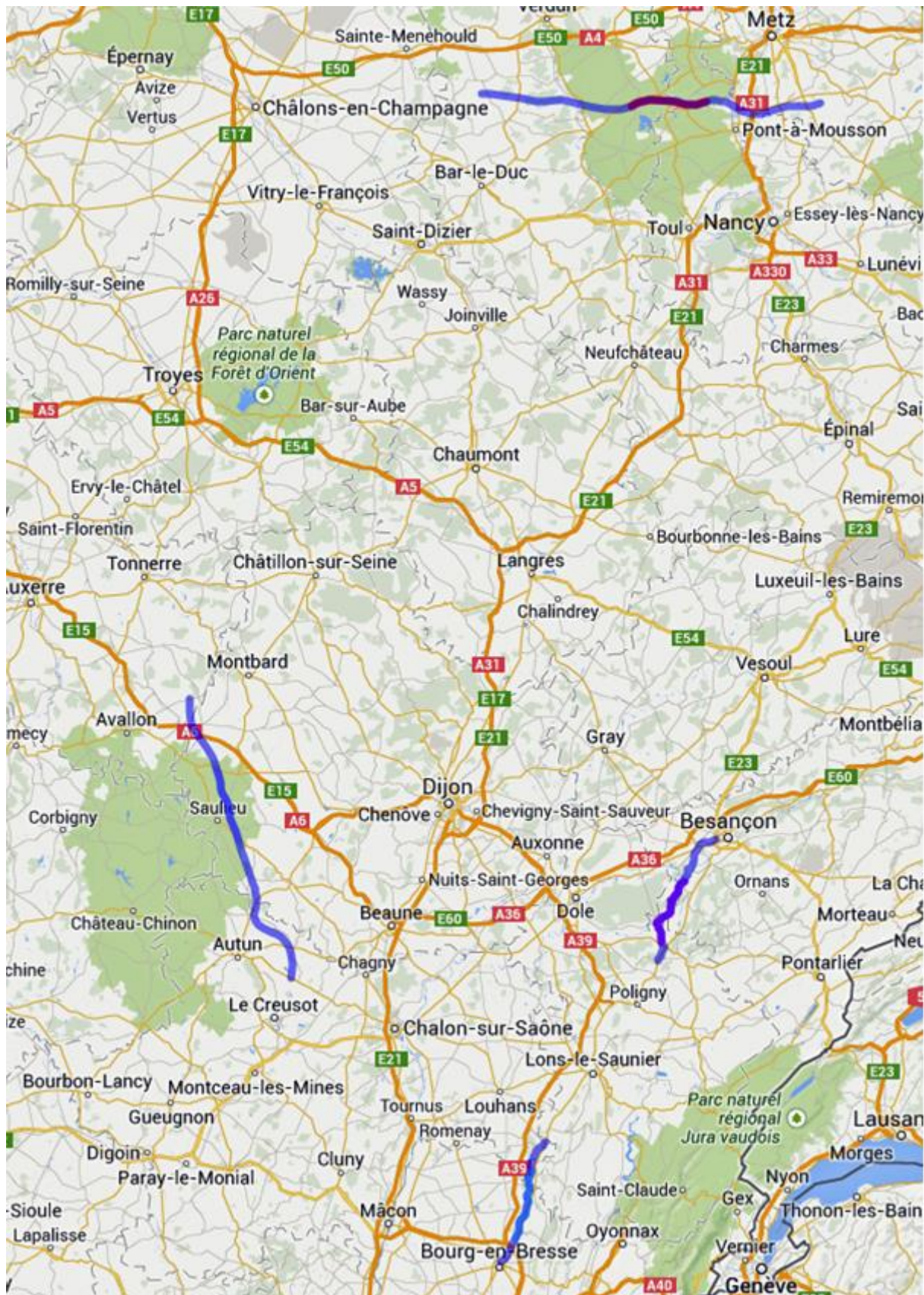


Figure 1 : Localisation des différents tronçons étudiés dans le Grand Est de la France

2.1.1. Ligne classique en Franche-Comté

Cette ligne ferroviaire classique à double voie (emprise 15 mètres de large) est ancienne et a été créée au milieu du 19^{ème} siècle. Électrifiée depuis la fin des années 1990, le tronçon est situé au sud-ouest de Besançon à la limite départementale entre le Doubs et le Jura.

Globalement la ligne est parallèle et à l'ouest de la N83, depuis Abbans-Dessous jusqu'à Mouchard (cf. figure 2) dans le secteur de la bordure jurassienne en limite du premier plateau du massif jurassien. Ce secteur est caractérisé par un relief marqué. Il est situé entre la vallée du Doubs et la vallée de la Loue. L'occupation des sols correspond à des forêts de feuillus (chêne dominant), des ruisseaux et des zones rurales de polyculture et d'élevage.

Le trafic fourni par SNCF Réseau était de 5 569 trains pour l'année 2013 avec une moyenne 14,5 trains/jour en journée et 0,8 trains/jour la nuit.

En période nocturne (22h – 6h), la fréquentation de la ligne est donc extrêmement faible.

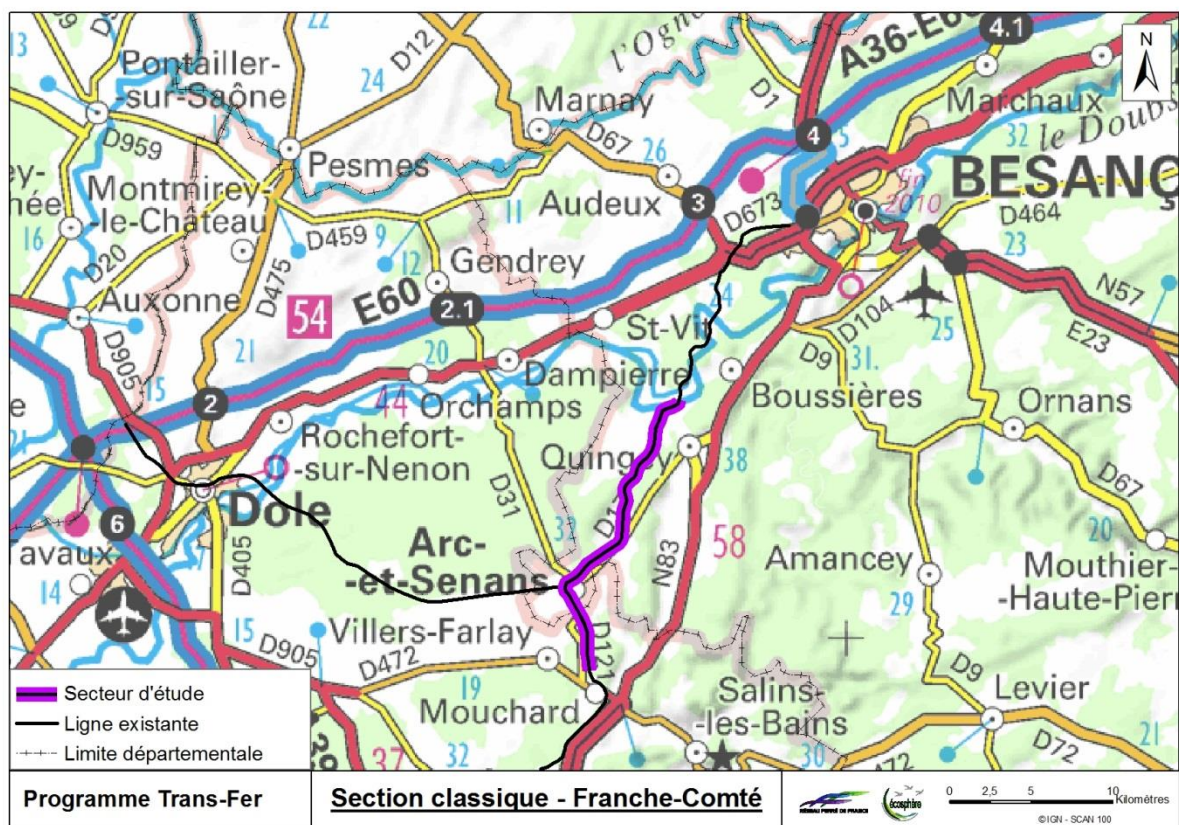


Figure 2 : Ligne Classique étudié en Franche-Comté

2.1.2. Ligne classique en Rhône-Alpes

Comme la précédente, il s'agit d'une ligne ferroviaire classique à double voie (emprise 15 mètres de large) ancienne, créée au milieu du 19^{ème} siècle. Électrifiée depuis la fin des années 1990, le tronçon est situé dans l'Ain, entre Bourg-en-Bresse et Saint-Amour (Jura). Le tronçon s'insère entre l'A39 et la D1083 (cf. figure 3) dans le secteur entre la bordure jurassienne et la Bresse comtoise. Ce secteur est marqué par un relief peu vallonné et par un paysage associant des forêts de feuillus (chêne dominant), des ruisseaux et des zones de polyculture et d'élevage.

Le trafic fourni par SNCF Réseau était de 19 988 trains pour l'année 2013 avec une moyenne 26,3 trains/jour en journée et 28,5 trains/jour la nuit.

En période nocturne (22h – 6h), la fréquentation de la ligne est donc d'un train toutes les 16 minutes en moyenne.

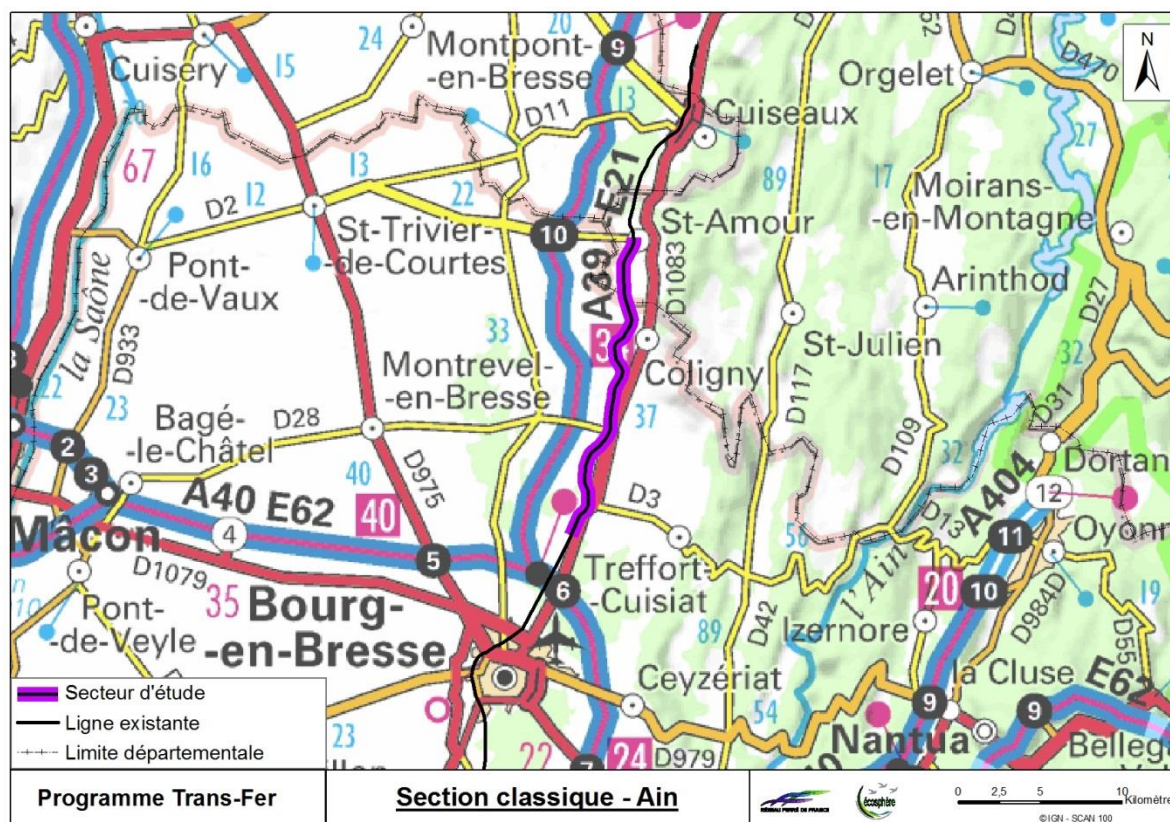


Figure 3 : Ligne Classique étudié en Rhône-Alpes (Ain)

2.1.3. Ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

La LGV Est-Européenne, ou ligne nouvelle 6 (LN6), longue de 406 km, relie les environs de Paris (Vaires-sur-Marne) à Vendeheim (Bas-Rhin). Construite en deux phases, le tronçon entre Paris et Baudrecourt (Moselle) soit 300 km, a été mis en circulation en 2007.

Le trafic mentionné par SNCF Réseau était de 31 749 trains en 2013 avec une moyenne 82,1 trains/jour en journée et 4,9 trains/jour la nuit.

En période nocturne (22h – 6h), la fréquentation de la ligne est très faible avec des passages concentrés dans les périodes 22h-23h (3 à 4 trains) et 4h-6h du matin (1 à 2 trains).

Le tronçon étudié est situé au sud-ouest de Metz, à cheval sur les départements de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle, à proximité du Lac de Madine. La zone d'étude s'étend globalement entre Vigneulles-les-Hattonchâtel et le Bois communal de Villecey-sur-Mad (cf. figure 4). Elle traverse le Parc Naturel Régional de Lorraine. Les espaces agricoles occupent des clairières au milieu des forêts de hêtre. Les cours d'eau qui ont creusé les calcaires du Bajocien (Rupt-de-Mad), dessinent des vallées encaissées, aux ambiances intimes, étonnamment déconnectées du plateau. Les villages sont installés au centre des clairières cultivées.

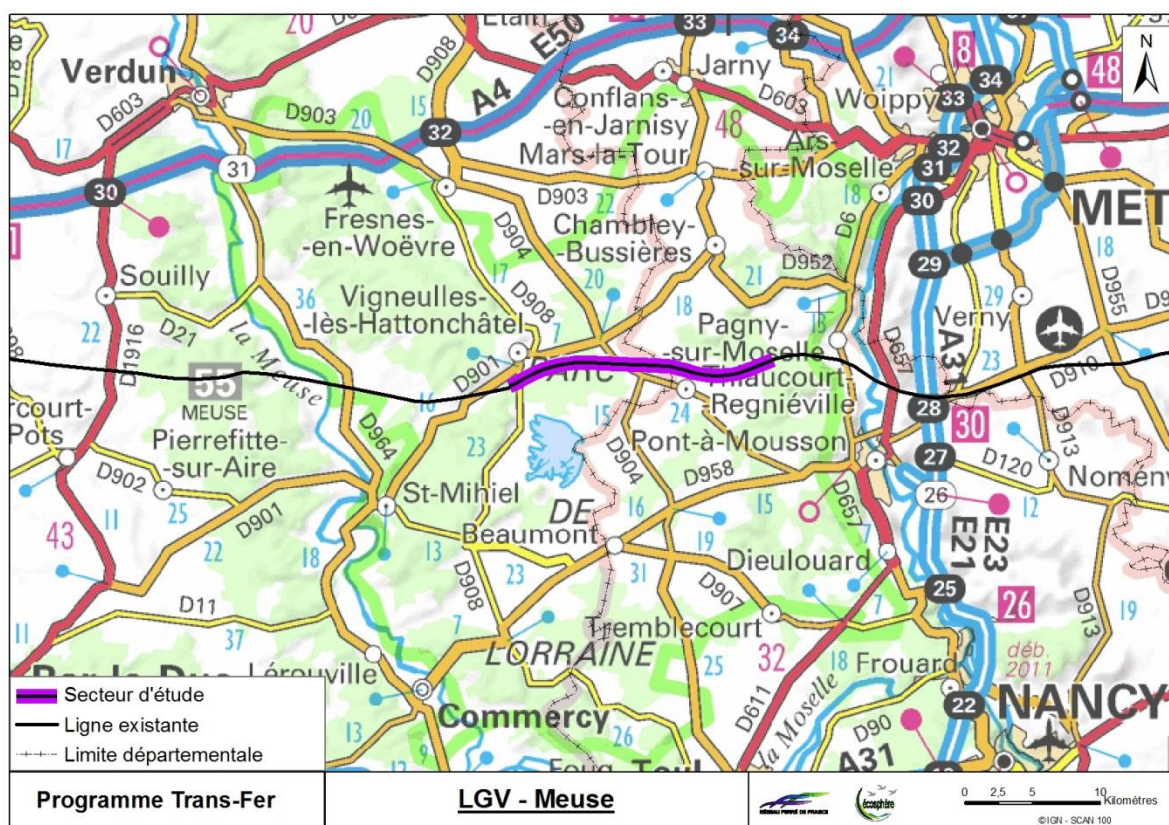


Figure 4 : Ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

2.1.4. Ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

La LGV Paris-Lyon, ou ligne nouvelle 1 (LN1), longue de 409 km, relie les environs de Paris (Combs-la-Ville) aux environs de Lyon (Sathonay). Inauguré en 1981, cette ligne à grande vitesse a ouvert le chapitre de la grande vitesse ferroviaire en France. Elle a vu depuis plus de 30 ans une augmentation constante de son trafic. En 2013, le trafic était d'environ 74 000 trains dont en moyenne 185,3 trains/jour en journée et 13,5 trains/jour la nuit.

En période nocturne (22h – 6h), la fréquentation de la ligne s'avère régulière avec en moyenne un passage toutes les 35 minutes (par rapport à un passage toutes les 5 minutes en journée).

Le tronçon étudié est situé à l'ouest de Saulieu en Côte d'Or. Il traverse le Parc Naturel Régional du Morvan. Le tronçon correspond globalement à la partie de voie ferrée située entre les départementales D70 (ouest de Précy-sous-Thil) et D906 (sud-est de Saulieu - cf. figure 5). Les paysages des marges du Morvan se répartissent entre des prairies naturelles et des forêts, autrefois composées uniquement de feuillus et comprenant de plus en plus de résineux.

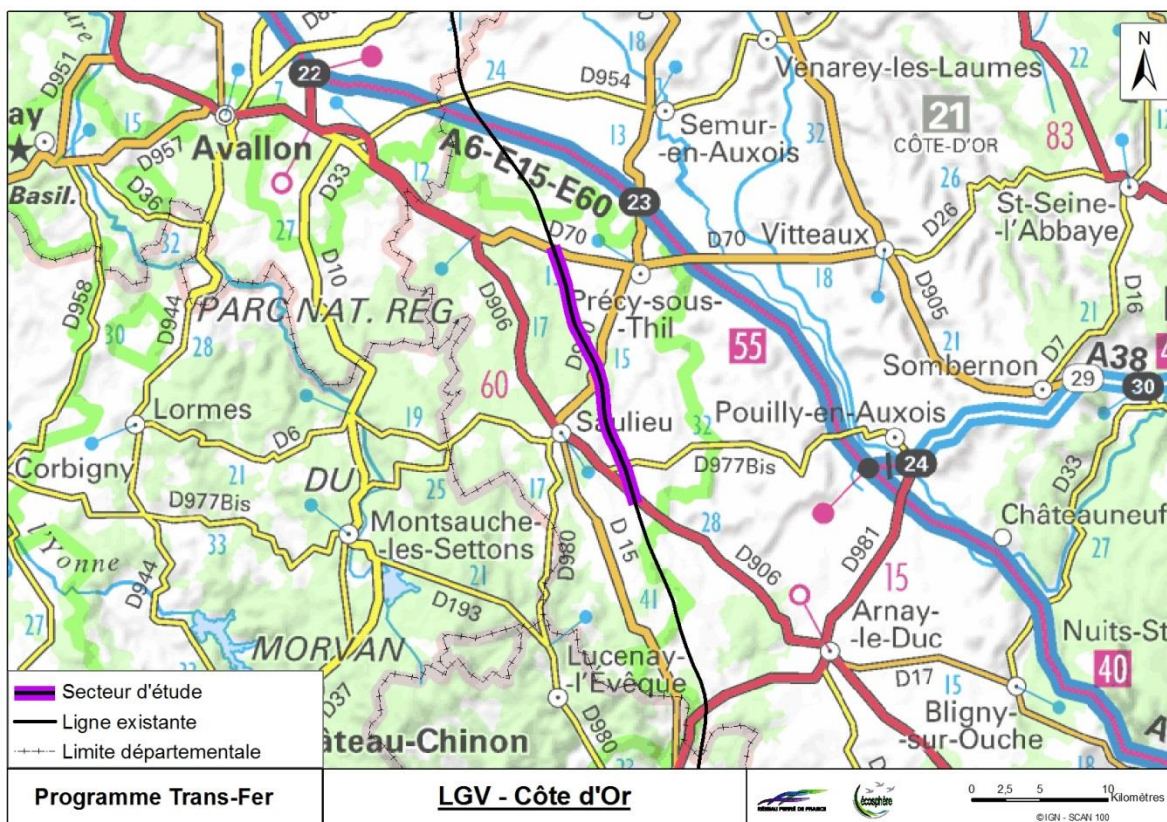


Figure 5 : Ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

2.2. Les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique

Au regard des tronçons étudiés, les différents Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique existant sur les 4 régions (Bourgogne, Franche-Comté, Lorraine et Rhône-Alpes) sont présentés ci-après par rapport aux lignes ferroviaires étudiées et aux enjeux connus sur les corridors et autres continums écologiques transectés par ces infrastructures ferroviaires.

2.2.1. SRCE et ligne classique en Franche-Comté

Ce Schéma Régional de Cohérence Ecologique a été validé officiellement le 2 décembre 2015.

Plusieurs corridors régionaux à préserver ou à remettre en bon état sont intersectés par la ligne classique étudiée (cf. figure 6). Cependant, cette ligne ferroviaire n'est pas identifiée parmi les infrastructures de transport fragmentant les couloirs de déplacement potentiel des espèces. Néanmoins, il est mentionné « *Des espaces forestiers, herbacés et en mosaïque paysagère fragmentés par différentes infrastructures de transport* » (enjeu A2 et enjeu A5), qui concernent au moins en partie la fragmentation associée au tronçon de ligne ferroviaire étudié.

L'orientation B de ce SRCE est de « *Limiter la fragmentation des continuités écologiques* » avec trois actions définies :

- « *Inventorier et hiérarchiser les points noirs de déplacements des espèces avec les infrastructures de transport* » (action OB1-1) ;
- « *résorber les points noirs associés aux infrastructures de transport* » (action OB1-2) ;
- et « *promouvoir la mise en place de partenariats pour les aménagements des emprises des réseaux de transport routiers, ferroviaires et électriques* » (action OB1-3).

Les études menées dans le cadre du programme «Trans-fer» vont permettre de contribuer à une première connaissance sur le tronçon ferroviaire étudié et à proposer le cas échéant des opérations de résorptions de points noirs éventuels en rapport avec l'orientation B du SRCE.

2.2.2. SRCE et ligne classique en Rhône-Alpes

Ce Schéma Régional de Cohérence Ecologique est adopté depuis le 22 juillet 2014.

La ligne ferroviaire étudiée se situe dans un secteur défini à enjeux de maintien et/ou de restauration d'une trame verte et bleue fonctionnelle en secteurs à dominante agricole avec des enjeux de maintien et/ou de restauration des liaisons entre grands ensembles naturels et agricoles ainsi que de maintien des continuités écologiques inter-régionales (avec la Bourgogne et la Franche-Comté). Au nord, la ligne étudiée intercepte également un réservoir biologique de la sous-trame des milieux forestiers du SRCE de Franche-Comté.

Deux fuseaux d'importance régionale, regroupant plusieurs zones de passages potentiels, de corridors écologiques, à remettre en bon état sont interceptés par la ligne ferroviaire au nord et au sud de St-Etienne-du-Bois (cf. figure 7). Un obstacle ponctuel (point noir) à l'écoulement de l'eau est mentionné également à St-Etienne-du-Bois sur la ligne étudiée. Cette ligne ferroviaire est d'ailleurs à perméabilité moyenne en raison de son électrification parmi les infrastructures de transport fragmentant les couloirs de déplacement potentiel des espèces.

L'orientation n°2 « *Améliorer la transparence des infrastructures et ouvrages vis-à-vis de la Trame verte et bleue* » mentionne, que sur la base des points de conflits identifiés, des secteurs d'interventions prioritaires seront définis afin de favoriser l'émergence d'actions de restauration des continuités terrestres et aquatiques.

Le territoire de Bresse-Revermont-Dombes, intégrant la ligne étudiée, fait partie des territoires de vigilance vis-à-vis du maintien et/ou de la remise en bon état des continuités écologiques (objectif 7.3).

Les études menées dans le cadre du programme «Trans-fer» vont permettre de contribuer à une première connaissance sur le tronçon ferroviaire étudié et à proposer le cas échéant des opérations de résorptions de points noirs éventuels en rapport avec l'orientation n°2 du SRCE.

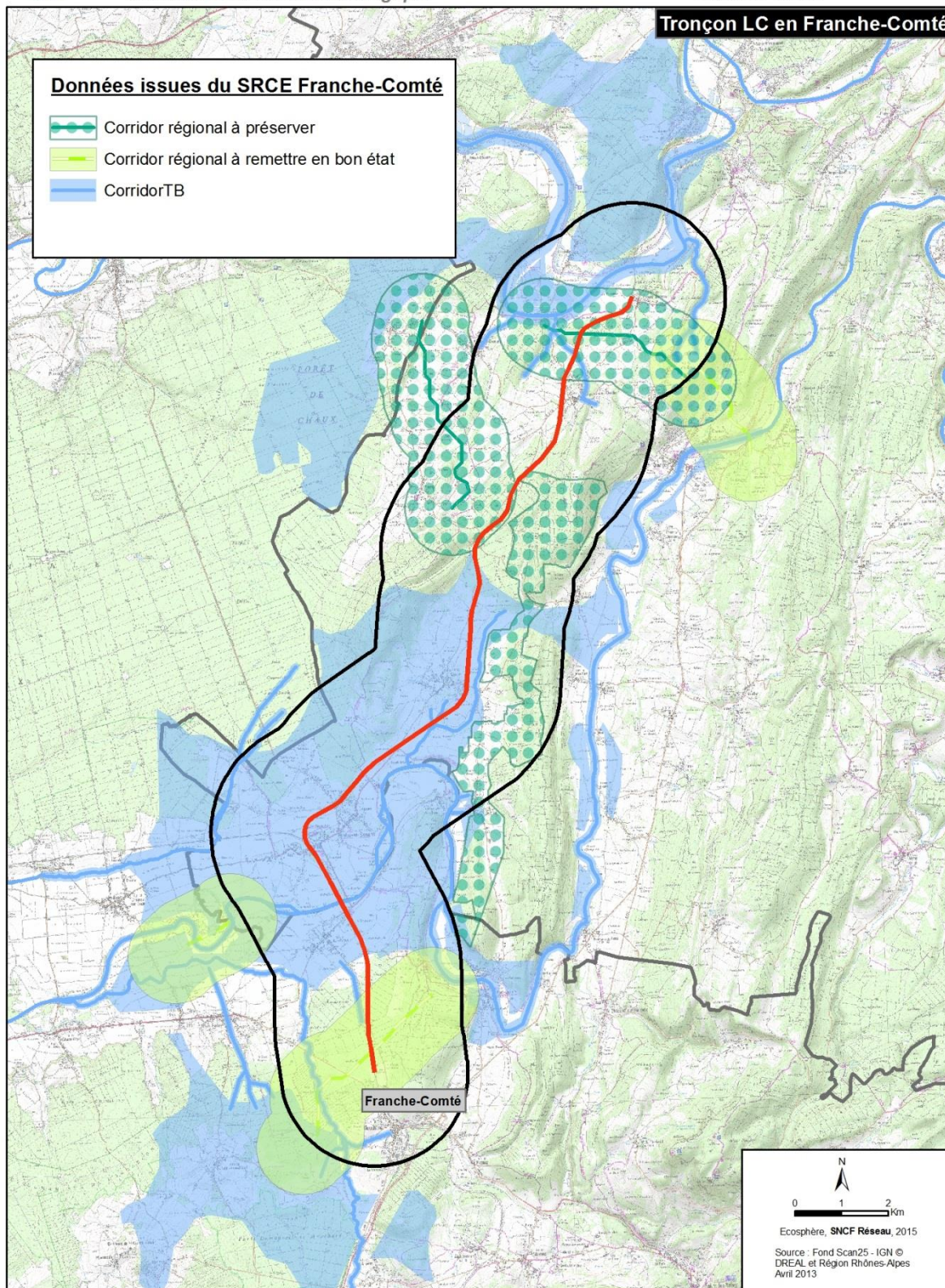


Figure 6 : Corridors et continuum écologiques sur la ligne classique Franche-Comté – SRCE Franche-Comté

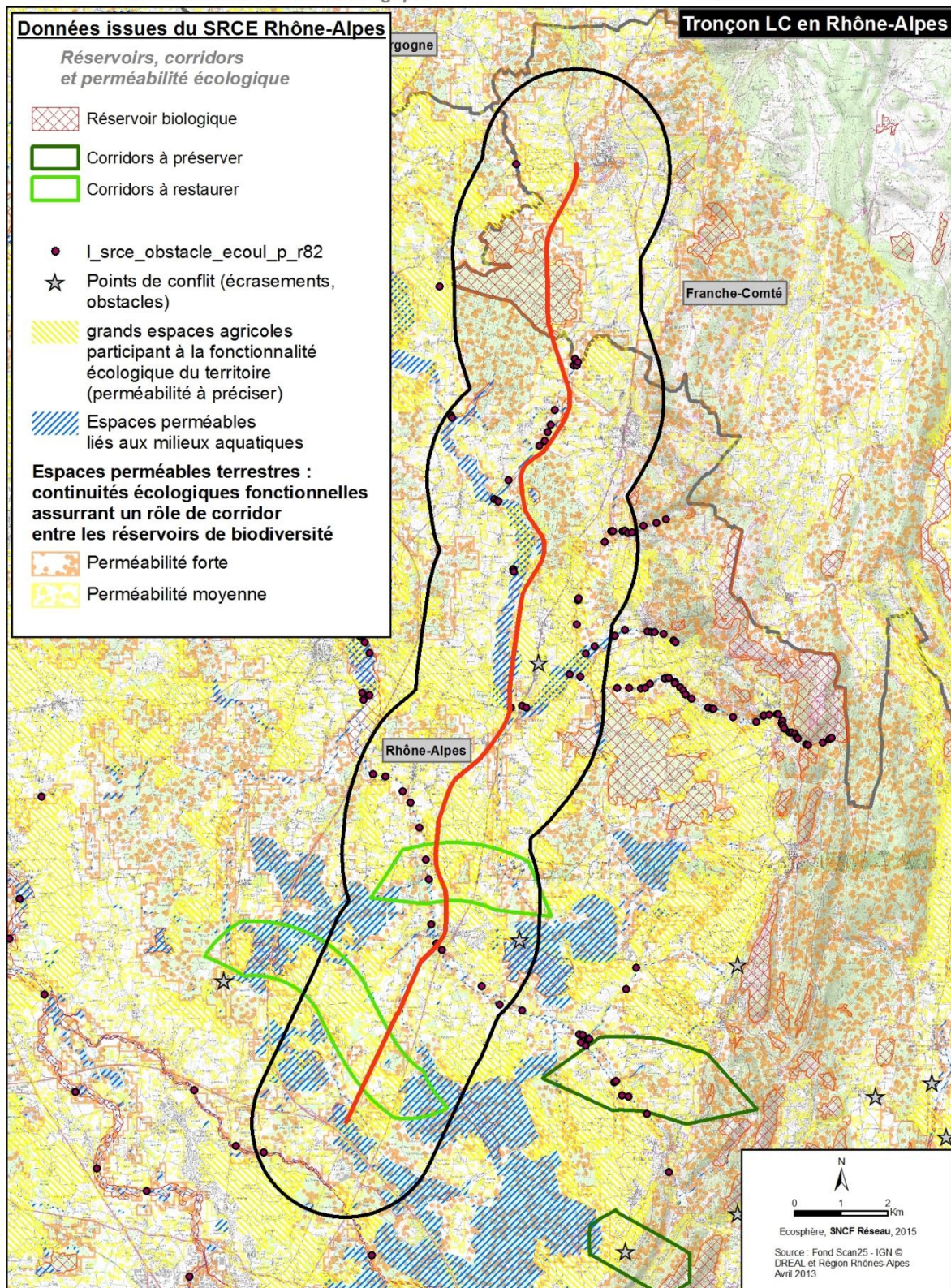


Figure 7 : Corridors et continuum écologiques sur la ligne classique Rhône-Alpes – SRCE Rhône-Alpes

2.2.3. SRCE de Lorraine et ligne nouvelle LGV Est Européenne

Ce Schéma Régional de Cohérence Ecologique a été adopté le 15 janvier 2015.

Plusieurs corridors régionaux (herbacés, forestiers, thermophiles et alluviaux -cf. figures 8 et 9) sont intersectés par la ligne nouvelle LGV Est-Européenne.

La LGV Est-Européenne, entièrement grillagée, ainsi que son futur tronçon en cours d'achèvement à partir de Baudrecourt en Moselle, est considérée comme très impactante par le SRCE. Néanmoins, la mise en place de passages à faune tend à rétablir la transparence de l'infrastructure sur une partie de son tronçon.

Un premier corridor forestier est situé à l'Est sur la commune de Prény. Un triple corridor (thermophile, forestier et alluvial) est situé sur le franchissement en viaduc du Bois de Feys (cours d'eau du Rupt de Mad). Trois autres corridors sont situés de part et d'autre du secteur forestier du Bois de Vigneulles. Tous ces secteurs sont situés dans des zones de forte perméabilité entre des réservoirs de biodiversité situés au nord et au sud de cette ligne nouvelle.

Par rapport à l'enjeu n°5 du SRCE, les orientations 5.1 et 5.2 de ce SRCE sont respectivement d'« *Evaluer la transparence écologique des réseaux de transport* » et d'« *Améliorer la transparence écologique des réseaux de transport* » avec principalement des connaissances à acquérir (mise en place d'une base de données collaborative sur les caractéristiques et la franchissabilité des ouvrages, promouvoir la réalisation d'études particulières sur la transparence des réseaux les plus impactants).

Les études menées dans le cadre du programme «Trans-fer» vont améliorer la connaissance de ce tronçon de la ligne LGV Est-Européenne et donc contribuer aux connaissances à acquérir par rapport aux orientations 5.1 et 5.2 du SRCE de Lorraine.

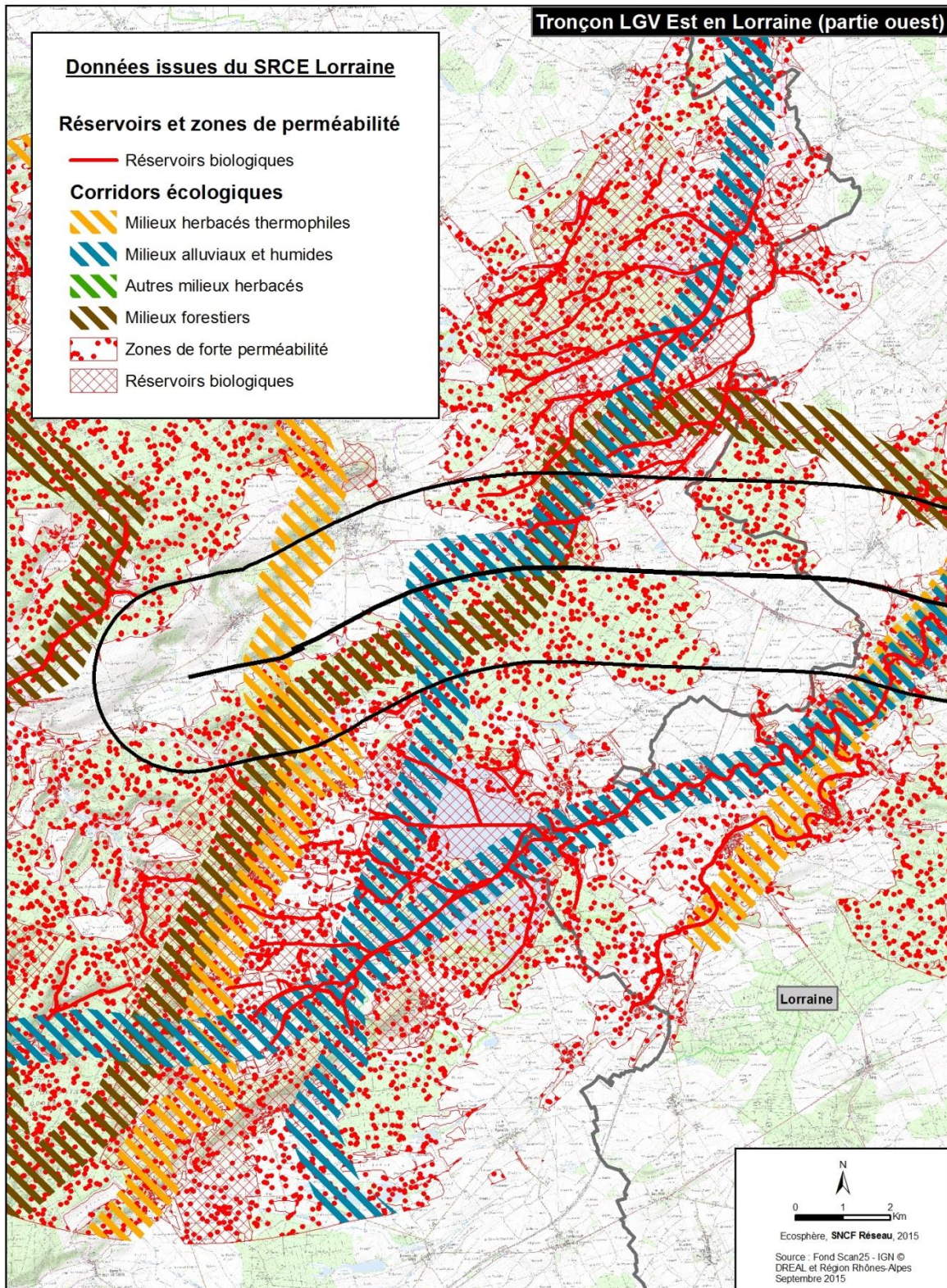


Figure 8 : Réservoirs, zones de perméabilité et corridors écologiques sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne – SRCE Lorraine

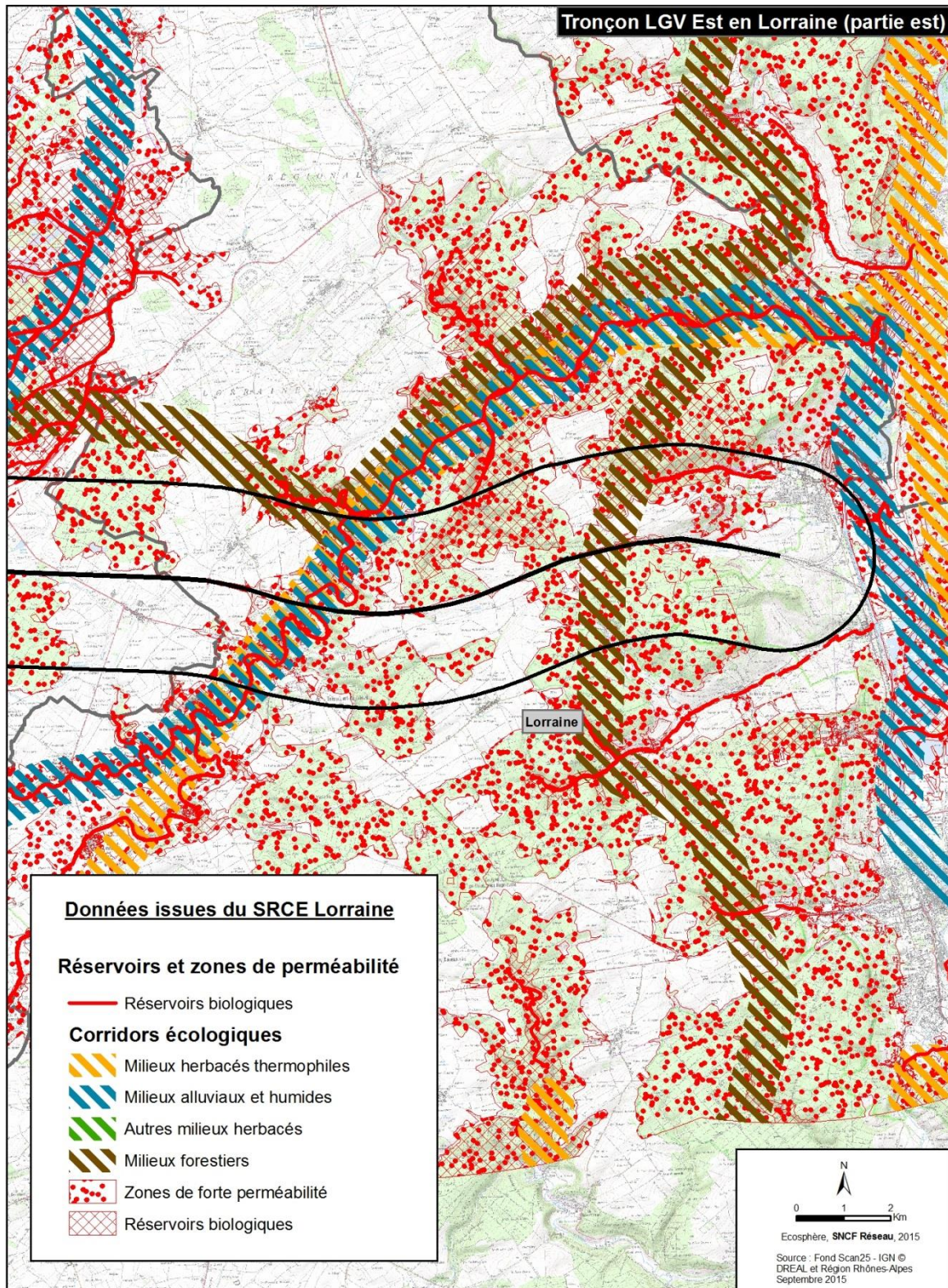


Figure 9 : Réservoirs, zones de perméabilité et corridors écologiques sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne – SRCE Lorraine

2.2.4. SRCE de Bourgogne et ligne nouvelle LGV Paris Lyon

Ce Schéma Régional de Cohérence Ecologique a été adopté le 6 mai 2015.

Plusieurs corridors ou continuums écologiques régionaux à préserver ou à remettre en bon état (cf. figures 10 à 12) sont intersectés par la ligne classique étudiée dont plusieurs corridors de la sous-trame boisée (Bois de Nisserdeau et Forêt de Thoisy la Berchère) et de la sous-trame Plans d'eau et zones humides. D'autre part, des réservoirs de biodiversité de la sous-trame Forêts et Prairies-Bocages sont présents de part et d'autre de cette ligne LGV.

L'orientation stratégique n°2 « Favoriser la transparence écologique des infrastructures de transport, des ouvrages hydrauliques et de production d'énergie » de ce SRCE a plusieurs objectifs :

- « Assurer la perméabilité, au niveau des corridors stratégiques, des infrastructures linéaires de transport nouvelles et existantes difficilement franchissables » (objectif 2.2) ;
- et « Développer une gestion écologique des bordures et des dépendances vertes des infrastructures de transport afin d'en conforter le caractère de corridor écologique pour certaines espèces » (objectif 2.3).

Les actions à envisager sont de plusieurs types :

- **La cartographie des continuités écologiques régionales :**
 - La connaissance et la collecte des zones de collision est une tâche prioritaire. Elle demande l'organisation d'une centralisation des données de collision, pour pouvoir ensuite définir les aménagements nécessaires pour favoriser le déplacement des espèces concernées ;
 - La définition d'un nouvel ouvrage de franchissement doit être étudiée en privilégiant notamment la multifonctionnalité des ouvrages de déplacement agricole ou forestier existants.
- **La gestion des abords des routes, voies ferrées et canaux (dépendances vertes) :**
 - Elles peuvent constituer des refuges pour certaines espèces de faune et de flore. Ils peuvent alors participer au remailage des réseaux écologiques, constituer des sections de corridors en permettant des flux biologiques le long des infrastructures linéaires ;
 - Ces dépendances vertes doivent être gérées de manière adaptée (fauche tardive, limitation des produits phytosanitaires...);
 - Le rôle potentiel de corridor écologique de ces dépendances doit être analysé au cas par cas, afin notamment de ne pas favoriser l'installation et la prolifération d'espèces invasives indésirables (Renouée du Japon, Ambrosie...).

Les études menées dans le cadre du programme «Trans-fer» vont améliorer la connaissance de ce tronçon de la ligne LGV Paris-Lyon et donc contribuer à évaluer la perméabilité écologique et la localisation des points de conflit avant d'initier des programmes actions du SRCE afin d'améliorer la transparence écologique des réseaux de transport.

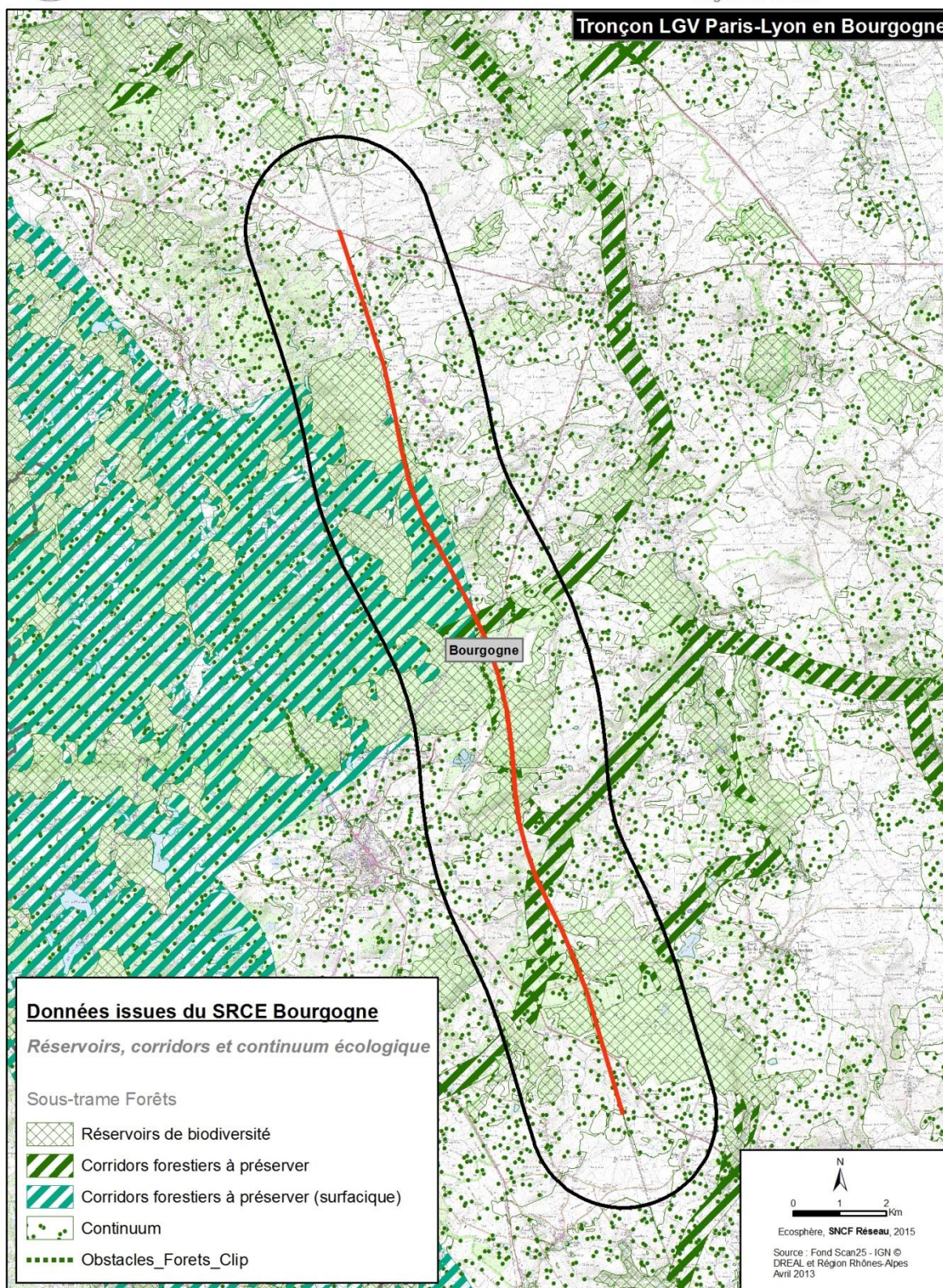


Figure 10 : Réservoirs, corridors et continuum écologique – sous trame Forêts sur la ligne nouvelle LGV Bourgogne – SRCE Bourgogne

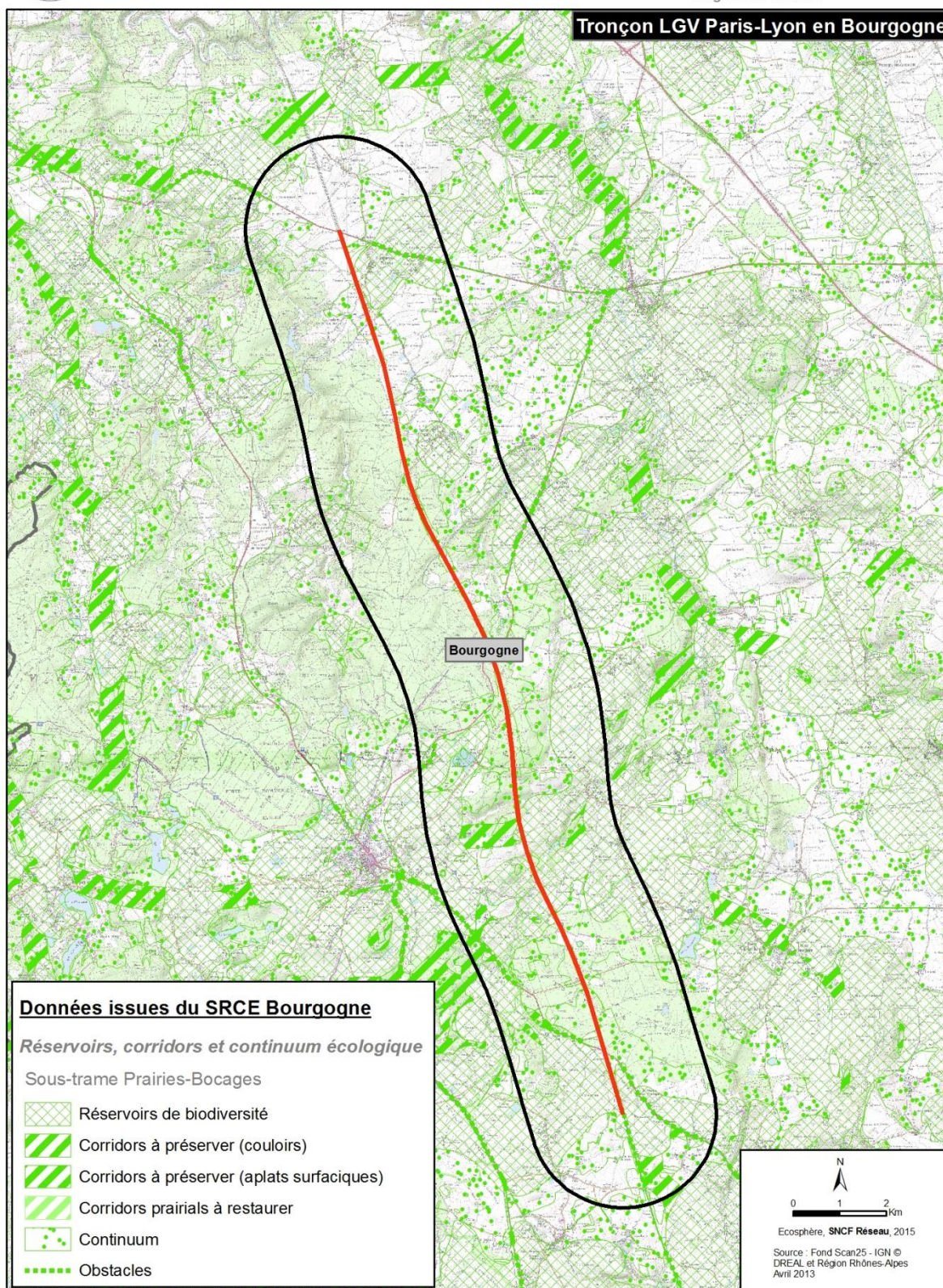


Figure 11 : Réservoirs, corridors et continuum écologique – sous trame Prairies-Bocages sur la ligne nouvelle LGV Bourgogne – SRCE Bourgogne

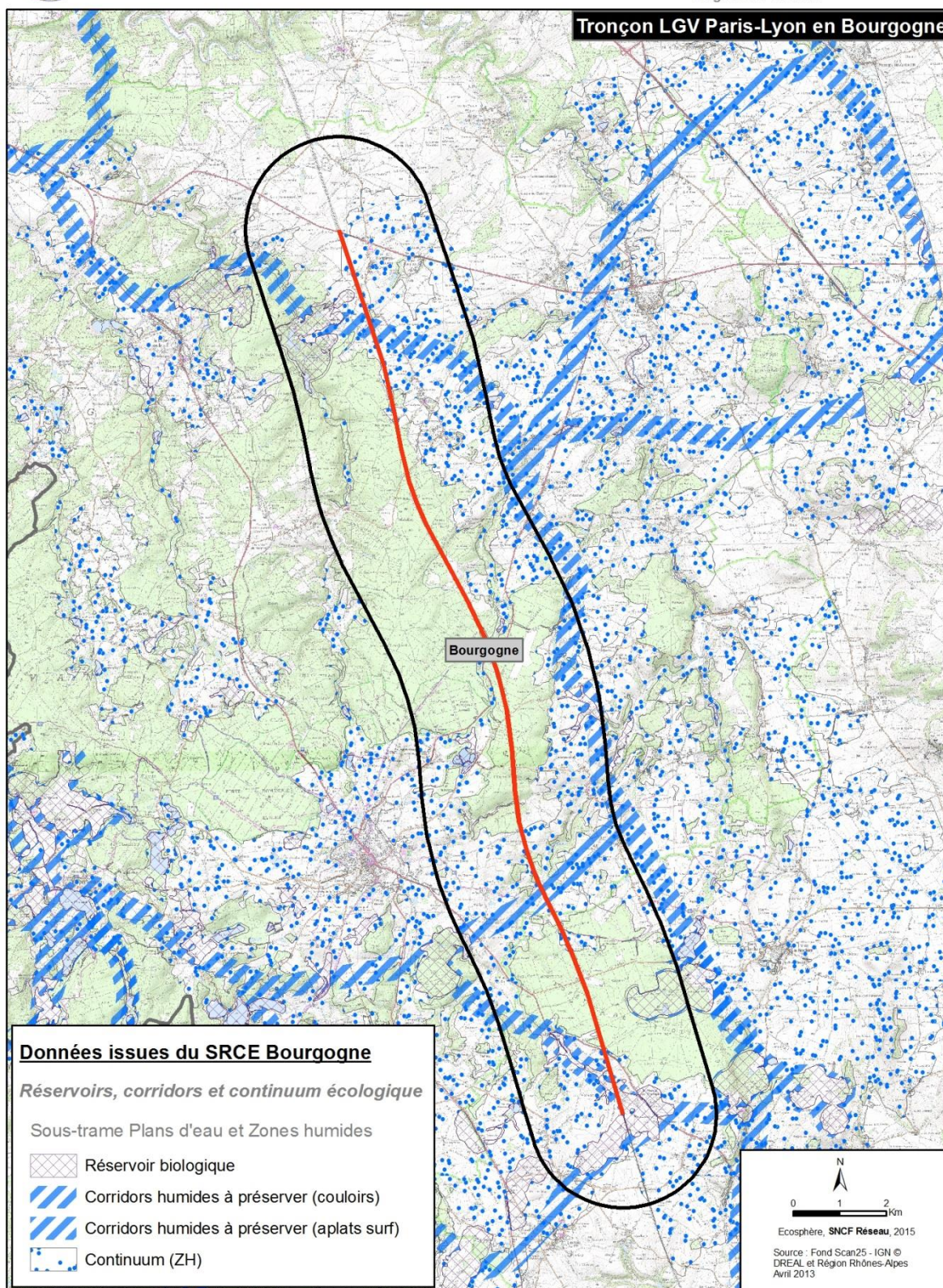


Figure 12 : Réservoirs, corridors et continuum écologique – sous trame Plans d'eau et Zones humides sur la ligne nouvelle LGV Bourgogne – SRCE Bourgogne

En synthèse

Le programme Transfer porte sur 4 tronçons ferroviaires d'environ 20 km chacun :

- **deux tronçons de lignes classiques (LC)** : l'un entre Besançon et Mouchard (Franche-Comté) et l'autre entre Saint-Amour et Bourg-en-Bresse (Rhône-Alpes). Ces lignes classiques ne sont pas clôturées et leurs emprises sont en moyenne de 15 mètres de largeur ;
- **deux tronçons de lignes à grande vitesse (LGV)** : LGV Paris-Lyon entre Avallon et Montceau les Mines (Bourgogne) et LGV Est Européenne entre Châlons-en-Champagne et Pont-à-Mousson (Lorraine). Les emprises clôturées varient entre 20 et 50 mètres de largeur et sont délimitées tout le long par un grillage d'une hauteur moyenne de 1,8 mètre. Concernant la LGV Est Européenne, il est à noter que la mise en place de passages à faune spécifiques a contribué à rétablir la transparence de l'infrastructure sur une partie de son tronçon.

Ces tronçons ferroviaires ont été sélectionnés de manière à présenter deux grands types de milieux : des milieux ouverts (prairies, cultures, etc.) et des milieux dits fermés (forêts de feuillus, de conifères, etc.).

Les tronçons ferroviaires étudiés sont localisés sur les territoires de 4 Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (Bourgogne, Franche-Comté, Lorraine et Rhône-Alpes). Le programme Transfer va contribuer à évaluer la perméabilité écologique et la localisation des points de conflits sur ces tronçons et ainsi répondre à certains objectifs des SRCE d'amélioration des connaissances. Les données obtenues pourront alimenter les programmes d'actions visant à améliorer la transparence des réseaux de transport et répondre aux objectifs de restauration des continuités écologiques.

3. MÉTHODOLOGIES



3. Méthodologies

3.1. Le protocole d'échantillonnage des suivis par technique génétique

La génétique du paysage est une méthode utilisée en recherche, dans le domaine de l'écologie du paysage, et permet d'évaluer les continuités écologiques.

Le développement de la biologie moléculaire, des outils statistiques et de la géographie ont notamment participé à son émergence (Manel *et al.*, 2003). Cet outil repose sur l'analyse spatialisée de la diversité génétique, étudiée au niveau de l'ADN des individus, molécule porteuse de l'information génétique.

Dans la nature, les individus d'une même espèce sont souvent répartis en plusieurs populations distinctes dans l'espace. Le plus souvent, ces populations échangent des individus par dispersion, et le flux de gènes ainsi généré par la reproduction des individus dispersants tend à homogénéiser les populations d'un point de vue génétique (brassage génétique) et à limiter leur diversification. Lorsque ces flux de gènes sont interrompus (par la distance ou par d'autres éléments conduisant à une discontinuité écologique), on assiste à une différenciation progressive de ces populations : elles deviennent génétiquement différentes les unes des autres. En réalisant un génotypage (le typage de l'ADN) des individus de ces populations, il est possible de calculer des distances génétiques et des indices de différenciation (par exemple le F_{st}) entre ces populations locales.

En écologie du paysage, l'outil génétique permet donc de mesurer de manière indirecte l'intensité des déplacements entre populations, et son couplage à l'écologie du paysage (dans la discipline de la génétique du paysage) permet d'évaluer l'influence de la structure du paysage sur le flux de gènes entre populations, permettant ainsi de déceler une éventuelle rupture de la fonctionnalité due à des éléments fragmentants (Cushman, 2006 ; Manel *et al.*, 2003 ; Jehle et Arntzen, 2002).

3.1.1. Méthodologie générale

Le laboratoire du CNRS de Moulis a proposé un protocole d'échantillonnage, exposé par la figure 13 ci-après.

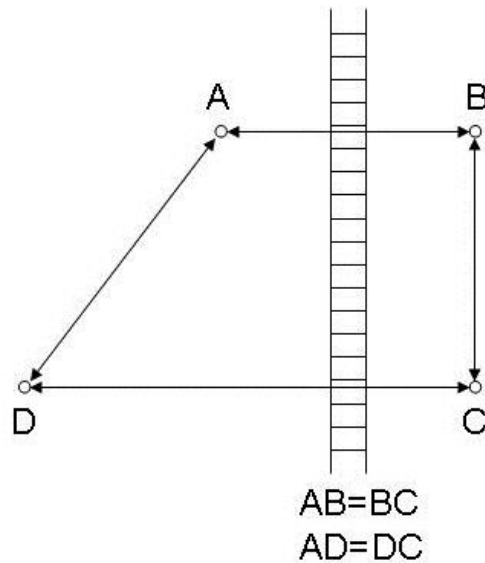


Figure 13 : Schéma théorique pour l'échantillonnage selon modèle mis au point par le CNRS de Moulis

Ce protocole consiste, pour chaque espèce sélectionnée, à :

- Identifier des sites favorables aux espèces choisies, et abritant des populations de ces espèces, répartis de part et d'autre de la voie ferrée, à des distances choisies. Le dispositif compte quatre à six populations, choisies de manière à offrir au moins deux paires de populations séparées par des distances contrastées (figure 13 : distances longues : paires AD et CD ; distances courtes : paires AB et BC) ; et pour chaque modalité de distance, qu'au moins une paire de populations soit séparée par la voie ferrée (AB et CD dans la figure 6) et une autre ne le soit pas (AD et BC dans la figure 13) ;
- prélever pour chacun de ces sites 30 individus.

Les principes de ce protocole nécessitent de :

- trouver des sites favorables répartis selon les égalités de distances mentionnées sur le modèle ;
- respecter les distances capables d'être parcourues par les espèces afin de pouvoir déceler un éventuel effet de fragmentation lié à la présence de la voie ferrée, et non à la seule distance ;
- minimiser la présence d'éléments « parasites » qui pourraient jouer le rôle de fragmentation entre sites d'un même côté et entre sites de part et d'autres de la voie. Ces éléments (routes, villes, agriculture intensive...) risqueraient de rendre ensuite impossible toute conclusion quant à l'effet éventuel de la voie ferrée sur la structuration génétique.

Pour toutes les espèces, l'échantillonnage a inclus :

- 1 - Le relevé d'un point GPS, au minimum pour chaque station de prélèvement et dans la mesure du possible pour chaque échantillon ;
- 2 - La conservation des échantillons dans une solution à base d'éthanol confectionnée par le laboratoire CNRS de Moulis (Alcool + TE1x), ou, à défaut, dans de l'alcool à brûler acheté

dans le commerce¹. Le rapport tissu prélevé/solution doit être idéalement de 1/10 au minimum. Dans le cas contraire, l'eau contenue dans les tissus de l'individu prélevé est susceptible de diluer le taux d'éthanol et donc de limiter son action de conservation sur l'ADN ;

- 3 - Le stockage des échantillons avec cette solution dans des Eppendorfs de 1,5 ml ou 2,0 ml. Un code couleur d'Eppendorf a été convenu pour les quatre zones d'études afin de prévenir de toute confusion entre échantillons de zones d'étude différentes, information impossible à retrouver ensuite (cf. Tableau 1) ;

Zone d'étude	Couleur d'Eppendorf
Bourgogne	
Lorraine	
Franche-Comté	
Rhône-Alpes	

Tableau 1 : Code couleur des Eppendorfs en fonction des zones d'études

- 4 - Chaque échantillon a fait l'objet d'un étiquetage selon une formule prédéfinie pour les quatre zones d'études (cf. Tableau 2) ;

AAX-YBB ZZ/ZZ/ZZZZ

Avec :

AA = Initiales permettant d'identifier la zone d'étude, soit :

- A pour Ain (Rhône-Alpes)
- BO pour Bourgogne
- FC pour Franche-Comté
- LO pour Lorraine

X = Numéro du site

Y = Numéro de l'échantillon

BB = Initiales permettant d'identifier l'espèce, soit :

- SS pour Salamandra salamandra
- AP pour Abax parallelepipedus
- CN pour Carabus nemoralis
- MJ pour Maniola jurtina

ZZ/ZZ/ZZZZ Date du prélèvement selon le format Jour/Mois/Année

Tableau 2 : Nomenclature pour l'étiquetage des Eppendorfs

¹ Il est à noter que cette seconde technique n'est pas à préconiser, car elle ne préserve pas l'intégrité de l'ADN.

La formule a été marquée au crayon de papier ou au feutre indélébile sur des étiquettes autocollantes² blanches, apposées sur chaque Eppendorf.

- 5 - Dans la mesure du possible, toute information a été doublée pour se prémunir de toute perte. Des fiches de terrain ont été préparées à l'avance afin de noter les informations relatives à chaque échantillon.

3.1.2. Choix des espèces échantillonnées

3.1.2.1. Critères et processus de sélection

Le fait de viser l'outil génétique a impliqué certains critères pour la sélection de ces espèces. Celles-ci devaient :

- être plutôt spécifiques des milieux ouverts ou des milieux fermés ;
- être sensibles à la fragmentation de ces milieux ;
- disposer de séquences microsatellites connues pour les analyses génétiques afin de ne pas rajouter de coût lié au développement de ces marqueurs ;
- avoir un cycle de reproduction rapide afin de maximiser les chances de détecter, s'il existe, un impact des lignes ferroviaires sur le patrimoine génétique des individus ;
- être relativement faciles à échantillonner, ce qui inclut à la fois d'être communes (présentes sur les quatre zones d'études), relativement abondantes sur le terrain (effectifs nombreux lorsque l'espèce est présente) et facile à identifier directement ou sous loupe binoculaire. Le critère d'abondance vise une optimisation du temps et des coûts d'échantillonnage ainsi qu'une minimisation des impacts dus à ces prélèvements sur les populations ;
- faire l'objet d'une connaissance scientifique bibliographique plutôt riche sur la biologie et l'écologie afin d'établir un protocole d'échantillonnage cohérent et de pouvoir interpréter les résultats ensuite ;
- ne pas faire courir aux personnels de risque en termes d'hygiène et de sécurité lors des manipulations ;
- permettre des prélèvements non létaux dans la mesure du possible pour des raisons d'éthiques.

La démarche de sélection des espèces s'est faite selon un processus d'élimination d'espèces ne remplissant pas ces critères. Les possibilités se sont avérées finalement assez limitées. Peu d'espèces maximisent l'ensemble des critères et des compromis ont dû être effectués.

A titre d'exemple :

- le Campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780)), initialement intégré parmi les espèces choisies, a dû être abandonné pour des raisons sanitaires (fièvre hémorragique transmissibles aux humains) ;

² Il est à noter qu'il est plus conservateur d'insérer ces étiquettes, remplies au crayon ordinaire ou imprimée par une imprimante laser, directement à l'intérieur du tube, pour prévenir toute perte d'étiquette en cas d'écoulement d'alcool.

- le choix d'une araignée a dû être délaissé par manque de connaissances génétiques et bibliographiques.

A l'échelle de l'ensemble de la sélection, l'objectif était également de disposer d'un panel d'espèces :

- de milieux différents (ouverts et fermés) ;
- aux modes de déplacements différents ;
- aux traits de vie différents (distances de dispersion par exemple).

Au regard des critères évoqués ci-dessus, le tableau 3 présente l'attribution d'une évaluation, à partir de la bibliographie existante, de l'intérêt des quatre espèces retenues pour le projet.

Critères	Notes	Salamandre tachetée <i>Salamandra salamandra</i>	Myrtil <i>Maniola jurtinia</i>	Féronie noire <i>Abax parallelepipedus</i>	Carabe des bois <i>Carabus nemoralis</i>
Milieu de vie		Forêt/Aquatique	Ouverts	Forêt	Forêt
Spécificité à l'habitat	1 Faible 2 Moyenne 3 Forte	3	3	2	3
Caractère commun	1 Peu commun 2 Commun 3 Très commun	2	2	3	3
Caractère abondant	1 Peu abondant 2 Abondant 3 Très abondant	3	2	3	1
Facilité d'identification	1 Impossible manuellement 2 Possible 3 Immédiate	3	3	2 (Identification sous binoculaire)	3
Facilité de prélèvement	1 Difficile 2 Facile 3 Très facile	3	3	2 (Piégeage nécessaire)	2 (Piégeage nécessaire)
État des connaissances bibliographiques	1 Faible voire inexistant 2 Bon 3 Très bon	3	2	2	2
Disponibilité immédiate de marqueurs génétiques	/	OUI	OUI	OUI	OUI
Cycle de vie	/	Deux reproductions par an (printemps et automne)	Annuel univoltine	Longévité jusqu'à 4 ans mais plusieurs pontes possibles par an	Longévité moins d'un an
Éventuelles contraintes logistiques (sanitaire, sécurité ou administratif)	/	Espèce protégée (demande de dérogation nécessaire)	/	/	/

Tableau 3 : Critères de sélection et score pour les espèces retenues

Quatre espèces ont été finalement choisies

Groupe taxonomique	Espèce
Amphibiens	<i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758) - Salamandre tachetée
Lépidoptères	<i>Maniola jurtina</i> (Linnaeus, 1758) - Myrtil
Coléoptères	<i>Abax parallelepipedus</i> (Piller & Mitterpacher, 1783) - Féronie noire <i>Carabus nemoralis</i> O.F. Müller, 1764 - Carabe forestier

Tableau 4 : Taxons retenus pour le protocole initial du programme «Trans-fer»

3.1.2.2. Présentation des espèces retenues

Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*)

Milieu de vie et spécificité à l'habitat

La salamandre terrestre est un amphibien urodèle. Comme les autres amphibiens, elle a besoin d'un habitat aquatique pour la reproduction et le développement larvaire et d'un habitat terrestre le reste du temps. C'est un organisme nocturne qui recherche des températures fraîches (8 à 14 °C) et une hydrométrie assez forte (Denoël 1996 ; Duguet & Melki 2003 ; Bellenoue *et al.* 2006). Les adultes se retrouvent en milieu forestier sous les feuilles, bois morts, et parfois dans les terriers de rongeurs et se nourrissent surtout d'invertébrés (chenilles, coléoptères, cloportes, limaçons, lombrics...), tandis que les rivières, mares ou flaques d'eau peu profondes et avec une grande hétérogénéité sont des milieux favorables pour le développement des larves (Duguet & Melki 2003 ; Manenti *et al.* 2009 ; Ribéron & Miaud 2013). Les caractéristiques de ces zones humides sont en effet très importantes pour le développement des larves du fait de l'absence de poissons et de la présence d'invertébrés aquatiques pour leur nutrition (Duguet & Melki 2003 ; Manenti *et al.* 2009).

Répartition (abondance)

La Salamandre tachetée occupe la majorité de l'Europe et est assez commune en France (Liste rouge nationale : préoccupation mineure) (UICN France *et al.* 2009 ; Muséum national d'Histoire naturelle 2003-2013 ; Ribéron & Miaud 2013).

C'est une espèce localement plutôt abondante même si certains secteurs peuvent faire exception. Une seule femelle peut déposer dans le milieu aquatique entre 8 et 55 larves (Duguet & Melki 2003 ; Bellenoue *et al.* 2006).

Connaissances génétiques

D'un point de vue génétique, la Salamandre tachetée dispose de séquences microsatellites connues, cette espèce ayant déjà fait l'objet d'études génétiques (Steinfartz *et al.*, 2004 ; Picard *et al.*, 2012).

Cycle de vie

Les caractéristiques intrinsèques de la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*) (larves nombreuses à chaque reproduction, plusieurs reproductions par an...) (Duguet & Melki 2003) permettent donc d'accélérer le délai à partir duquel l'impact d'une fragmentation commence à pouvoir se lire sur le plan génétique.

Sensibilité à la fragmentation

Le groupe des amphibiens est l'un des groupes le plus menacé d'extinction dans le monde notamment à cause de la fragmentation de leurs habitats (Baillie *et al.*, 2004 ; Stuart *et al.*, 2004 ; Glista *et al.*, 2007). La réduction des continuités écologiques entre leurs habitats larvaires et adultes les rend particulièrement vulnérables à la fragmentation (Rothermel 2004 ; Cushman, 2006). Une étude génétique a également concerné cette espèce, en Île-de-France, ayant pour objectif d'étudier la fragmentation d'un ensemble d'infrastructures linéaires de transport (Picard *et al.*, 2012).



Photographie 14 : Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*) - G. Conryut-Rogeon, 2013

Myrtil (*Maniola jurtina*)

Milieu de vie et spécificité à l'habitat

Le Myrtil est un papillon commun, qui fréquente des habitats très variés mais principalement en milieux ouverts (prairies, bords de chemins, lisières forestières, friches, bords de route, haies, jardins) et pénètre un peu dans les forêts lors de fortes chaleurs (Lafranchis, 2000 ; Manil *et al.*, 2008 ; Delattre, 2010). Les femelles recherchent les prairies fraîchement fauchées pour pondre sur diverses graminées (Lafranchis, 2000).



Photographie 15 : Myrtil (*Maniola jurtina*) - R. Sordello, 2013

Répartition (abondance)

Le Myrtil est présent dans toute la France et donc sur nos quatre zones d'étude. C'est un papillon localement abondant (on peut dénombrer plusieurs dizaines d'individus dans une seule prairie). La période de vol est très longue, ce qui permet un échantillonnage aisé.

Connaissance génétique

Le Myrtil a déjà fait l'objet de plusieurs études génétiques et il existe donc les marqueurs nécessaires.

Cycle de vie

C'est une espèce univoltine et annuelle (temps de génération : 1 an), qui possède donc un cycle de vie rapide. Les papillons volent de fin mai à octobre suivant les années et les conditions climatiques (Higgins *et al.*, 1991 ; Delattre, 2010). Il est actif aux alentours de 16 à 18°C et la probabilité de dispersion des individus augmente de 20 à 40 % avec l'amélioration des conditions climatiques, les trajectoires étant plus longues et moins sinueuses (Delattre, 2010).

Sensibilité à la fragmentation

De nombreuses études ont été menées pour évaluer les effets de changements de la structure du paysage sur le déplacement des papillons, mais la plupart se concentrent sur les éléments naturels, et nous avons peu d'informations sur les effets occasionnés par les structures linéaires telles que les routes et les voies ferrées. D'après une récente étude, les chemins de fer ne constitueraient pas d'obstacle aux déplacements de l'Amaryllis (*Pyronia tithonus*) – espèce écologiquement proche du Myrtil - en milieu urbain ou dans certains milieux fortement dominés par l'agriculture, les accotements herbeux des voies constitueraient même un habitat de substitution (Vandevelde *et al.*, 2012). Cependant ces premiers résultats s'imposent pour une espèce dans des milieux fortement fragmentés, il est peu prudent de les généraliser à l'ensemble des lépidoptères.

Féronie noire (*Abax parallelepipedus*)

Milieu de vie et spécificité à l'habitat

La Féronie noire *Abax parallelepipedus* est une espèce de carabe (coléoptère). Tous les habitats du milieu forestier sont occupés, parmi lesquels les petites clairières, les peuplements âgés ou gérés selon des sylvicultures irrégulières sont ceux où son activité est la plus forte. Son optimum se trouve dans les forêts feuillues (Loubère, 2010).

Répartition (abondance)

Dans le Nord-Est de la France, comme dans le reste de l'Europe, c'est l'espèce dominante de carabe forestier. En plus d'être commun, c'est un carabe très abondant. On dénombre entre 0,37 ind./100m² dans les hêtraies belges à 600 individus/100m² dans celles d'Angleterre (Loubère, 2010). Entre 632 et 1707 individus par hectare ont été estimés avec une méthode de marquage-recapture dans une forêt mixte près de Berne, en Suisse (Keller *et al.*, 2004).

Connaissance génétique

La Féronie noire est un modèle récurrent en écologie du paysage. Il existe des marqueurs génétiques pour cette espèce.

Cycle de vie

En conditions semi-naturelles la durée de vie moyenne est de 840 jours et peut aller jusqu'à 4 ans (Loubère, 2010). Une même femelle peut pondre deux fois dans la même saison à quelques semaines d'intervalle, produisant 15 oeufs en moyenne, en hêtraie, jusqu'à 570 en conditions expérimentales (Loubère, 2010).

Sensibilité à la fragmentation

Cette espèce fonctionne généralement en métapopulations dans les milieux fragmentés. Plusieurs études basées sur des techniques de capture-marquage-recapture ont utilisé cette espèce dans le domaine de l'écologie du paysage comme modèle pour étudier la capacité d'invertébrés carabidés à se déplacer dans le paysage selon différents patrons écopaysagers et selon les processus de modifications en cours dans ces paysages. C'est une des espèces qui a permis de démontrer l'importance de la fragmentation écologique du paysage par les routes ou l'agriculture (Keller, 2004). La diversité génétique des populations d'*A. parallelepipedus* ne diminue pas dans les îlots boisés. La fragmentation de l'habitat forestier a quand même un impact négatif, car la réduction des flux géniques entraîne une différenciation génétique entre les populations isolées. Mais la réponse à la fragmentation de l'habitat est non linéaire : elle est faible lorsque la couverture forestière représente au moins 33% de la surface. La valeur de ce seuil dépend de la présence de corridors pour relier les milieux favorables et de leur nature (Loubère, 2010). En milieu agricole, la présence d'un réseau de haies entre des parcelles boisées est essentielle à la survie des populations locales d'*A. parallelepipedus* (Petit & Burel, 1998). La qualité des haies est cependant également déterminante pour garantir l'utilisation de celles-ci comme corridor écologique (Charrier *et al.*, 1997). Les distances de déplacement parcourues en 24 h sont plus importantes dans les milieux boisés que dans le milieu ouvert et lorsque les éléments linéaires du paysage décroissent (haies) (Charrier *et al.*, 1997). Concernant les routes, une étude de Keller *et al.* (2004) suggère que la fragmentation des habitats due aux routes pourrait mener à l'isolement important des populations d'*A. parallelepipedus* dans des patchs de forêts. En effet une augmentation significative et importante du FST est observée lorsque le nombre de routes augmente (Keller *et al.*, 2004).

Sensible à la fragmentation par les routes (Keller *et al.*, 2004), la Féronie noire est également sensible à la fragmentation par les milieux ouverts ; en milieu agricole, le maintien des réseaux de haies est nécessaire à sa survie (Petit & Burel, 1998 ; Charrier *et al.*, 1997).

Autres informations

En forêt, *A. parallelepipedus* prospecte le milieu selon un modèle de marche aléatoire (Loubère, 2010). La superficie prospectée par un individu varie en fonction de l'habitat. En moyenne 1 m/jour et environ 1,80-2 m par jour et pour les mâles les plus actifs (Charrier *et al.*, 1997 ; Keller *et al.*, 2004). Le maximum observé est 6,6 m par nuit (Keller *et al.*, 2004). La distance moyenne parcourue diffère d'un milieu à l'autre mais pas les distances maximales (Charrier *et al.*, 1997). La distance de déplacement moyenne dépend de la qualité de l'habitat boisé (Petit & Burel, 1998). L'expérience montre que l'animal se dirige spontanément vers le point le plus sombre de son champ de vision. Ainsi l'on constate un accroissement de l'activité de cette espèce, avec la fermeture du couvert. *A. parallelepipedus* est préférentiellement actif dans les sols à humus à décomposition rapide (mulls).

La tolérance d'*A. parallelepipedus* à une large gamme de conditions édaphiques et sa tendance à s'aventurer en dehors de la litière en font l'une des espèces de Carabidae possédant le meilleur pouvoir de dispersion. Un individu a été trouvé à 15 km de toute zone forestière. De nombreuses observations sont ainsi reportées des milieux agricoles. Toutefois, *A. parallelepipedus* réagit négativement au pâturage (Loubère, 2010).



Photographie 16 : Féronie noire (*Abax parallelepipedus*) - R. Sordello, 2013



Photographie 17 : Carabe des bois (*Carabus nemoralis*) - R. Sordello, 2013

Carabe des bois (*Carabus nemoralis*)

Milieu de vie et spécificité à l'habitat

Carabus nemoralis est une espèce de carabe ubiquiste et parmi les plus fréquentes dans les jardins, les haies et les buissons mais aussi dans les pâtures (extensives), les cultures (avec présence de haies et de bois) et en forêt. Les milieux humides seraient évités par ce carabe (Loubère, 2010).

Dans les forêts, à la suite d'une expérience portant sur les hêtraies, chênaies et frênaies, *C. nemoralis* se classe parmi les espèces n'ayant aucune affinité particulière vis-à-vis des essences feuillues dominantes. On le trouve également dans des forêts de conifères. Malgré la réputation ubiquiste de cette espèce, il apparaît que son activité varie en fonction de la localisation dans le peuplement forestier. En hêtraie-chênaie, l'activité semble un peu plus importante dans la lisière. Également, bien que *C. nemoralis* soit présent à tous les stades de la rotation sylvicole, l'abondance est maximum dans les stades tardifs (jeune futaie plutôt que fourrés ou perchis). Le Carabe des bois est favorisé par les sols à humus à décomposition rapide (mulls) à acidité moyenne.

Répartition (abondance)

Carabus nemoralis est une espèce très répandue en milieu ouvert comme en milieu fermé. Par contre, tandis que les autres Carabidae préfèrent les habitats relativement stables, *C. nemoralis* semble plus abondant dans les habitats perturbés.

Connaissance génétique

Carabus nemoralis est lui aussi un carabe fréquemment utilisé comme modèle en écologie du paysage et des études via la génétique ont déjà eu lieu. Les marqueurs sont disponibles pour cette espèce.

Cycle de vie

La durée de vie de l'adulte est comprise entre 240 et 350 jours.

Sensibilité à la fragmentation

Pour cette espèce, les activités humaines jouent dans les deux sens, à la fois positivement et négativement. Les conséquences positives sont en réalité dues au fait que *C. nemoralis* est plus résistant que les autres espèces. Ainsi, dans les situations où la faune des Carabidae est appauvrie, *C. nemoralis* tend à devenir l'espèce dominante (Loubère, 2010).

En forêt, *C. nemoralis* fait partie des rares espèces de Carabidae qui résistent à la fréquentation touristique. Dans les zones les plus fréquentées, cette espèce peut devenir l'espèce de Carabidae dominante, voire la seule (Loubère, 2010). *C. nemoralis* montre une réaction négative à la coupe à blanc. Mais ce n'est pas problématique pour cette espèce abondante, capable de trouver refuge dans une grande variété de milieux. La gestion sylvicole n'est pas la seule pratique ayant un impact sur les faunes de coléoptères. Les pratiques liées à la chasse, telles que l'agrainage pour les sangliers (*Sus scrofa L.*), ont des effets très négatifs sur les faunes de Coléoptères : réduction du nombre d'espèces de prédateurs et de phytophages, augmentation du nombre d'espèces de nécrophages et coprophages. Là encore, *C. nemoralis* est une des espèces qui résistent le mieux et peut devenir

l'espèce dominante (Loubère, 2010). En milieu agricole, *C. nemoralis* a également bien résisté à l'agriculture intensive et à la destruction des milieux naturels. Ainsi, dans certaines régions, on observe une augmentation de l'importance de cette espèce, comme en Flandres (Loubère, 2010).

En même temps, *C. nemoralis* peut être affecté par les traitements appliqués aux cultures. Ayant tendance à consommer des proies mortes, cet animal, se nourrit des animaux tués par les pulvérisations d'insecticides et meurt intoxiqué par ingestion. Une division par 4 de la quantité d'insecticides appliquée aux cultures conduit à une augmentation significative du nombre de captures au piège barber. Cette espèce peut également être affectée négativement par les rejets industriels : la densité diminue lorsqu'on se rapproche des sources de pollution.

Une corrélation positive a été trouvée entre la différenciation génétique et la distance à travers des zones ouvertes pour *C. nemoralis*. Ce résultat suggère que les zones non boisées sont de partielles barrières au flux génique pour cette espèce (Brouat *et al.*, 2003). Cependant pour *C. nemoralis*, aucune relation n'a été trouvée entre la différenciation génétique et la distance au sein des forêts (Brouat *et al.*, 2003). Par contre, dans une autre étude, des populations de *C. nemoralis* dans la même région boisée et éloignées de seulement 1 km sont génétiquement distinctes (Brouat *et al.*, 2003). L'activité dans les milieux agricoles semble dépendre de la présence de haies. L'enlèvement de celles-ci pourrait ainsi être dommageable (Loubère, 2010).

La distance de dispersion moyenne pour *C. nemoralis* est de 50 m par nuit et par individus en terrain arable (Kennedy 1994 *in* Brouat *et al.*, 2003) et 2,6 m en milieu urbain (Deichsel, 2007).

3.1.2.3. Protocole de prélèvement

Les parties suivantes exposent les particularités du protocole d'échantillonnage pour les différentes espèces.

Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*)

La Salamandre tachetée étant strictement protégée sur le territoire français (Source : Arrêté du 19 novembre 2007), ses captures, manipulations et prélèvements ont nécessité l'accord du Préfet des différentes régions, après avis favorable du Conseil National de Protection de la Nature (CNPN), autorisant une dérogation au statut de protection. La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Franche Comté a effectué le travail de coordination entre les 4 régions visées par la demande de dérogation.

Les prospections ont été effectuées en étant équipé de bottes, d'un seau et d'une époussette à fines mailles en plus de tout le matériel nécessaire à l'échantillonnage commun à toutes les espèces (GPS...). La nuit, un éclairage artificiel est indispensable pour se repérer et distinguer les individus (frontale + torche).

Larves

Les larves de Salamandre tachetée sont distinguables à (Miaud & Muratet, 2004) :

- la présence systématique de quatre pattes. Chez cette espèce ovovivipare, le développement des œufs, l'éclosion et le début du développement des larves ont lieu dans les oviductes maternels. Au moment de la mise bas, les larves déposées dans l'eau, où elles continueront leur développement jusqu'à la métamorphose, possèdent déjà quatre pattes ;
- leur coloration brunâtre comportant une tâche claire à la base de chaque patte ;
- lorsque la larve est déjà à un stade avancé, les tâches jaunes caractéristiques de l'espèce apparaissent sur le reste du corps.

Sur nos zones d'études, ces critères permettent de distinguer sans équivoque *Salamandra salamandra* d'autres larves d'urodèles. Les larves de tritons, vivipares, possèdent deux pattes au moment de la mise bas avant d'acquies ensuite 4 pattes avec la formation des pattes postérieures et ne possèdent pas de tâche claire à la base des membres. Aucune autre espèce à larve similaire n'est présente sur nos zones d'études.

Technique de prélèvement

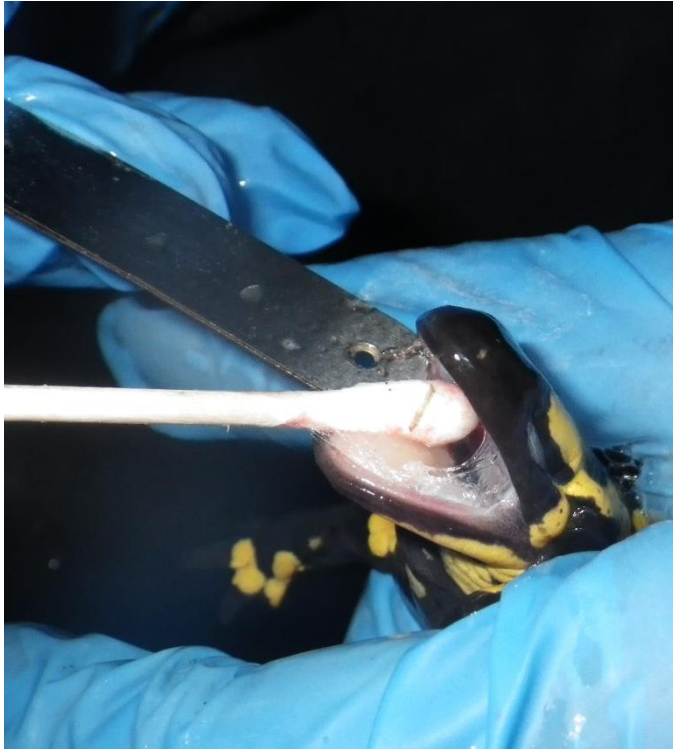
Au regard des conditions de développement des larves, les prospections ont ciblé aléatoirement les mares, ornières, cours d'eau à faible courant.

Les distances entre deux prélèvements ont été espacées dans la mesure du possible afin de minimiser le risque de prélèvement de pleins-frères étant donné le dépôt localisé des larves par les femelles (Duguet & Melki 2003). Cependant, dans les cours d'eau, les larves se laissent dériver si la présence de congénères est trop grande, si le manque de nourriture se fait ressentir, ou tout simplement si le courant est trop fort par rapport à leur taille (Thiesmeier & Schuhmacher 1990). Il est donc également possible de trouver plusieurs larves de pontes différentes dans une même localité.

Les larves de Salamandres tachetées ont été récoltées à l'aide d'une époussette à mailles fines. La technique consiste à puiser à proximité des différents habitats pouvant servir de cache aux larves de salamandre (par exemple dans les plantes aquatiques, le long des berges, etc.). La nuit les larves peuvent être très visibles à la surface des points d'eau.

Une fois capturée, la larve est placée dans un seau avec un fond d'eau. Le matériel nécessaire au prélèvement est préparé. Puis, 1 à 3 mm de l'extrémité de la queue est prélevée à l'aide d'un cutter ou d'une paire de ciseaux alors que la larve est maintenue délicatement posée sur un morceau de bois ou dans la main mouillée. Le fragment de queue est ensuite placé dans un Eppendorf rempli d'alcool et étiqueté. L'individu capturé est ensuite relâché à l'endroit de la capture, dans son habitat d'origine.

Cette technique n'est pas létale et est considérée comme peu invasive car elle n'implique pas de handicap définitif à l'individu compte tenu de la capacité de régénération des tissus à ce stade de développement (Marvin 2011). Plusieurs précautions ont été prises pour diminuer au maximum tout stress aux individus prélevés et éviter les contaminations (cf. chapitre 4.1.1.4).



Photographie 18 : Prélèvement sur un adulte de Salamandre tachetée : Étape 3 - Réalisation du frottis - A. Tanguy, 2013



Photographie 19 : Prélèvement sur un adulte de Salamandre tachetée : Étape 4 - Stockage du coton tige imbibé de salive dans un eppendorf rempli d'alcool - R. Sordello, 2013

Adultes

Parmi les amphibiens urodèles, la Salamandre tachetée se reconnaît très facilement à l'âge adulte par sa coloration noire marbrée de jaune. Aucune autre espèce similaire (ex : *Salamandra corsica*) n'est présente sur les zones d'études concernées.

Technique de prélèvement

Les adultes ont été capturés à la main et ont été exposés à des frottis buccaux au moyen de cotons tiges. Le bout de coton tige imbibé de salive est ensuite placé dans un Eppendorf rempli d'alcool.

Myrtil (*Maniola jurtina*)

Identification des individus

Le Myrtil possède une envergure de 40 à 48 mm et présente un dimorphisme sexuel : le dessus du mâle est uniformément brun sombre avec un ocelle noir centré de blanc, parfois auréolé de fauve, alors que la femelle présente une plage fauve plus ou moins étendue autour de cet ocelle, lui-même étant aussi plus gros que celui du mâle. Cette coloration fauve s'étend largement sur l'aile antérieure (Lafranchis, 2000 ; Higgins *et al.*, 1991).

Compte tenu de ces critères faciles, les individus sont déterminés sur le terrain en mobilisant si cela s'avère nécessaire une clef d'identification (Guide Lafranchis, 2000). Les individus appartenant à une autre espèce ont été relâchés immédiatement.

Technique pour le prélèvement de tissus

La capture des Myrtil a été effectuée à l'aide d'un filet à papillon munis d'un manche en aluminium réglable 65/140 cm et d'une poche de 40 cm de diamètre.

Une fois un individu capturé, une patte est prélevée et placée dans un Eppendorf rempli d'alcool de manière à conserver l'échantillon. Un code de marquage a été convenu entre les échantillonneurs de manière à éviter le prélèvement deux fois de suite d'un même Myrtil : le prélèvement visait systématiquement la patte arrière droite et tout papillon capturé ayant déjà perdu cette patte a été relâché sans prélèvement. Après prélèvement, les individus sont relâchés directement et sur place.



Photographie 20 : Échantillonnage du Myrtil : patte arrière droite de l'individu est coupée à l'aide d'une paire de ciseaux - R. Sordello, 2013



Photographie 21 : Échantillonnage du Myrtil : patte coupée recueillie dans un récipient avant «Trans-fer» dans l'eppendorf - R. Sordello, 2013

Coléoptères

Identification des espèces recherchées

Féronie noire (*Abax parallepipedus*)

De la classe des Insectes, de l'Ordre des Coléoptères et de la Famille des *Carabidae*, les *Abax* se reconnaissent par « l'interstrie » externe qui est modifiée en carène depuis l'épaule et est visible au moins sur la moitié de la longueur. Les *Abax* ont également la base du pronotum non rétrécie et dans la moitié basale, les côtés sont parallèles.

La seule espèce continentale avec laquelle le genre *Abax* peut être confondu est *Percus villai*, endémique des Alpes-Maritimes et donc non interférente avec notre étude.

Dans le genre *Abax*, 6 espèces sont présentes en France : en plus d'*Abax parallepipedus*, *A. ater*, *A. parallelus*, *A. ovalis* qui peuvent se trouver sur nos zones d'études ; *A. carinatus* qui est cantonné dans l'est et *A. pyrenaeus* qui est endémique pyrénéen.

Abax parallepipedus se distingue des autres espèces du genre par la présence d'une rangée de trics pointus de chaque côté du dernier article portant les griffes. L'identification nécessite donc une analyse à la loupe binoculaire pour être considérée comme certaine.

Carabe des bois (*Carabus nemoralis*)

De la classe des Insectes, de l'Ordre des Coléoptères et de la Famille des *Carabidae*, le Carabe des bois *Carabus nemoralis* est oblong, convexe et mesure entre 18 et 28 mm. De couleur noire, les côtés du pronotum sont violets ou bronzés et présentent de fines élytres oblongs bronzés, verdâtres, bleuâtres ou pourprés (Du Chatenet, 1986). Chez cette espèce, le pronotum transverse est

légèrement rétréci vers l'arrière avec le plus souvent 3 soies latérales, les bords latéraux arrondis en avant du milieu et les lobes postérieurs triangulaires saillants (Chatenet, 2005). Les élytres oblongs ont une sculpture fine. Tous les intervalles sont résolus en petites granulations à peine saillantes ; les primaires étroits, indiqués par des rangées de fovéoles ne constituant pas de chainons réguliers, les secondaires fins les tertiaires dédoublées et plus ou moins confluentes généralement peu nets et résolus en granulations, sillons abdominaux à peine indiqués (Chatenet, 2005).

Recours au piégeage

Les Coléoptères ont été échantillonnés à l'aide de piégeage par pièges à fosse (pitfall trap). Quelques individus trouvés inopinément sur des chemins forestiers ont complété les échantillons.

Le principe des pièges Barber, ou piège à fosse, est simple, efficace et peu coûteux (Yamada *et al.*, 2010 ; Noordijk *et al.*, 2006 ; Gotelli *et Colwell*, 2001 ; Waage, 1985). Les pièges sont formés par des fonds de bouteilles plastiques coupées sur 11 cm environ à partir du culot. Ces fonds de bouteilles ont été préalablement percés pour éviter l'accumulation d'eau de pluie. Les bouteilles utilisées sont des bouteilles de soda ou d'eau minérale d'1,5 l en grande majorité. Celles-ci possèdent un diamètre de 8,5 cm ce qui est le diamètre recommandé car un diamètre supérieur augmente les captures accidentelles de micromammifères et d'amphibiens (Bouget *et Nageleisen*, 2009).

Pour l'échantillonnage des lignes à grande vitesse, piloté depuis Brunoy, les bouteilles utilisées sont des bouteilles usagées collectées auprès du personnel du SPN basé à Brunoy. Pour l'échantillonnage des lignes classiques, piloté depuis Besançon, les bouteilles utilisées ont été mises à disposition gracieusement par le centre de tri de l'intercommunalité du Grand Besançon et par la communauté d'agglomération de Bourg en Bresse.

Lors d'une session de pose, des trous sont d'abord effectués dans le sol à l'aide d'une barre à mine. Puis, les fonds de bouteille sont positionnés dans les ouvertures ainsi créées et la terre est rabattue et la litière reconstituée autour du piège afin de mimer au maximum un sol non perturbé. De cette façon, la micro-faune marcheuse chute dans le piège sans pouvoir en ressortir.



Photographie 22 : Contrôle d'un piège ayant capturé plusieurs coléoptères - R. Sordello

Pour améliorer le déroulement du piégeage :

- un morceau de pomme, constituant un attractif non léthal, est placé à l'intérieur de chaque piège afin d'augmenter le rendement du piégeage ;
- un compartiment de boîte à œufs ou de la mousse est mis dans chaque piège afin de limiter les contacts directs entre individus piégés et ainsi de minimiser les risques de cannibalisme entre deux sessions de contrôle.

Méthode de prélèvement

Généralités

Le contrôle des pièges consiste à constater les individus tombés dans le fond de la bouteille entre deux sessions de terrain. Les individus appartenant à des espèces non recherchées sont relâchés immédiatement.

Féronie noire (*Abax parallelepipedus*)

Du fait de l'identification différée des *Abax parallelepipedus*, tous les *Abax* relevés à chaque session de contrôle ont été conservés dans un Eppendorf rempli d'alcool puis déterminés ultérieurement au laboratoire sous loupe binoculaire.

La question de conserver les *Abax* dans des Eppendorfs sans alcool avant identification s'est posée. Éthiquement, ce processus aurait permis de relâcher vivants les *Abax* non souhaités. En revanche, ce dispositif aurait impliqué de relâcher sur nos laboratoires (Besançon, Brunoy) des individus en provenance d'autres populations éloignées, au risque de rompre des structures génétiques existantes. Nous avons donc opté ici pour un protocole léthal.

Abax parallelepipedus étant très abondant et représentant une part importante des *Abax* piégés (environ 2/3), le piégeage de cette espèce s'est déroulé rapidement et les pertes d'individus appartenant à d'autres *Abax* ont été limitées.

Après détermination les individus n'étant pas des *Abax parallelepipedus* sont éliminés. Les individus identifiés comme *Abax parallelepipedus* sont conservés dans leurs Eppendorfs et étiquetés selon la procédure habituelle. Les individus ont été laissés entiers pour l'échantillonnage LGV. Pour l'échantillonnage des LC, seule une patte a été conservée sur les individus identifiés.

Carabe des bois (*Carabus nemoralis*)

Les individus de *C. nemoralis* trouvés piégés ont été prélevés d'une patte. Un code de marquage, consistant à prélever systématiquement la patte médiane gauche, a été utilisé afin de ne pas échantillonner deux fois le même individu. Pour effectuer le prélèvement, l'individu est tenu entre pouce et index pendant que la patte choisie est coupée à l'aide d'une paire de ciseaux. La patte est récupérée et placée avec une pince dans un tube Eppendorf rempli d'alcool.



Photographie 23 : Contrôle d'un piège ayant capturé un *C. problematicus* – R. Sordello

3.1.3. Les sites d'échantillonnage pour chaque espèce

En suivant le schéma de prélèvement théorique exposé précédemment, les sites potentiellement favorables ont été repérés préalablement selon l'écologie et les exigences de chacune des espèces recherchées :

- par interprétation de vues aériennes des zones d'étude sur Google maps ;
- par des prospections et repérage à pied.

3.1.3.1. La Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*)

En accord avec la bibliographie, nous avons recherché des sites favorables à la présence de l'espèce. Les forêts de feuillus présentant des zones humides telles que des mares, des ornières ou des cours d'eau à faible courant ont donc été privilégiées pour les prospections. Puis les sites ont été retenus en fonction de la présence et de l'abondance effective de l'espèce.

De manière à ne pas avoir d'effet dû à un isolement par la distance ou de perturbations d'autres éléments fragmentants (routes, villages...), l'échantillonnage (cf. figures 24 à 27) a été réalisé au plus près de la voie ferrée. Il a été montré que la dispersion annuelle de *Salamandra salamandra* pouvait dépasser le kilomètre et que son domaine vitale pouvait atteindre 2 265 m² (Bar-David *et al.*, 2007 ; Schulte *et al.*, 2007). Néanmoins, cette espèce possède généralement un domaine vital de quelques dizaines de mètres carrés auquel elle est fidèle (Denoël, 1996 ; Rebelo & Leclair, 2003 ; Bellenoue *et al.*, 2006).

Franche-Comté

La zone d'étude, vallonnée et assez forestière, a permis de choisir assez facilement 6 sites à échantillonner permettant ainsi de réaliser des prélèvements dans de petits ruisseaux, flaques forestières et dépressions/zones humides en milieu forestier favorables à l'espèce.

Rhône-Alpes

Cette zone d'étude, très agricole et encadrée par une autoroute et une route nationale, n'a pas facilité le choix des sites pour la Salamandre tachetée. La présence de milieux favorables le long de ce tronçon est réduite et les prélèvements se sont donc concentrés sur le peu de milieux présents sans pouvoir toujours tenir compte du schéma théorique de prélèvement.

Lorraine

La zone d'étude de Lorraine est caractérisée par la présence à l'ouest d'un vaste massif forestier formé des Bois de Vigneulles et de Thiaucourt, sectionné en longueur par la LGV Est. Le reste de la zone d'étude comporte peu de forêts. Une seconde zone de boisement est située à l'extrême Est (Bois communal de Villecey-sur-Mad). Un repérage a été effectué dans ces boisements sans y déceler aucune larve de Salamandre.

Les prélèvements de Salamandre tachetée en Lorraine se sont donc concentrés dans les Bois de Vigneulles et de Thiaucourt. Dans la mesure où les prélèvements sont effectués relativement près de la voie ferrée pour cette espèce, la distance entre les sites de prélèvements d'un même côté du tronçon est comparable à la distance entre sites de part et d'autre.

Bourgogne

La zone d'étude de Bourgogne est caractérisée par plusieurs massifs de forêts au fil du tronçon, sectionnés par celui-ci. Les premières prospections dans le massif de Villargoix, situé au sud du tronçon se sont révélées infructueuses de jour comme de nuit. Cette absence totale de Salamandre tachetée semble étonnante dans ces forêts d'apparence très favorables, humides et comportant des ornières et des petits cours d'eau.

Les prélèvements de Salamandre ont donc été répartis :

- dans le Bois du Bas des Vingt Arpents au Nord de la zone d'étude ;
- dans les Bois Brulé et de Nisserteau au centre du tronçon ;
- dans le Bois de Villargoix plus au sud de la zone d'étude.

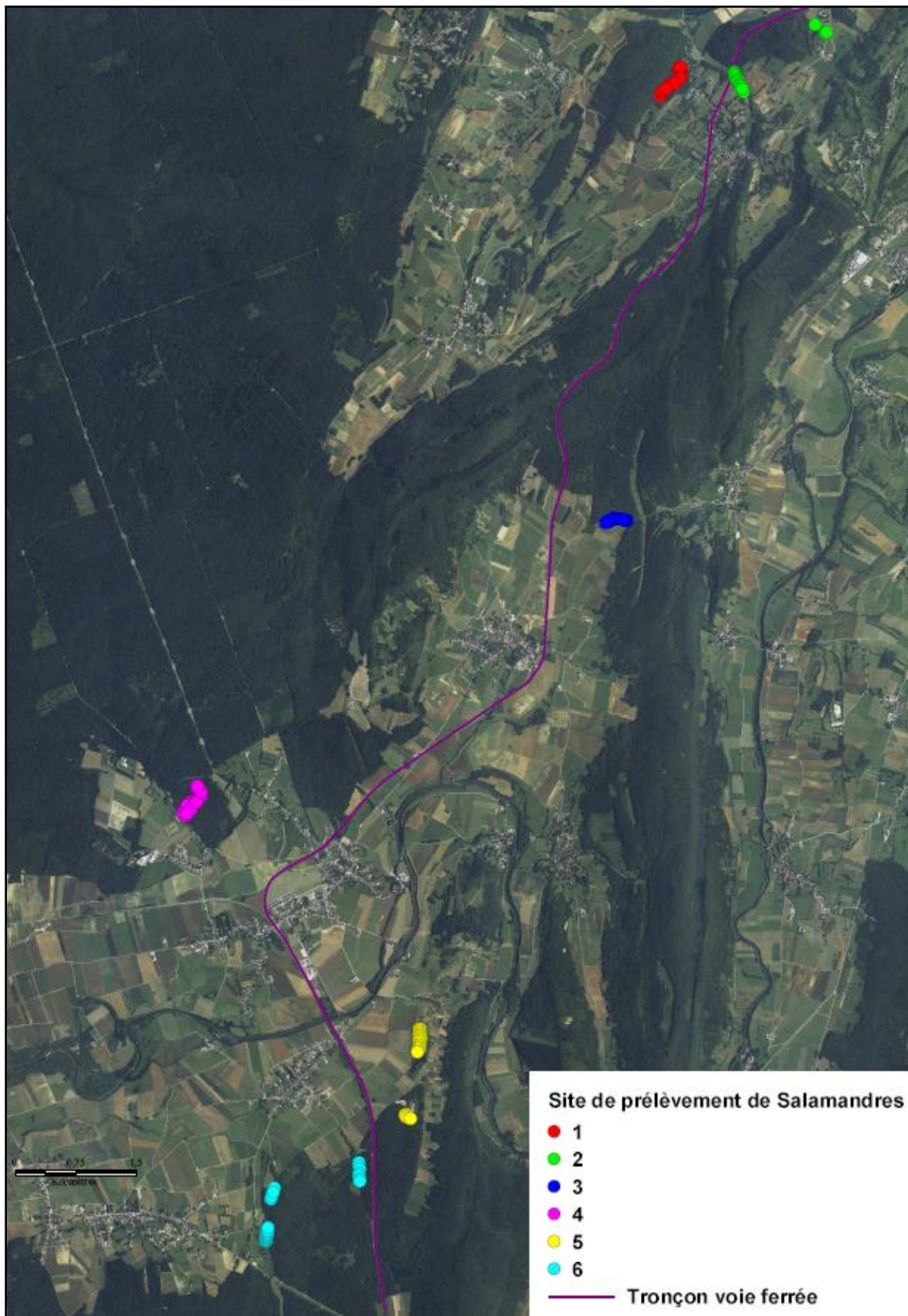


Figure 24 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Franche-Comté (Ligne classique)

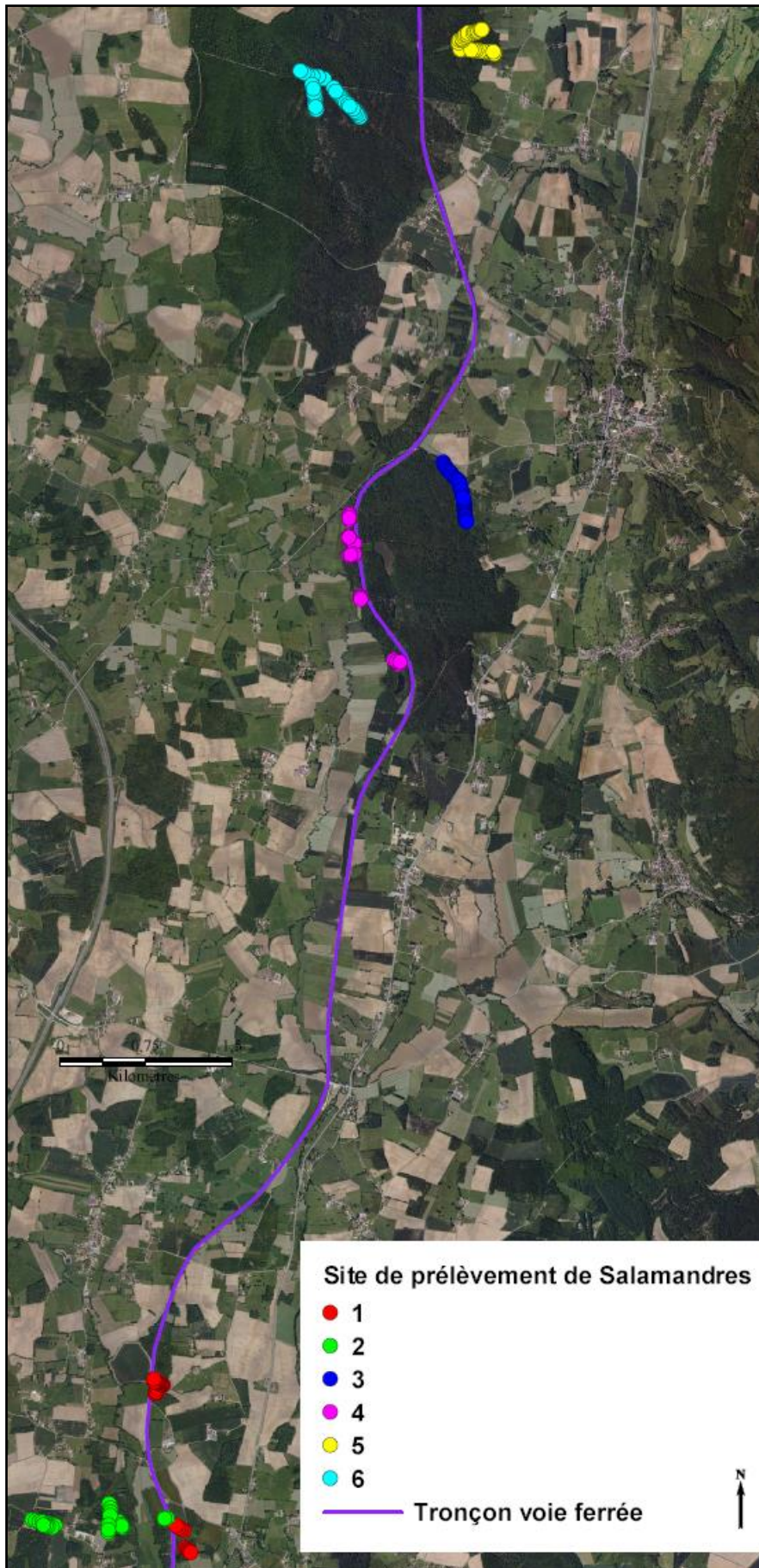


Figure 25 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Rhône-Alpes (Ligne classique)

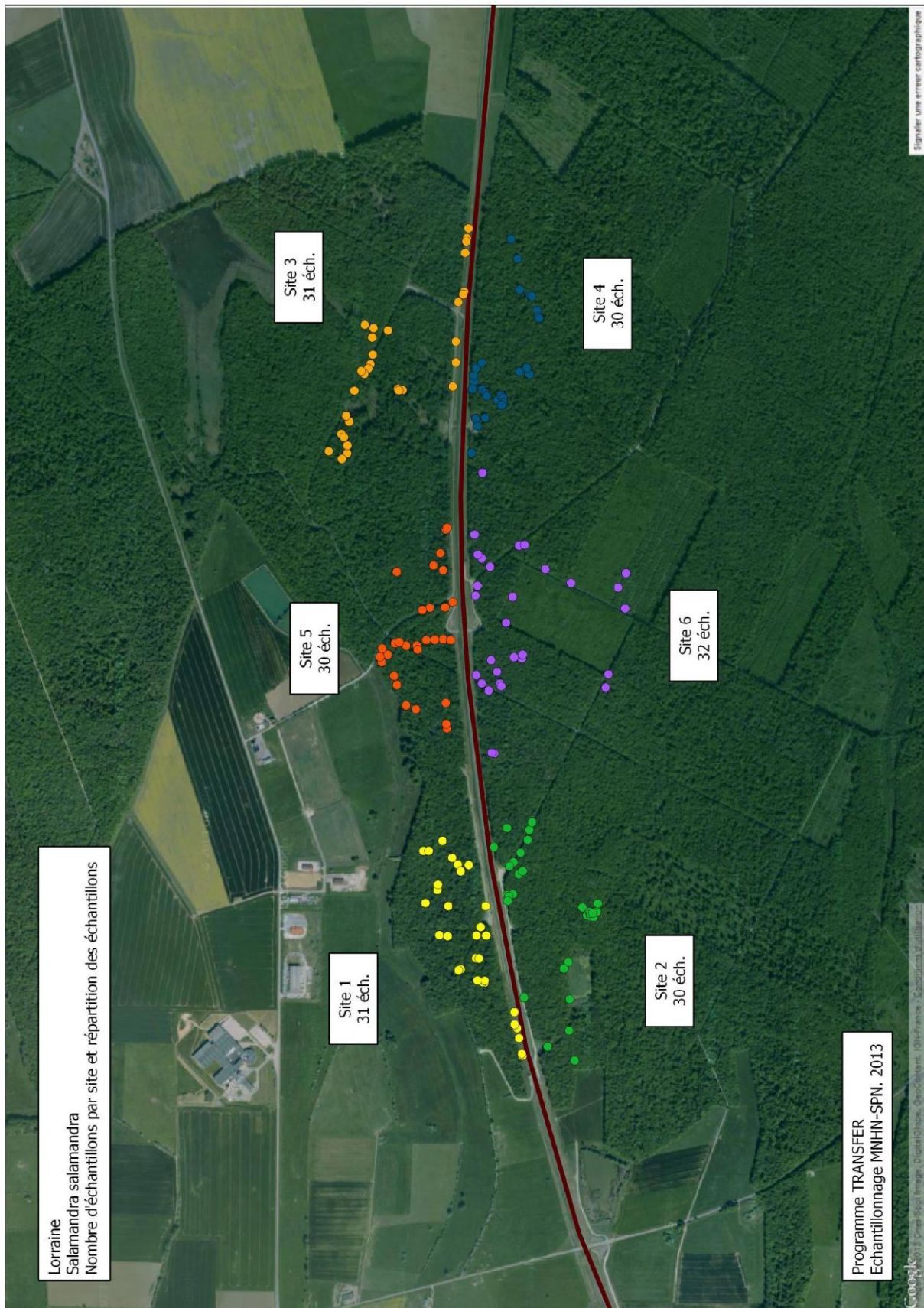


Figure 26 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Lorraine (Ligne nouvelle LGV)



Figure 27 : Carte de répartition des prélèvements de Salamandre tachetée en Bourgogne (Ligne nouvelle LGV)

3.1.3.2. Le Myrtil (*Maniola jurtina*)

En accord avec la bibliographie, les prospections se sont focalisées sur les milieux ouverts le long des tronçons ferroviaires tels que les prairies fleuries, les prés de fauche ou les pâtures. Un repérage sur photoaérienne a permis d'identifier des zones intéressantes qui ont ensuite été confirmées sur le terrain en fonction de la présence effective et d'effectifs suffisants de Myrtil. Pour cette espèce, l'échantillonnage (cf. figures 28 à 31) a été effectué à une distance d'environ 2 à 3 km des voies en accord avec les capacités de déplacements du Myrtil données par la bibliographie.

La biologie de l'espèce et nos observations de terrain nous ont permis de constater que les prairies fleuries non fauchées entourées de haies offraient un optimum pour la capture d'un grand nombre d'individus sur un même site en peu de temps.

Franche-Comté

Les prélèvements se sont ainsi focalisés sur les prairies fauchées ou pâtures en fleurs. Au final, 6 sites ont pu être identifiés avec des effectifs suffisants pour parvenir aux objectifs du protocole.

Rhône-Alpes

Comme pour les autres espèces, l'enclavement du site entre l'autoroute A39 et la D1083 a restreint fortement les zones potentielles de prospection. Les recherches se sont ainsi focalisées sur les prairies, les chemins et les petites routes de campagnes bordés de haies et de ronciers en fleurs. Au final, 6 sites ont pu être identifiés avec des effectifs suffisants pour parvenir aux objectifs du protocole.

Lorraine

En Lorraine, la zone d'étude présente relativement peu de milieux ouverts propices au Myrtil. En dehors des massifs forestiers et des cultures céréalières, la zone héberge peu de zones pâturées, bocagères ou de chemins. Les chemins des abords immédiats du grillage de la voie ferrée sont des milieux potentiellement intéressants. Néanmoins, ils ne permettaient pas de respecter le schéma des distances souhaités entre sites. Nous nous sommes donc concentrés sur les quelques secteurs de pâturage, de prairies fleuries et les abords de hameaux, qui correspondaient le plus aux conditions de vie du Myrtil.

Un repérage sur photo-aérienne a néanmoins permis de disposer théoriquement de 6 sites favorables distants respectivement d'environ 2-3 km. En revanche, l'exploration de ces sites sur le terrain a remis en cause cette pré-identification. En effet, l'un des sites pré-identifié s'est révélé totalement inadapté et seuls deux Myrtils y ont été vus.

Bourgogne

Les prélèvements se sont focalisés sur les prairies fauchées, pâtures en fleurs et chemins bordés de haies avec ronciers. Au final, 6 sites ont pu être identifiés avec des effectifs suffisants pour parvenir aux objectifs du protocole.

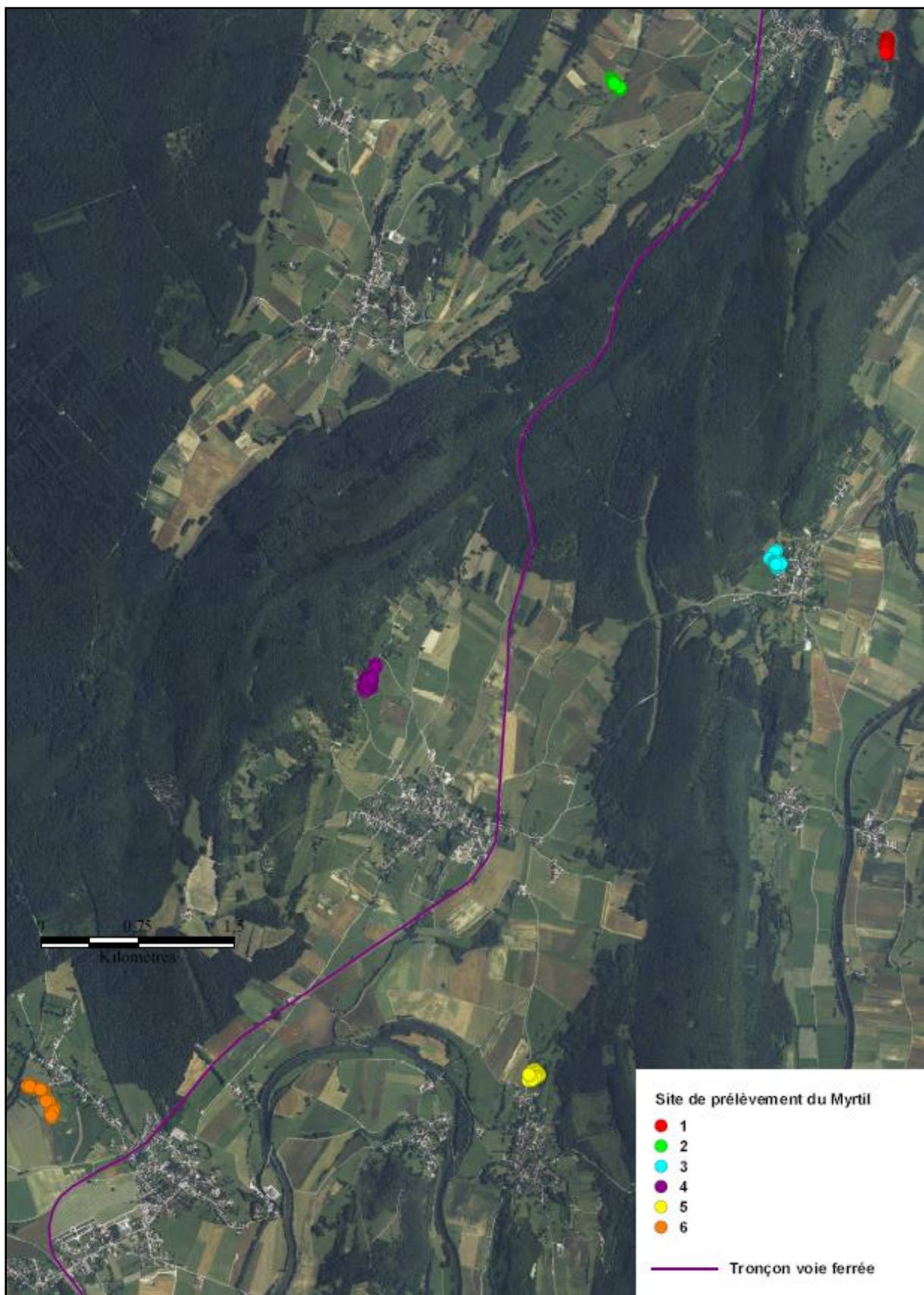


Figure 28 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtil en Franche-Comté (ligne classique)

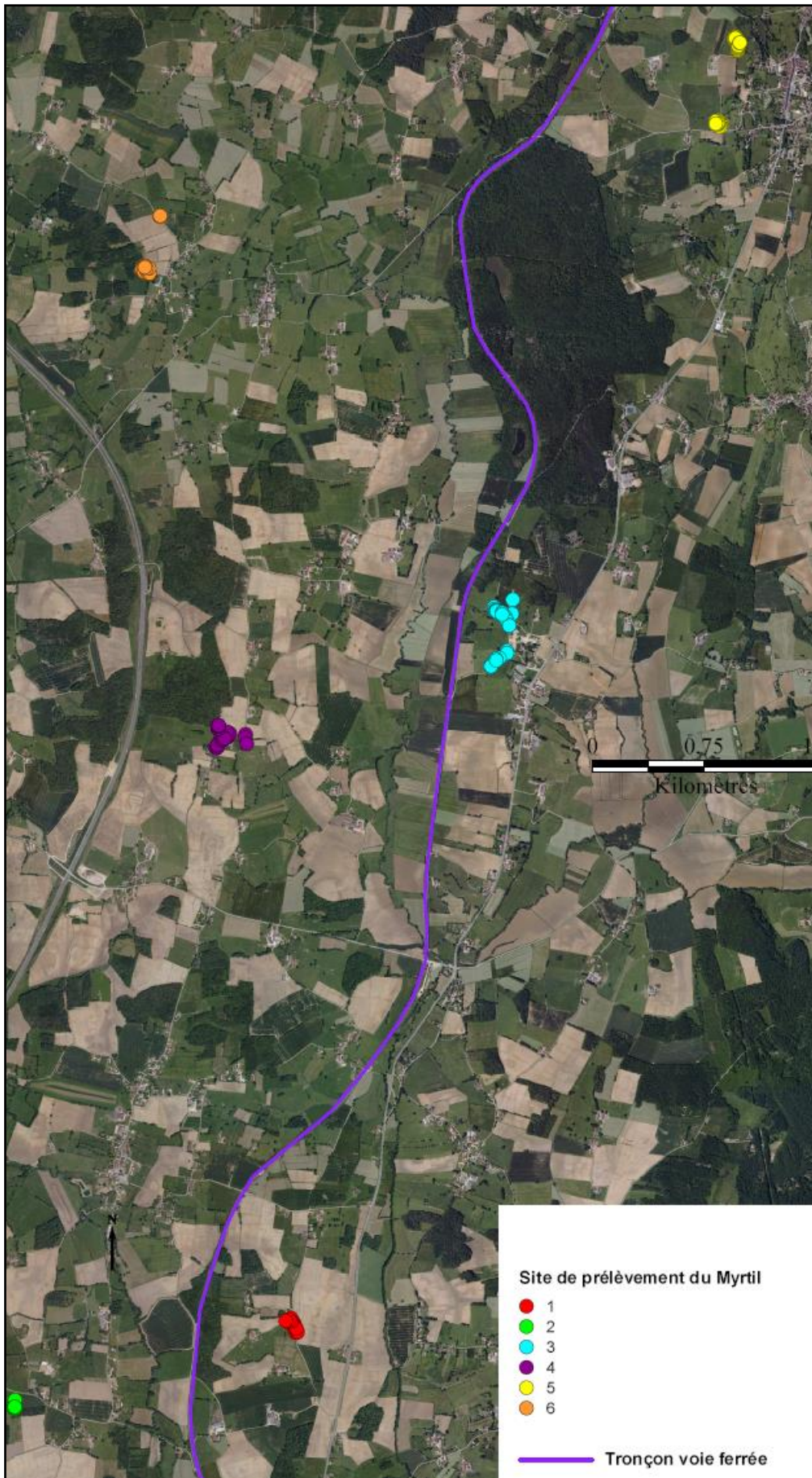
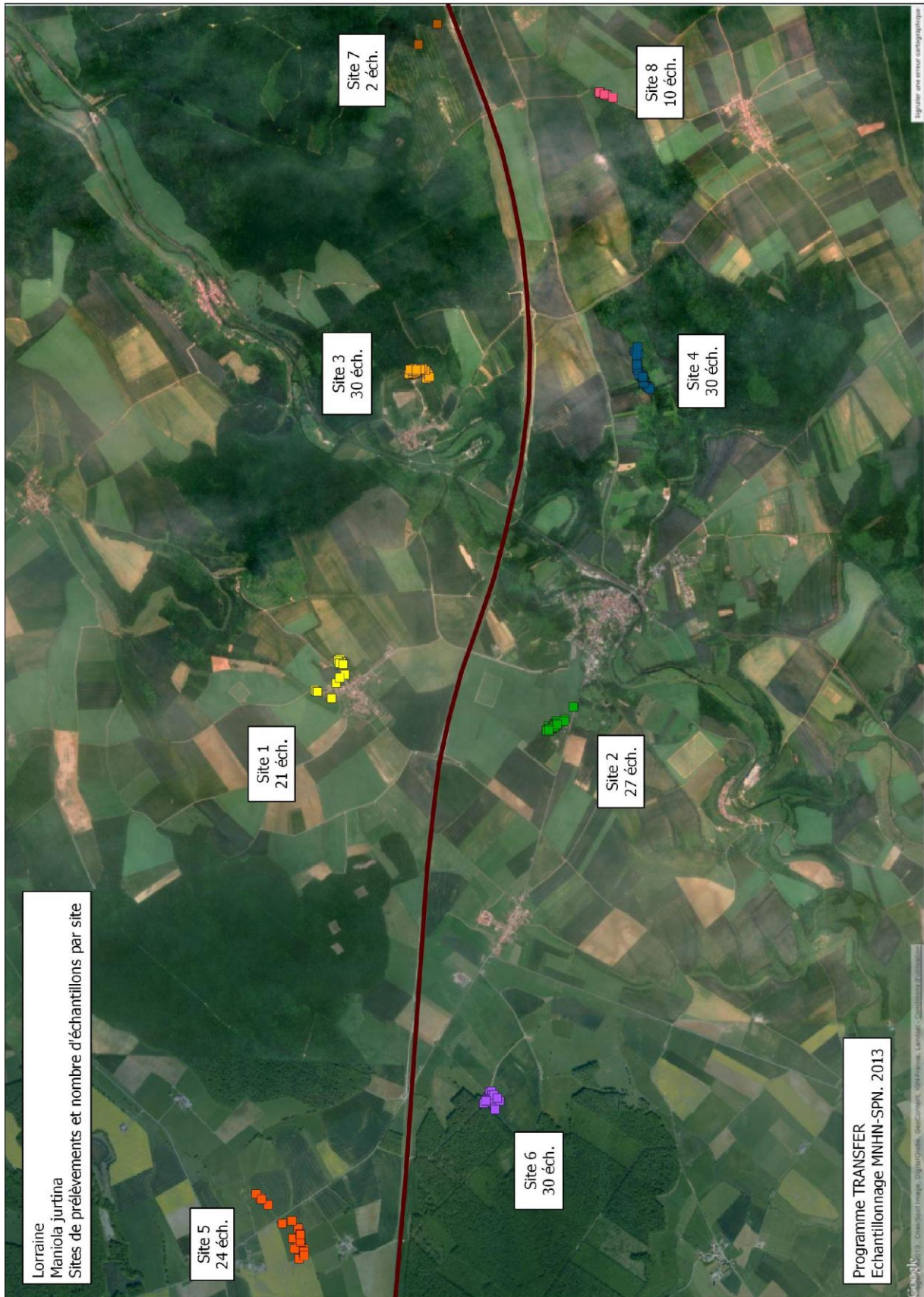


Figure 29 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtill en Rhône-Alpes (Ligne classique)



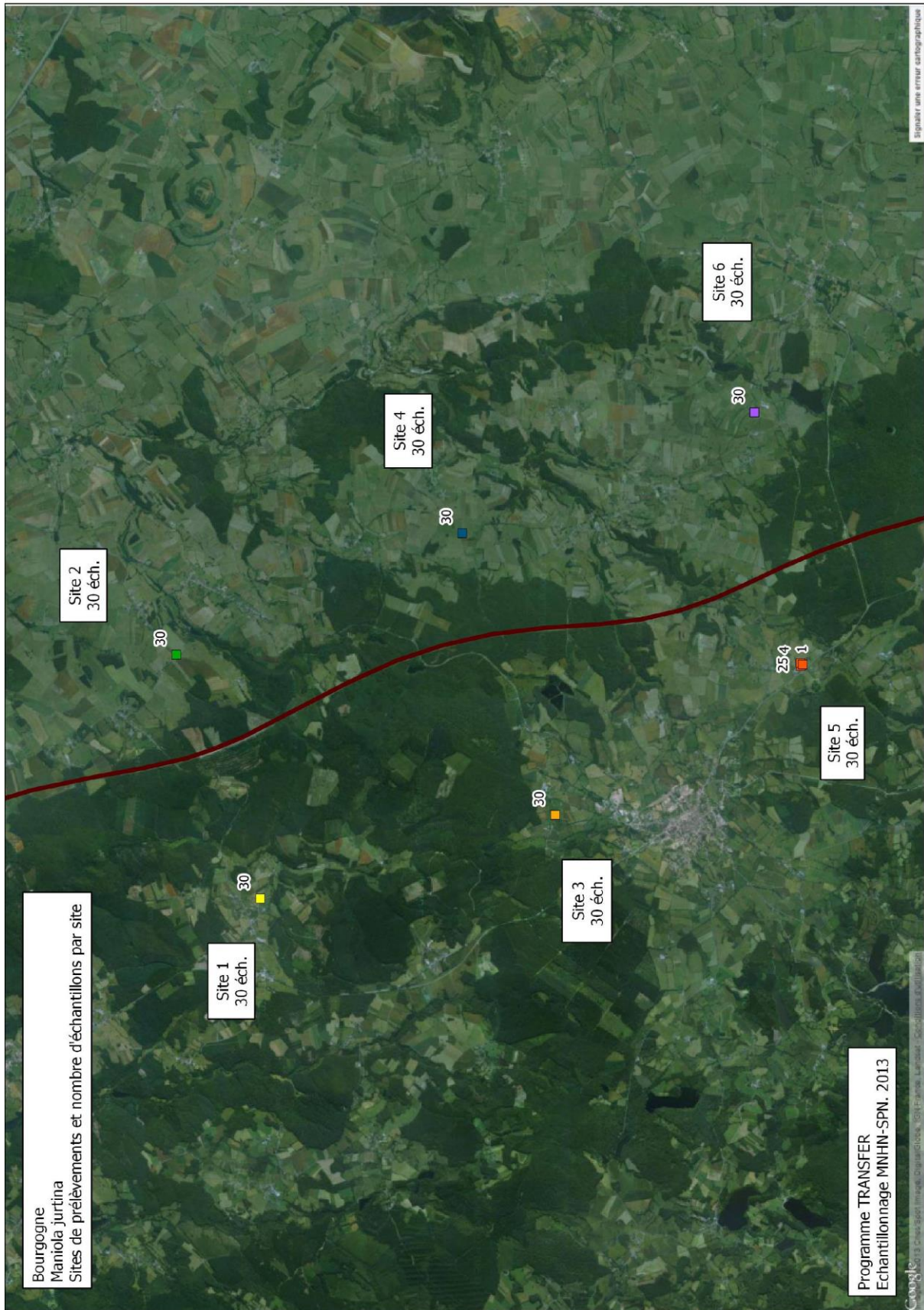


Figure 31 : Carte de répartition des prélèvements du Myrtal en Bourgogne (Ligne nouvelle LGV)

3.1.3.3. Les Coléoptères

En accord avec la bibliographie, nous avons recherché prioritairement les forêts ou bosquet de feuillus, avec une litière relativement importante, un substrat pas trop humide et situés pour partie à proximité d'une lisière. Compte tenu des capacités de dispersion à courte distance des Carabes, les sites de piégeage (cf. figures 32 à 35) ont été positionnés près de la voie (100 m environ).

La Féronie noire (*Abax parallelepipedus*) est surtout active de mai à juillet. Les périodes d'activités les plus importantes du Carabe des bois (*Carabus nemoralis*) se situent d'avril à août (Loubère, 2010). La période de terrain consacrée à l'échantillonnage des coléoptères par la pose de pièges s'est donc étalée sur 3 mois (fin-avril – fin août) pour la Lorraine et 2 mois et demi (mi-mai – fin août) pour la Bourgogne.

Franche-Comté

Les sites ont été répartis de part et d'autre de la ligne classique en forêt de feuillus. Au final, 6 sites ont pu être identifiés avec des effectifs suffisants pour répondre aux objectifs du protocole.

Rhône-Alpes

Les mêmes contraintes que pour localiser les sites de prélèvement optimum de *Salamandra salamandra* ont été rencontrés sur cette zone d'étude du fait de la faible présence de milieux favorables. Ce tronçon ferroviaire est enclavé entre l'autoroute A39 et la D1083 et traverse de vastes cultures. Aussi, les prélèvements se sont-ils focalisés sur le peu de milieux présents sans pouvoir toujours tenir compte du schéma initial de prélèvement.

Lorraine

Les milieux forestiers de la zone d'étude de Lorraine se concentrent principalement au niveau des Bois de Vigneulles et de Thiaucourt. Deux sites ont donc été positionnés dans ce massif. Afin de diversifier les lieux des prélèvements, les quatre autres sites de piégeage des Coléoptères ont été positionnés dans le Bois communal de Villecey-sur-Mad situé à l'Est de la zone d'étude. Les distances prévues par le protocole initial ne sont donc pas totalement respectées.

Bourgogne

Deux sites (5 & 6) ont été positionnés dans le massif où sont également localisés les sites 5 et 6 de la Salamandre tachetée (Bois de Villargoix). Les quatre autres sites sont localisés au sud de la zone d'étude au niveau des forêts de Thoisy, des Petits bouts et des Grandes bruyères.

Organisation des sites de piégeage

En Bourgogne et Lorraine, chacun des six sites d'échantillonnage a été divisé en 5 à 9 localités différentes, espacées d'une centaine de mètres les unes des autres. Chacune de ces localités a été équipée de 4 à 6 pièges afin d'optimiser l'effort d'échantillonnage. Selon la configuration du boisement, et afin de faciliter leur repérage ultérieur, les pièges ont été disposés en ligne ou en cercle.

En Franche-Comté et en Rhône Alpes, selon les milieux, les pièges ont été disposés soit en une ligne de 20 pièges placés tous les 5 m, soit en 2 lignes de 10 pièges espacés de 5 m, distantes entre-elles d'une soixantaine de mètres.

Sur les deux LGV (Bourgogne et Lorraine), le contrôle des pièges s'est déroulé sous forme de session de 3 jours. L'ouverture des pièges se faisait en début puis le contrôle fermeture était réalisé en fin de session afin d'éviter du piégeage inutile. Des sessions ont ainsi été organisées selon ce modèle toutes les deux semaines environ pour chaque zone d'étude en alternance. Les pièges sont donc laissés ouverts environ 1 jour et 2 nuits avant d'être contrôlés. Sur les deux lignes classiques, les pièges ont été laissés ouverts entre deux relevés entre 1 à 7 jours.

L'emplacement des localités a été déterminé en partie par les facilités d'accès, tout en essayant de rester cohérent par rapport aux distances et à l'emplacement des différents sites. La majorité d'entre elles ont ainsi été placées près ou le long de chemins forestiers afin de faciliter les sessions de contrôle. Les coordonnées GPS de chaque localité ont été enregistrées, et les localités ont été signalées par du ruban de chantier.

Au final, près de 200 pièges ont été posés en Lorraine, près de 300 en Bourgogne et environ 360 pièges en tout en Franche-Comté et Rhône-Alpes.

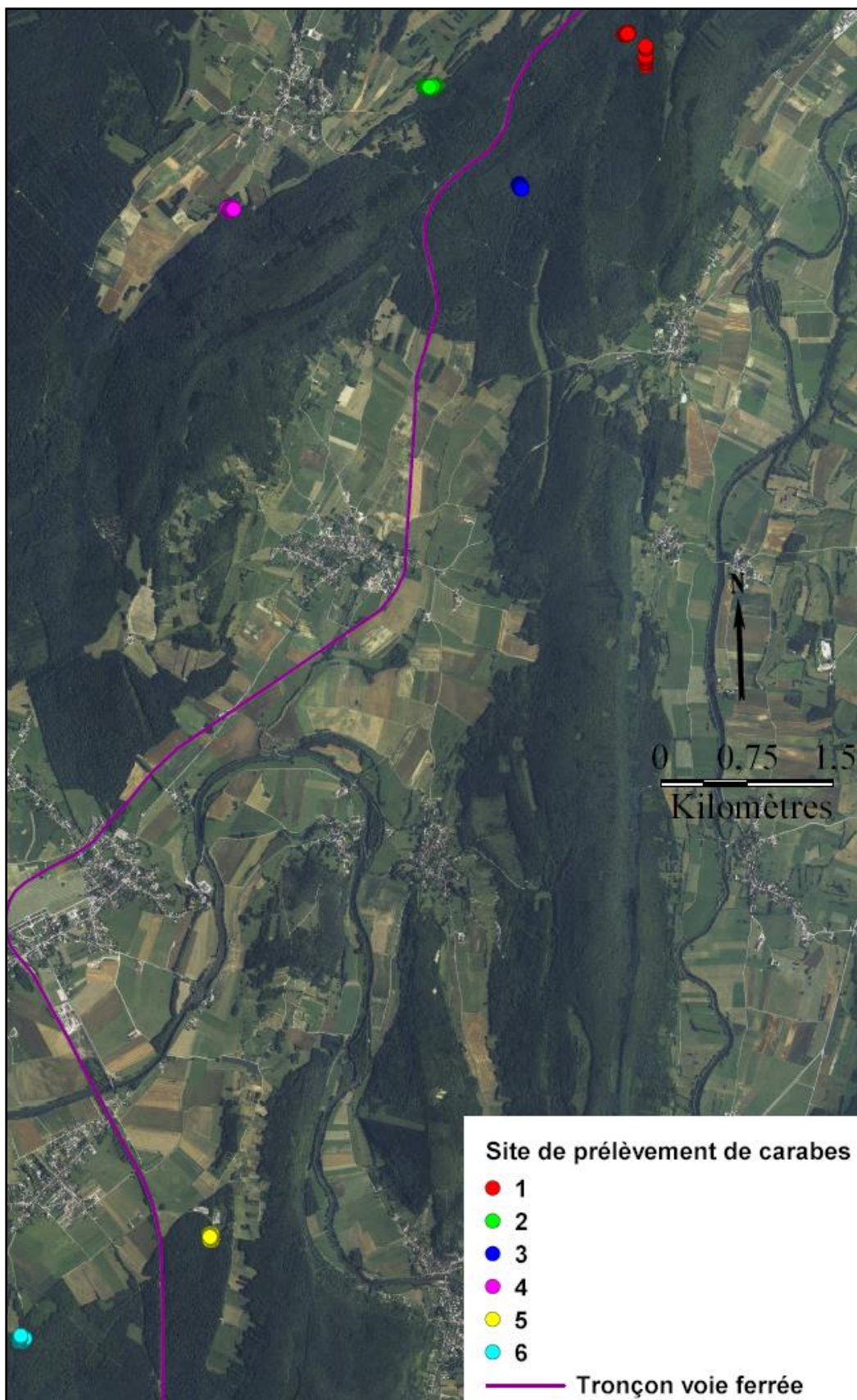


Figure 32 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire et du Carabe des Bois en Franche-Comté (Ligne classique)

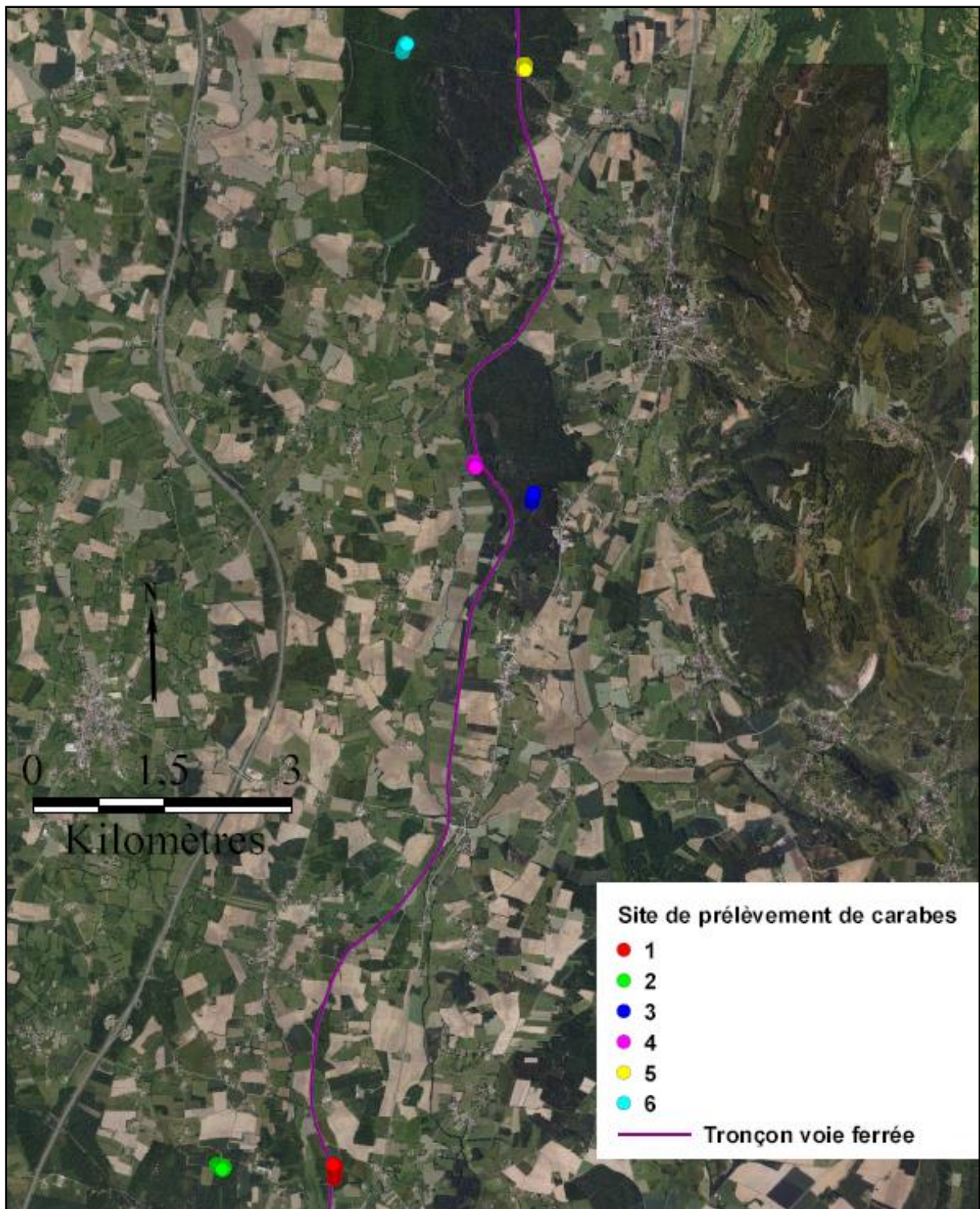


Figure 33 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire et du Carabe des Bois en Rhône-Alpes (Ligne classique)

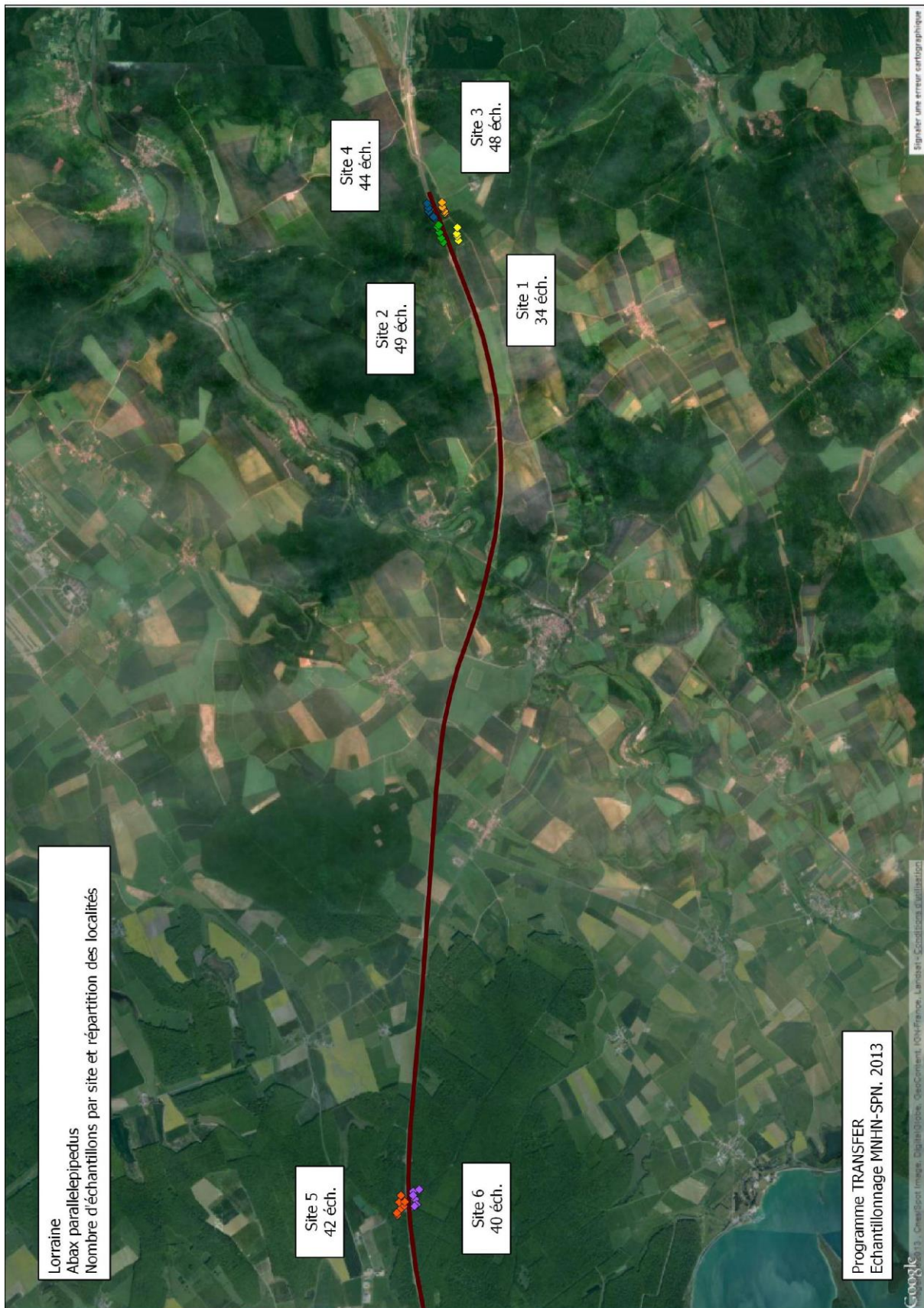


Figure 34 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire en Lorraine (Ligne nouvelle LGV)

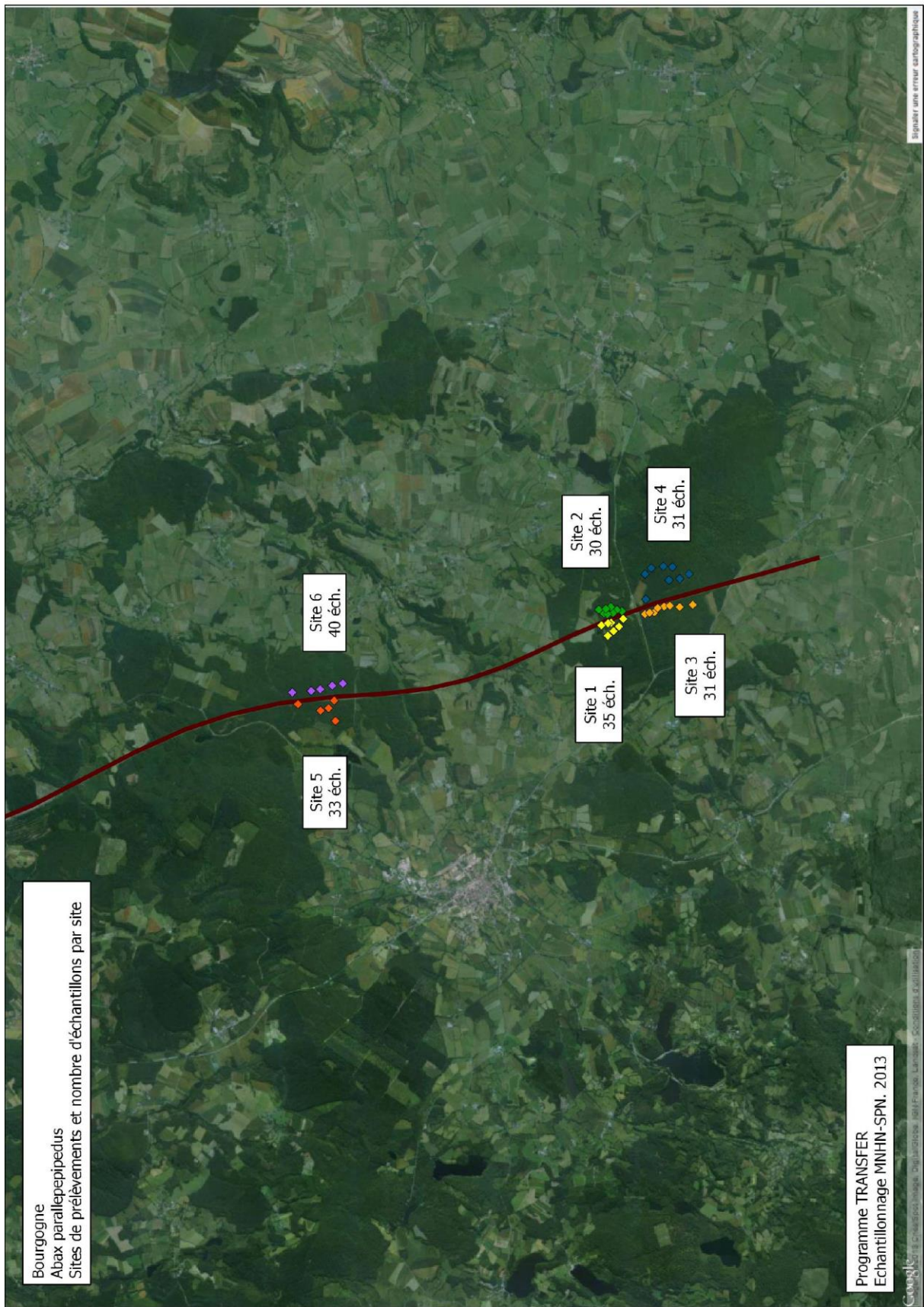


Figure 35 : Carte de répartition des prélèvements de la Féronie noire en Bourgogne (Ligne nouvelle LGV)

3.1.4. Les analyses génétiques

La génétique du paysage est une discipline récente, qui allie les outils issus de l'écologie du paysage et de la génétique des populations pour évaluer les impacts des processus paysagers sur les processus génétiques (et vice-versa). Globalement, elle fonctionne en tentant de détecter des écarts par rapport à un modèle nul (la panmixie), et d'expliquer les rôles éventuels du paysage dans ces écarts.

Le modèle nul, la panmixie, réfère à une situation idéalisée dans laquelle l'ensemble des individus d'une population de taille infinie pourraient s'entrecroiser, indépendamment de leur génotype ou de la localisation de leur naissance. Cette situation idéalisée peut se mettre en place s'il y a absence de limitations intrinsèques aux déplacements des individus (pas de coût au déplacement : tous les individus sont capables d'accéder sans limite à l'ensemble de l'espace), en l'absence de barrière empêchant les déplacements d'individus (toutes les parties de l'espace sont également accessibles) et si les appariements se font indépendamment du génotype ou du lieu de naissance (appariements aléatoires). Dans ces circonstances, la répartition des allèles (formes génétiques prises à un locus) est homogène dans l'espace considéré, et si l'on échantillonne des parties de l'espace, tous les échantillons auront sensiblement les mêmes fréquences alléliques.

En génétique du paysage, on s'intéresse justement aux écarts à la panmixie. L'exemple le plus simple à comprendre est celui d'une subdivision de l'espace en deux entités indépendantes. Imaginons une population, initialement panmictique, au travers de laquelle on établirait une barrière infranchissable par les individus. L'isolement reproducteur des organismes de part et d'autre de cette barrière serait total. Comme chacune des sous-populations ainsi créée aurait une taille finie, un processus connu sous le nom de dérive génétique pourrait s'appliquer indépendamment dans chacune des sous-populations. La dérive génétique est la perte (aléatoire) de certains allèles, suite aux processus stochastiques d'origine démographique (tous les individus ne se reproduisent pas efficacement) ou autre (par exemples une mortalité massive provoquée par une catastrophe). Comme les deux sous-populations seraient isolées, qu'elles n'échangeraient plus d'individus, et donc plus de matériel génétique, petit à petit, les fréquences alléliques divergeraient entre ces sous-populations. C'est ce type de données que la génétique du paysage exploite, pour répondre à différentes questions relatives à l'effet du paysage sur la biodiversité.

En génétique du paysage, on considère habituellement trois types de mécanismes susceptibles de causer un isolement génétique entre populations. *L'isolement par la distance* résulte du fait que les capacités de mouvement des organismes sont intrinsèquement limitées. Comme tous les individus ne sont pas capables d'aller partout, ils ont tendance à s'accoupler avec leurs voisins proches, ce qui conduit à des gradients progressifs dans les fréquences alléliques : des individus spatialement proches seront également génétiquement plus proches que des individus échantillonnés loin l'un de l'autre. *L'isolement par résistance* est le résultat de l'effet des éléments surfaciques du paysage sur les mouvements de dispersion entre portion de l'espace. Par exemple, certaines espèces peuvent avoir du mal à franchir les forêts, et au contraire se déplacer aisément dans les milieux ouverts. Dans ce cas, la mosaïque paysagère « tord » l'espace, et les discontinuités génétiques ne sont graduelles, et peuvent s'expliquer par ces différences dans la résistance opérée par le paysage. Enfin, *l'isolement par barrière* réfère à l'effet d'habitats habituellement linéaires empêchant (totalement ou en partie) la dispersion des organismes. Il peut s'agir par exemples de chaînes de montagnes, de fleuves, ou

d'infrastructures de transport. Dans ce cas, les discontinuités génétiques sont abruptes et localisées au niveau des barrières.

Dans ce projet, nous tenterons d'établir si les ILT ferroviaires constituent ou non un facteur d'isolement par barrière, en étudiant la structuration génétique de 3 des espèces collectées sur les tronçons étudiés (*Carabus nemoralis* ayant été échantillonné en nombre trop faible pour satisfaire les besoins de l'analyse). Pour cela, l'ADN sera d'abord extrait des échantillons, puis amplifié sélectivement à certains loci très variables (appelés microsatellites). Les microsatellites sont des régions non codantes de l'ADN, qui par leur structure même sont sujettes à des mutations plus fréquentes que l'ensemble du génome. Après avoir amplifié ces régions, grâce à des amorces spécifiques (brins complémentaire aux régions en amont et en aval de la zone microsatellite dans l'ADN), il est possible de mesurer la taille des fragments amplifiés. Les différents allèles sont simplement des fragments de taille différente. Ce génotypage sera effectué pour l'ensemble des individus collectés, pour une série de loci microsatellites pour lesquels les séquences d'amorce et les conditions d'amplification sont connues.

3.1.4.1. Génotypage

Le génotypage a été effectué à partir des extractions de l'ADN des différents échantillons broyés (cf. Rapport Annexe 8.2) pour un total de 6, 12, 10 marqueurs microsatellites respectivement pour les salamandres, papillons et féronies. Le nombre de carabes collectés ne permettant pas d'obtenir la puissance d'analyse requise pour l'étude, l'espèce sera écartée de l'analyse. La PCR (polymerase chain reaction, méthode qui permet l'amplification de l'ADN) est effectuée dans une plaque de 96 puits contenant chacun le mélange réactionnel suivant : 1µL d'ADN extrait de concentration inconnue (de l'ordre de 10-50 ng/µl) ; un volume variable selon le multiplex (ensemble d'amorces permettant l'amplification conjointe de plusieurs loci) de solution d'amorces en couple ; 2,5 µl de Mastermix 2X du kit Qiagene, contenant la Taq DNA polymérase et son tampon (l'enzyme permettant la PCR), les dNTP (les nucléotides constitutifs de l'ADN), les sels et échangeurs d'ions Mg²⁺/Cl² ; complété avec de l'eau distillée pour un volume total de 5µl par puits. Ces PCR sont réalisées dans un thermocycleur Senso Quest pour *Maniola jurtina* et un thermocycleur Veriti (Applied Biosystems) pour les deux autres espèces. Ils étaient programmés pour effectuer les cycles suivants : une dénaturation initiale à 94 °C pendant 10 minutes permettant de séparer l'ADN double brin en brins simples, suivie de 35 cycles comportant chacun une dénaturation à 94 °C pendant 30 secondes, l'hybridation à une température de 56°C pendant 1min30 pour les 10 premiers cycles puis 30 secondes pour les 25 cycles suivants, qui permet aux amorces de s'hybrider avec l'ADN simple brin; l'élongation du fragment cible à 72°C pendant 30 secondes. Une extension finale à 72°C pendant 5 min termine la PCR. La taille des produits de la PCR est ensuite visualisée à l'aide d'un séquenceur capillaire dont les chromatogrammes sont analysés par le logiciel GeneMapper (Applied Biosystems).

3.1.4.2. Structuration génétique

Après les différents tests des marqueurs disponibles, les marqueurs fiables ont servi à l'analyse de la structuration génétique pour chaque région. Pour ce faire, nous avons d'abord vérifié si les individus génotypés au sein de chaque région étaient à l'équilibre de Hardy Weinberg (signe de panmixie), via un test multi-loci, ainsi qu'un test locus par locus, implémentés à l'aide du logiciel Genepop. Cela

nous a permis de rendre compte du déficit éventuel en hétérozygotes (indiqué par un $F_{IS} > 0$) pour chaque région, qui révèle un écart à la panmixie, conséquence soit de la consanguinité soit d'un effet dit de Wahlund (subdivision de la population régionale en plusieurs sous-populations).

Ensuite nous avons effectué une étude des F-statistiques sous R 3.0.2 à l'aide du package Hierfstat, à l'aide duquel nous avons pu établir des matrices renseignant la valeur de F_{ST} pour chaque paire de sites. Le F_{ST} est un indice de diversification génétique entre populations, et sa valeur (théoriquement comprise entre 0 et 1) traduit le déficit en hétérozygotes lié aux différences de fréquences alléliques entre les sous-populations de l'ensemble considéré. Si la valeur de F_{ST} est nulle, alors l'ensemble échantillonné peut être considéré comme ne formant probablement qu'une seule et même population au sens génétique. Si, par contre, la valeur de F_{ST} est positive alors, il y a structuration génétique de l'ensemble, que se traduit par une variation dans les fréquences alléliques entre les localités au sein de l'échantillon régional.

Le F_{ST} se calcule ainsi : $F_{ST} = (Ht - Hsbar) / Ht$, avec Ht le taux d'hétérozygotie théorique de la population globale (de la région), qui dépend uniquement des fréquences des différents allèles aux différents locis, et $Hsbar$ le taux d'hétérozygotie théorique moyen des sous-populations (sites). Si l'ensemble régional consiste en une population panmictique, alors Ht sera égal à $Hsbar$, et F_{ST} sera nul. Dans le cas contraire (subdivision), F_{ST} sera positif. Dans notre cas, les matrices de F_{ST} nous permettent de mesurer la différenciation liée à l'isolement (divergences des fréquences alléliques) entre les sites deux à deux au sein de chacune des quatre régions échantillonnées.

Dans un deuxième temps, et afin d'obtenir une représentation spatiale de la ressemblance génétique entre individus au sein des régions, nous avons utilisé le logiciel Geneland. Geneland est un package de R qui permet à partir de données génotypiques multi-loci, d'individus géo-référencés, d'une part d'estimer le nombre d'ensembles génétiques homogènes (appelés clusters) que constituent ces individus, mais surtout qui permet de donner une représentation spatiale des discontinuités génétiques entre ces groupes sous forme d'une carte d'isoprobabilité d'appartenance à un cluster ou d'une carte des probabilités postérieures d'appartenance à l'un ou l'autre des clusters. Le paramétrage de Geneland utilisé pour chaque espèce est précisé dans la partie 4.1.2.

3.1.4.3. Mécanismes de structuration

Pour identifier les mécanismes à l'origine d'une structuration et afin de quantifier les causes de l'isolement génétique des populations, des tests de Mantel et des tests partiels de Mantel ont été réalisés sous R pour comparer différentes matrices caractérisant les relations entre paires de sites. Trois matrices ont d'abord été considérées, renseignant respectivement les distances géographiques (geo), les distances génétiques (F_{ST}), et la présence de la barrière que constitue la voie ferrée (Bfer). Les corrélations entre ces matrices permettent ensuite de réaliser 2 tests :

- le test d'isolement par la distance géographique (IBD) : un test de Mantel simple entre F_{ST} et geo permet de tester l'effet de la distance géographique entre les sites de collecte sur la divergence génétique des populations d'espèces-cible qui s'y trouvent. En cas d'IBD, une relation positive entre distance géographique et distance génétique est attendue ;
- le test d'isolement par barrière (IBB|D) : un test de Mantel partiel entre F_{ST} et Bfer après contrôle de la relation entre F_{ST} et geo a pour objectif d'évaluer si la distance génétique est

mieux expliquée par la présence de la voie ferrée entre certains sites de collecte, tout en s'affranchissant de l'effet de la distance géographique entre ces sites.

Certains résultats contre-intuitifs ont été mis à jour (notamment pour les salamandres), qui pouvaient éventuellement s'expliquer par un effet de la fragmentation surfacique des habitats (isolement par résistance : par exemple par le développement agricole pour les espèces forestières). Pour évaluer cet effet, nous avons construit pour chaque région une quatrième matrice, Resist, qui renseigne la discontinuité surfacique de l'habitat. Pour les papillons, qui occupent les milieux ouverts, Resist=1 si un massif forestier coupe la ligne droite entre 2 sites ; Resist=0 dans le cas contraire. Pour les Féronies et les salamandres, deux espèces forestières, Resist= 1 si les deux sites ne sont pas dans le même massif forestier ; Resist=0 si les deux sites sont dans le même massif forestier.

Cette quatrième matrice permet de réaliser deux tests supplémentaires :

- le test d'isolement par résistance IBR|D : un test partiel de Mantel évaluant la corrélation entre distance génétique (F_{ST}) et la discontinuité des habitats (Resist), en corrigeant pour l'effet de la distance géographique (geo) ;
- le test d'isolement par barrière en corrigeant pour la discontinuité des habitats : IBB|R : $F_{ST} \sim Bfer | Resist$.

L'inconvénient de ces tests de Mantel est qu'ils ne permettent que la considération simultanée de 3 variables : la variable à expliquer (F_{ST}) et deux variables explicatives, alors que dans le cas présent, nous pouvons raisonnablement supposer que trois variables explicatives entrent en jeu (distance géographique, barrière constituée par la voie ferrée et discontinuité des habitats surfaciques). Pour cette raison nous avons complété ces tests en réalisant une série de régressions utilisant des modèles linéaires mixtes, toujours sous R, afin de voir comment varie la distance génétique entre deux sites (F_{ST}) en fonction de la distance géographique (geo), de la continuité des habitats (Resist) , de la présence de la barrière que constitue la voie ferrée (Bfer), et des interactions entre ces variables à effet fixe.

Dans chaque modèle, deux variables à effet aléatoire ont été ajoutées pour tenir compte d'une non-indépendance des données : l'identité des deux sites constituant la paire pour laquelle le F_{ST} et les autres distances sont calculés. L'emploi de ces variables à effet aléatoire permet de contrôler le fait que les données ne sont pas totalement indépendantes les unes des autres du fait du recoupement de sites entre les couples (chaque site appartient à plusieurs couples).

Le modèle complet utilisé a donc la forme : $F_{ST_{ij}} \sim Geo_{ij} * (Bfer_{ij} + Resist_{ij}) + 1 | i + 1 | j$.

Dans cette analyse, les 4 régions sont considérées d'abord isolément, et puis simultanément, mais dans ce cas, seuls les couples ij formés de deux sites appartenant à la même région sont considérés, pour un total de 60 couples (15 par région x 4 régions).

Nous avons ensuite effectué une sélection sur les variables à effet fixe de ce modèle complet, en comparant tous les modèles allant du modèle complet aux plus simples imbriqués dans ce dernier (le modèle le plus simple ne tenant compte que des variables à effet aléatoire). La sélection est réalisée selon le critère d'AIC (Akaike Information Criterion) : le modèle qui a la valeur d'AIC la plus basse est considéré comme meilleur. Le calcul des AIC permet une comparaison de la vraisemblance des

modèles, en corrigeant pour le nombre de variables prises en compte, et on estime qu'un modèle est meilleur qu'un autre lorsque la différence entre leurs AIC (delta AIC) est supérieure ou égale à 2.

Note : Les données de distance génétique entre paires de sites sont conformes à une distribution normale, comme confirmé par un test de Shapiro.

3.2. Le protocole d'échantillonnage photographique et par enregistrement ultrasonores

Pour chaque tronçon ferroviaire étudié, il s'agit ici d'évaluer la transparence des infrastructures pour deux groupes taxonomiques complémentaires, les mammifères terrestres et les chiroptères présentant des modalités de dispersion différentes. Pour chaque groupe, un plan d'échantillonnage spécifique a été appliqué afin d'évaluer les traversées en section ferroviaire courante (c'est-à-dire au-dessus des rails, hors ouvrages de franchissement) et dans différentes catégories d'ouvrages non dédiés à la faune sauvage (passages supérieurs et inférieurs, rétablissements de chemins agricoles/forestiers, petites routes communales ou départementales, ouvrages hydrauliques...).

L'objectif est d'évaluer principalement l'utilisation d'ouvrages non dédiés à la faune sauvage parmi lesquels des ouvrages hydrauliques de petites dimensions (buse diamètre 800 mm, dalots), des passages agricoles ou forestiers et enfin des routes communales ou départementales afin de vérifier dans quelle mesure les infrastructures ferroviaires (LGV ou lignes classiques) interfèrent avec les déplacements des espèces étudiées.

Des suivis ponctuels ont été réalisés également sur des sections courantes, entre des ouvrages, sur une ligne classique dépourvue de clôtures ou sur une ligne nouvelle avec une clôture ou sur un passage faune spécifiquement dédié sur la LGV Est Européenne (n° 4 sur la commune de Prény à l'est de la ligne étudiée).

3.2.1. Méthodologie générale

3.2.1.1. Généralités

Pour les suivis par technique photographique, il s'agit d'installer des systèmes de piégeage photographique pour l'inventaire des grands mammifères et de la mésofaune. Des appareils photographiques faune (APF) sont positionnés dans des milieux propices (lisières de boisement par exemple), dans des coulées repérées au préalable ou encore dans des passages artificiels (passage « Faune » inférieur des infrastructures linéaires, passage « Faune » supérieur sur les infrastructures...). Cette méthode permet de réaliser des inventaires mais aussi d'effectuer des suivis de fréquentation de passage aménagé pour la faune.



Vue perpendiculaire à l'axe de déplacement
(sans fixation spécifique)



Vue parallèle à l'axe de déplacement
(avec fixation spécifique)

Photographies 36 : Vues perpendiculaire ou parallèle en fonction des possibilités de fixation

Pour l'inventaire de la faune utilisatrice d'ouvrages hydrauliques ou de ponts, ECOSPHERE a développé des systèmes de fixation d'APF spécifiques car ils n'en existent pas sur le marché. Dès lors, il est possible de fixer les APF sur les ouvrages en respectant des angles de vue particulier afin d'avoir un suivi de meilleure qualité.



Fixation de l'APF sur barrière



Fixation de l'APF sur glissière de sécurité



Fixation de l'APF dans ouvrage
hydraulique

Photographies 37 : différents modes de fixations de l'APF

Les Appareils Photo-Faune (APF) sont aujourd'hui des outils très utilisés pour le suivi de la faune sauvage. Le déclenchement (prise de photos) est réalisé par détection de mouvement ou par détection thermique (selon les appareils). La vitesse de déclenchement varie de 0.2 seconde à plus d'une minute selon les modèles.

Pour cette étude, ECOSPHERE a utilisé 16 APF de deux types performants (12 ex. du Reconyx HC 500 et 4 ex. du Reconyx PC 800). Tous les APF permettent de connaître la date, l'heure, la température et la condition de la lune au moment de la prise photographique. Ces modèles sont très performants, la vitesse de prise de photo est rapide (0.2 seconde), ce qui permet de prendre les animaux en mouvement. Le flash infrarouge est quasiment invisible, les animaux le détectent peu. Le PC800 a été installé lorsque la fréquentation humaine de l'ouvrage était importante (possibilité de limiter la prise de vue du crépuscule à l'aube). Les appareils sont livrés avec un logiciel, Mapview Professional, qui

permet de trier les photos et récupérer l'ensemble des informations recueillies par l'appareil (date, heure, température ...). Ce logiciel permet d'exploiter les métadonnées.

Pour les suivis par enregistrement ultrasonores, des détecteurs d'ultrasons automatiques SM2BAT+ ont été choisis permettant ainsi, dès le passage d'une chauve-souris, d'enregistrer automatiquement les ultrasons émis. Des stations fixes permettent également de mesurer l'activité des chiroptères en fonction de l'heure de la nuit.

Pour les enregistrements réalisés SM2BAT+, l'utilisation du logiciel fourni librement « AnaloookW » et de Batsound version 4.03 permet d'identifier certains groupes d'espèces comme les murins de petites tailles, voire l'identification spécifique comme montré ci-dessous.



Photographie 38 : Détecteur à ultrasons modèle SM2BAT+
Photo : C. Louvet



Photographie 39 : Station fixe d'enregistrement automatique des signaux de chiroptères avec SM2BAT+. Le dispositif est fixé sur un arbre. Photo : Ecosphère

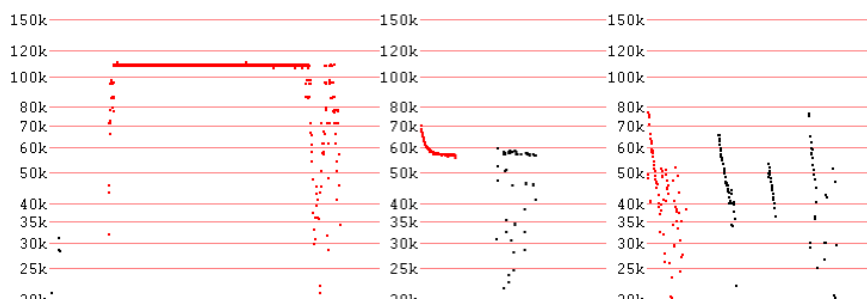


Figure 40 : Exemple de sonogrammes analysés avec le logiciel AnaloookW
(Petit Rhinolophe à gauche, Pipistrelle soprane au milieu, Murin sp. à droite)
Source : Ecosphère



Photographies 41 : Exemple de situations des stations d'enregistrements SM2BAT+

3.2.1.2. Repérage des tronçons retenus

En préalable, les 4 secteurs d'études ont été prospectés intégralement en mai et juin 2012 simultanément par deux chargés d'études afin d'établir une fiche descriptive de tous les ouvrages présents sur chaque tronçon d'environ 20 km, et permettant également de repérer des indices de déplacement de la faune (coulées, trous sous la clôture, traces, crottes).

L'objectif était de recenser l'ensemble des passages inférieurs et/ou supérieurs présents sur chaque tronçon de 20 km afin de mettre en œuvre une sélection des ouvrages à suivre en fonction des groupes taxonomiques suivis.

Les principales caractéristiques des ouvrages et de leurs abords (longueur, largeur, hauteur, positionnement des clôtures aux abords, présence de parapets d'occultation, végétalisation de l'ouvrage et des abords, type de revêtement dans l'ouvrage...) ont été relevées dans une fiche descriptive afin d'alimenter un tableau de synthèse pour chaque ligne ferroviaire.



Photographie 42 : Repérage d'un ouvrage supérieur sur la ligne classique Franche-Comté – A. Plaisance – mai 2012

	LC – Franche- Comté	LC – Rhône- Alpes	LGV - Lorraine	LGV - Bourgogne
Nombre d'ouvrages recensés	25	49	89	54

Tableau 5 : Nombre d'ouvrages recensés sur chaque tronçon étudié

3.2.1.3. Cartographie de l'occupation du sol des tronçons retenus

Sur les 4 secteurs d'études, une cartographie de l'occupation du sol à partir des photographies aériennes a été réalisée au 1/25000^{ème} selon les unités paysagères suivantes : boisements, haies, espaces herbacés, cultures, cours d'eau, zones humides, urbanisation, infrastructures afin de dégager les secteurs les plus propices à la circulation de la faune.

3.2.2. Les groupes taxonomiques suivis

3.2.2.1. Les mammifères terrestres

Au sein de la faune terrestre, les mammifères constituent une classe d'animaux très hétérogène aussi bien par la morphologie que par le mode de vie. Les espèces "visibles" sont repérables par leur observation directe ou par celle de leurs traces caractéristiques : restes de repas (végétaux, proies), empreintes, crottes, huttes, traces sur la végétation, etc.

Les principales espèces identifiables et susceptibles de déclencher les APF sont : le Hérisson d'Europe, la Taupe, l'Écureuil roux, le Rat surmulot, le Rat musqué, le Ragondin, le Lièvre, le Lapin de garenne, tous les Carnivores et les Artiodactyles (Sanglier, cervidés).

Grâce aux techniques récentes (pièges photographiques), ces espèces discrètes à mœurs nocturnes peuvent être suivies par ces APF afin de déterminer la fréquentation et la régularité des passages d'une espèce ou d'un individu.

L'effet de barrière d'une infrastructure linéaire de transport constitue probablement l'impact le plus important pour les mammifères en affectant leurs capacités de dispersion. La possibilité de se déplacer à la recherche de nourriture, d'un abri ou d'un partenaire est réduite par les obstacles qui entraînent un isolement des habitats. Les effets sur les mammifères (Ongulés, Carnivores, etc.) influent sur la dynamique des populations et menacent souvent la survie des espèces.

3.2.2.2. Les Chiroptères

Les chauves-souris ou chiroptères appartiennent à la classe des mammifères. En France métropolitaine, 34 espèces sont actuellement identifiées. Elles ont la particularité d'être les seuls mammifères pratiquant le vol actif, et d'avoir développé un mode de déplacement et de chasse de nuit par l'utilisation d'un système de navigation par écholocation (repérage par émission d'ultrasons).

Chassant de nuit, émettant des cris inaudibles pour l'homme et se reposant dans des endroits calmes, obscurs et difficilement accessibles, les chauves-souris brillent par leur discrétion. Cela en fait un groupe faunistique pour lequel les connaissances sont bien moindres que pour les autres groupes et en évolution constante.

Contrairement aux plantes ou à certains invertébrés qui ne sont présents que sur des stations bien délimitées, ou à certains groupes de vertébrés qui ont des territoires de faible dimension (passereaux en nidification, lézards...), les chauves-souris présentent plusieurs particularités :

- ◆ Elles sont grégaires à certains moments de leur cycle de vie (nurseries de femelles et de jeunes, hibernation en cavité, rassemblements automnaux près des gîtes ou « swarming »...) avec des densités qui varient selon les espèces, les lieux et les moments de l'année ;
- ◆ Elles disposent de grands territoires qui s'étendent à plusieurs kilomètres des gîtes ;
- ◆ Elles utilisent des territoires de chasse (souvent individuels, parfois partagés) après avoir suivi des corridors boisés (haies, lisières) où elles peuvent aussi chasser ;
- ◆ Comme pour d'autres groupes des individus peuvent être migrateurs (locaux ou au long cours), voire erratiques.

Depuis quelques années, la détermination par ultrasons des espèces de chiroptères est désormais possible grâce à de nombreux travaux et publications (Barataud, 2012). Les infrastructures de transport, de par leurs impacts directs et indirects, constituent l'une des causes de mortalité constatée des chiroptères. Si la construction d'une infrastructure s'accompagne dans un premier temps de la destruction et de la perturbation directe de leurs habitats (terrains de chasse, gîtes, routes de vol), elle conduit également à la fragmentation des milieux utilisés par ces mammifères, à des perturbations sonores et visuelles et modifie ainsi l'utilisation de l'espace par les espèces.

3.2.3. Les types d'ouvrages suivis par groupes taxonomiques

3.2.3.1. Sélection des ouvrages et protocole de suivi par technique photographique

Pour chaque tronçon, le but était d'obtenir 10 ouvrages et 2 sections courantes afin de les suivre durant 4 saisons :

- Type 1 : 2 ouvrages supérieurs (PS) avec voies de circulation communales ou départementales revêtues (enrobé, béton) ;
- Type 2 : 2 ouvrages supérieurs (PS) avec voies de circulation agricoles ou forestières ou vicinales revêtues (enrobé) ou stabilisées (empierrées) ;
- Type 3 : 2 ouvrages inférieurs (PI) avec voies de circulation revêtues (enrobé, béton) ;
- Type 4 : 2 ouvrages inférieurs (PI) avec voies de circulation stabilisées (empierrées) ;
- Type 5 : 2 ouvrages inférieurs (PI) prenant en compte des dalots ou des buses hydrauliques dont la hauteur est inférieure à 2 mètres ;

- Type 6 : 2 sections courantes sur des secteurs dépourvus d'ouvrages où des indices de franchissement avaient été observés.

Compte tenu de l'absence de certains types d'ouvrage sur certains tronçons, il a été décidé de suivre des ouvrages supplémentaires sur d'autres tronçons afin d'obtenir un nombre d'ouvrages équivalent pour les différents types. Par exemple, pour le type 1, trois ouvrages supérieurs ont été choisis sur la LGV Paris-Lyon en Bourgogne pour un seul sur la LGV Est-Européenne en Lorraine.



Photographie 43 : Ouvrage de type 1 (Passage fortement fréquenté par l'Homme)



Photographie 44 : Ouvrage de type 2 (Moins fréquenté par l'Homme)



Photographie 45 : Ouvrage de type 3 (Passage inférieur avec revêtement béton)



Photographie 46 : Ouvrage de type 4 (Passage inférieur avec revêtement stabilisé)



Photographie 47 : Ouvrage de type 5 (Buse hydraulique sur la LGV Est Européenne)



Photographie 48 : type 6 (Section courante - dans notre cas avec une coulée visible)

	LC Franche-Comté	LC Rhône-Alpes	LGV Lorraine	LGV Bourgogne
Type 1	2 ponts	2 ponts	1 pont	3 ponts
Type 2	1 pont	2 ponts	3 ponts	2 ponts
Type 3	2 portiques	2 portiques	2 portiques	2 dalots
Type 4	2 portiques	2 portiques	2 portiques	2 portiques
Type 5	2 dalots	1 dalot et 1 buse	2 buses	1 dalot et 1 buse
Type 6	2 passages sur la voie ferrée dont 1 coulée bien marquée	<i>Pas de mise en oeuvre</i>	2 coulées et 1 passage à faune	2 coulées passant sous un grillage

Tableau 6 : Descriptif des types d'ouvrages choisis par tronçon pour la faune terrestre

N° ouvrage	Type	PS/PI	Voie / cours d'eau franchi	Hauteur (m) ou Largeur (m) pour les PS	Revêtement	Commentaire obstacles
5	Portique	PI	Chemin forestier	4	Stabilisé	
6	Dalot	PI	Ruisseau	1,2	Pierre	
8	Pont	PS	RD12	7,8	Enrobé	Trottoirs et glissières
9	Pont	PS	RD441	7	Enrobé	Trottoirs et glissières
11	Cadre	PI	Chemin agricole	3,5	Stabilisé	Dérangement (feux, déchets)
17	Portique	PI	Chemin agricole	4,8	Stabilisé	
18	Portique	PI	RD48	3,7	Enrobé	
19	Pont	PS	Chemin agricole	4,6	Stabilisé	
23	Dalot	PI		1,3	Pierre	
La croix caboulet	Section courante					
Bois d'Orbège sud	Section courante					

Tableau 7 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne classique Franche-Comté

N° ouvrage	Type	PS/PI	Voie / cours d'eau franchi	Hauteur (m) ou Largeur (m) pour les PS	Revêtement	Commentaire obstacles
3	Portique	PI	Route	4,3	enrobé	trottoirs
5	Portique	PI	Temporaire	2,5	terre battue	clôture barbelée (côté ouest)
7	Pont	PS	Route	3,5	enrobé	glissières sécu et barrières
11	Pont	PS	Route	3	enrobé	/
13	Pont	PS	Route	3	enrobé	/
19	Portique	PI	Chemin	2,5	Stabilisé	/
20	dalot	PI	Temporaire	1	béton	/
24	Buse	PI	Temporaire	0,6	béton	/
29	Dalot	PI	cours d'eau	2,5	Vase	clôture barbelée (côté ouest)
32	Pont	PS	RD 28a	4	enrobé	glissières sécu et barrières
35	Dalot	PI	cours d'eau	2	Béton	/

Tableau 8 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne classique Rhône-Alpes

N° ouvrage	Type	PS/PI	Voie / cours d'eau franchi	Hauteur (m) ou Largeur (m) pour les PS	Revêtement	Commentaire obstacles
1	Pont	PS	Route	4,35	Enrobé	Trottoir, glissière
3	Portique	PI	Route	5	Enrobé	Trottoirs
18	Pont	PS	Route	7,55	Enrobé	Trottoir, glissière
22	Pont	PS	D 28	10	Enrobé	Trottoir, glissière
36	Portique	PI	Chemin agricole	4,8	Terre battue	/
48	Portique	PI	Route forestière	4,5	Enrobé	/
51	Buse	PI	Ouvrage de décharge	0,8	Béton	/
66	Portique	PI	Chemin	4	Terre battue	Eau
67	Buse	PI	Ouvrage de décharge	0,8	Béton	/
72	pont	PS	Route agricole	8	Enrobé	Trottoir, glissière, GBA
Bois de Vigneulles	Section courante					<i>Sous grillage</i>
proche ouvrage 37 (buse)	Section courante					<i>14 à 25 cm entre les barres situées sous grillage</i>
PSSF	Section courante	PS		11		<i>Etudié sur 28 jours (juin 2013)</i>

Tableau 9 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne nouvelle LGV en Lorraine

N° ouvrage	Type	PS/PI	Voie / cours d'eau franchi	Hauteur (m) ou Largeur (m) pour les PS	Revêtement	Commentaire obstacles
2	Dalot	PI	route	2,5	béton	/
12	Dalot	PI	cours d'eau	2	Béton	Sortie bétonnée en forte pente
14	pont	PS	route	6	enrobé	/
15	Buse	PI	cours d'eau	1,5	Béton	/
17	portique	PI	chemin	3,5	stabilisé	/
20	pont	PS	D 980	10	enrobé	/
23	pont	PS	D 117c	10	enrobé	/
26	portique	PI	passage	2,5	terre battue	/
31	pont	PS	route	6	enrobé	/
34	pont	PS	D 977 bis	10	enrobé	/
35	Dalot	PI	passage	2,5	Béton	Canalisation ouvert entrée E (trou). Fossé avec buse entrée O
Fossé (proche ouvrage 20)	Section courante					Sous grillage
Forêt de Thoisy (entre 35 et 36)	Section courante					Sous grillage

Tableau 10 : Descriptif des types d'ouvrages choisis sur la ligne nouvelle LGV en Bourgogne



Photographie 49 : Buse : Ouvrage circulaire de taille très variable



Photographie 50 : Type Dalot : Ouvrage hydraulique arrondi ou carré maçonné avec une margelle en béton



Photographie 51 : Ouvrage maçonné en béton de taille importante permettant le passage de véhicules



Photographie 52 : Pont supérieur

Par saison (printemps, été, automne, hiver), chaque ouvrage a été suivi pendant 28 jours consécutifs afin de permettre à la faune de s'habituer à la présence des APF, de mai 2012 à juin 2013. Quatre APF étaient installées en permanence sur chaque tronçon ferroviaire. Chaque mois, les APF étaient déplacés permettant ainsi de suivre les 12 ouvrages tous les 3 mois, soit 1 mois par saison.

Au niveau des ouvrages, les APF ont été disposés généralement à environ 1 m de hauteur et dirigés vers l'intérieur. L'appareil a été positionné de manière à avoir la vue la plus profonde de l'ouvrage avec une distance entre 0 et 5 m de l'endroit où se déplace la faune terrestre (jusqu'à 10 m). Pour une meilleure identification, les APF ont été placés de manière à prendre les animaux de face, c'est-à-dire orientés dans l'axe de déplacement.

Au total sur l'ensemble des 4 tronçons étudiés, 42 ouvrages et 4 sections courantes ont été suivis sur 4 mois durant un cycle annuel.

A chaque changement d'appareils, les photographies étaient transférées vers un ordinateur portable puis ensuite stockées sur un serveur. Par la suite, les photographies ont été triées en formant trois dossiers selon les exemples ci-dessous (un dossier pour la faune, un pour la fréquentation humaine et un autre regroupant les photos non classables – déclenchements aléatoires liés au vent, à la pluie, développement de la végétation, etc).

Photographies suivantes de l'ouvrage n°11 (passage inférieur d'un chemin agricole)
sur la ligne classique Franche-Comté



Photographie 53 : Exemple de photo pertinente pour la faune



Photographie 54 : Exemple de photo lié à la fréquentation humaine



Photographie 55 : Exemple de photo inutilisable

Les photos correspondant à la faune sauvage ont ensuite été chargées sur le logiciel « MapView Professional » fourni avec les appareils Reconyx. Ce logiciel permet de visionner les photographies à une vitesse très élevée, de sélectionner les images voulues et d'y étiqueter un certain nombre de renseignements.

Dans le cadre du projet Trans-Fer, les appareils ont été programmés pour prendre plusieurs photos à chaque passage devant la barrière infrarouge (série de 3 ou 5 photos selon les modèles). A noter que l'appareil peut se déclencher à l'infini tant qu'il y a des mouvements. Lors du dépouillement, chaque séquence identifiée comme étant un évènement photographique a été comptabilisée pour un passage.

Une séquence se caractérise par une suite d'images continues dans le temps représentant un même évènement photographique. Une même séquence se compose d'images prises sur un intervalle de moins d'une minute. Si l'écart entre deux images dépasse une minute, la deuxième est considérée comme appartenant à une nouvelle séquence (soit un nouvel évènement).

Puis, pour chaque séquence, la saisie des données a été réalisée sur le logiciel « MapView Professional » (cf. photographie 56) avec systématiquement les éléments suivants :

- **La détermination de l'espèce**
- **Le comportement de l'espèce face à l'ouvrage :**
 - Fréquentation des abords (l'individu fait des allers/retours devant l'ouvrage)
 - Tentative de traversée (lorsque l'individu essaye de passer au niveau de l'ouvrage mais ne traverse pas. Dans la plupart des cas, il cherche à passer sur les côtés de l'ouvrage)
 - Traversée avérée (lorsque l'individu passe dans l'ouvrage et ne ressort pas)



Photographie 56 : Capture d'écran du référencement des photos

- **La présence d'eau selon plusieurs niveaux**
 - Pas d'eau
 - Débit faible avec de l'eau partout
 - Débit fort avec de l'eau partout
 - Faible filet d'eau avec une partie exondée

Cette méthode a été répétée sur l'ensemble des photos de chaque tronçon et à toutes les saisons.

A l'aide du logiciel SQL Server Management Studio, toutes les informations présentes sur le logiciel RECONYX ont été récupérées sous format « xlsx », soit un total de six fichiers Excel. Ces fichiers ont ensuite été importés sous Access et utilisés pour l'analyse des données.

Pour chaque fichier Excel, les informations suivantes ont été collectées :

- La première table fait référence aux photos. Toutes les caractéristiques de la photographie y sont référencées (nom de l'image, la date et l'heure de création de la photo, la température, etc.) ;
- La deuxième table renseigne sur les informations rentrées sous le logiciel MapView Professional, à savoir le nom de l'espèce, le comportement de l'animal et l'éventuelle présence d'eau ;
- Une table « fiche ouvrage » a été créée. Elle fait référence aux différentes caractéristiques des ouvrages telles que l'occupation du sol de part et d'autre de l'ouvrage, le type d'ouvrage (1, 2, 3, 4, 5 ou 6), le nom du tronçon (exemple : LCFC 06), la longueur, hauteur et largeur de l'ouvrage, etc ;
- Les autres tables présentes pour cette requête servent de lien entre les deux premières tables et la table créée « fiche ouvrage ».

Suite à la requête, les différentes informations nécessaires à l'analyse des données ont été récupérées sous un fichier Excel.

3.2.3.2. Sélection des ouvrages et protocole de suivi par enregistrement ultrasonore

Au regard du repérage réalisé sur l'ensemble des tronçons étudiés et des caractéristiques des ouvrages identifiés, 87 ouvrages ou secteurs répartis sur les 4 tronçons ferroviaires (cf. tableau 11 & figures 57 à 60) ont été choisis :

- 54 passages inférieurs :
 - Buses ou Dalots de petite dimension (inférieurs à 2 m),
 - Dalots ou Cadres de dimension entre 2-3 m de hauteur,
 - Portiques – dimension inférieur à 5 mètres,
- 21 passages supérieurs (routiers ou mixtes).

À titre expérimental, 12 sections courantes ont aussi été étudiées à partir des diagnostics de terrain (présence de haie, etc.). Ces ouvrages ont été répartis sur l'ensemble des 4 tronçons en fonction du type recherché et des possibilités techniques de suivi.

Le suivi par détecteur d'ultrasons automatisé (SM2BAT+) sur chaque ouvrage ou secteur a été réalisé sur une durée consécutive d'une nuit lors de 3 périodes d'activité des chauves-souris (printemps, été, automne).

	LC Franche-Comté	LC Rhône-Alpes	LGV Lorraine	LGV Bourgogne
Buses ou dalots < 2 m	3 ouvrages	7 ouvrages	11 ouvrages	3 ouvrages
Dalots ou Cadre de dimension entre 2-3 m de hauteur	2 ouvrages	9 ouvrages	1 ouvrage	4 ouvrages
Portique – dimension inférieur à 5 mètres	2 ouvrages	2 ouvrages	5 ouvrages	5 ouvrages
Passages supérieurs	5 ponts	3 ponts	5 ponts	8 ponts
Sections courantes	4 secteurs	3 secteurs	1 secteur	4 secteurs

Tableau 11 : Descriptif des types d'ouvrages choisis par tronçon pour les chiroptères

3.2.3.3. Intérêts et limites méthodologiques

L'intérêt de ces méthodes passives par des suivis photographiques et enregistrements ultrasonores est d'appréhender l'attractivité pour la faune terrestre ou volante et la fonctionnalité de chaque type d'ouvrage ainsi que l'influence de leurs caractéristiques techniques.

Les espèces sont identifiées et dénombrées afin de pouvoir comparer les résultats entre les différents types d'ouvrage. Néanmoins, les conditions climatiques (pluie, température, saison, etc), le dérangement (chasse, etc.), les modifications autour de ces ouvrages (coupe forestières, entretien des talus, etc.) lors de ces relevés influencent logiquement l'activité et les déplacements des individus.

Enfin, la détermination des photographies et des séquences ultrasonores n'a pu être systématiquement réalisé au vu des limites de sensibilité des appareils (souci de déclenchement pour des espèces de faune terrestre plus petite que la taille d'un lapin, largeur des ouvrages, etc.), de la vitesse de passage des individus devant les appareils ou de la difficulté d'aboutir à la détermination fiable à l'espèce. Cette limite ne permet pas d'affirmer que certaines espèces, notamment pour les petites espèces (Hérisson...) sont absentes ou ne franchissent pas certains types d'ouvrages. La comparaison de fréquentation entre les ouvrages est donc à interpréter avec précautions. Par ailleurs, il est à noter que la détection des espèces sur les sections courantes ou le long des voies est plus difficile, les animaux n'étant pas canalisés par les ouvrages, ce qui fait que les décomptes sont probablement sous-estimés par rapport aux passages supérieurs ou inférieurs.

Pour certaines photographies ou séquences ultrasonores, les déterminations n'ont pu être réalisées que jusqu'au niveau du genre (ex. : *Martes* sp., *Myotis* sp.).

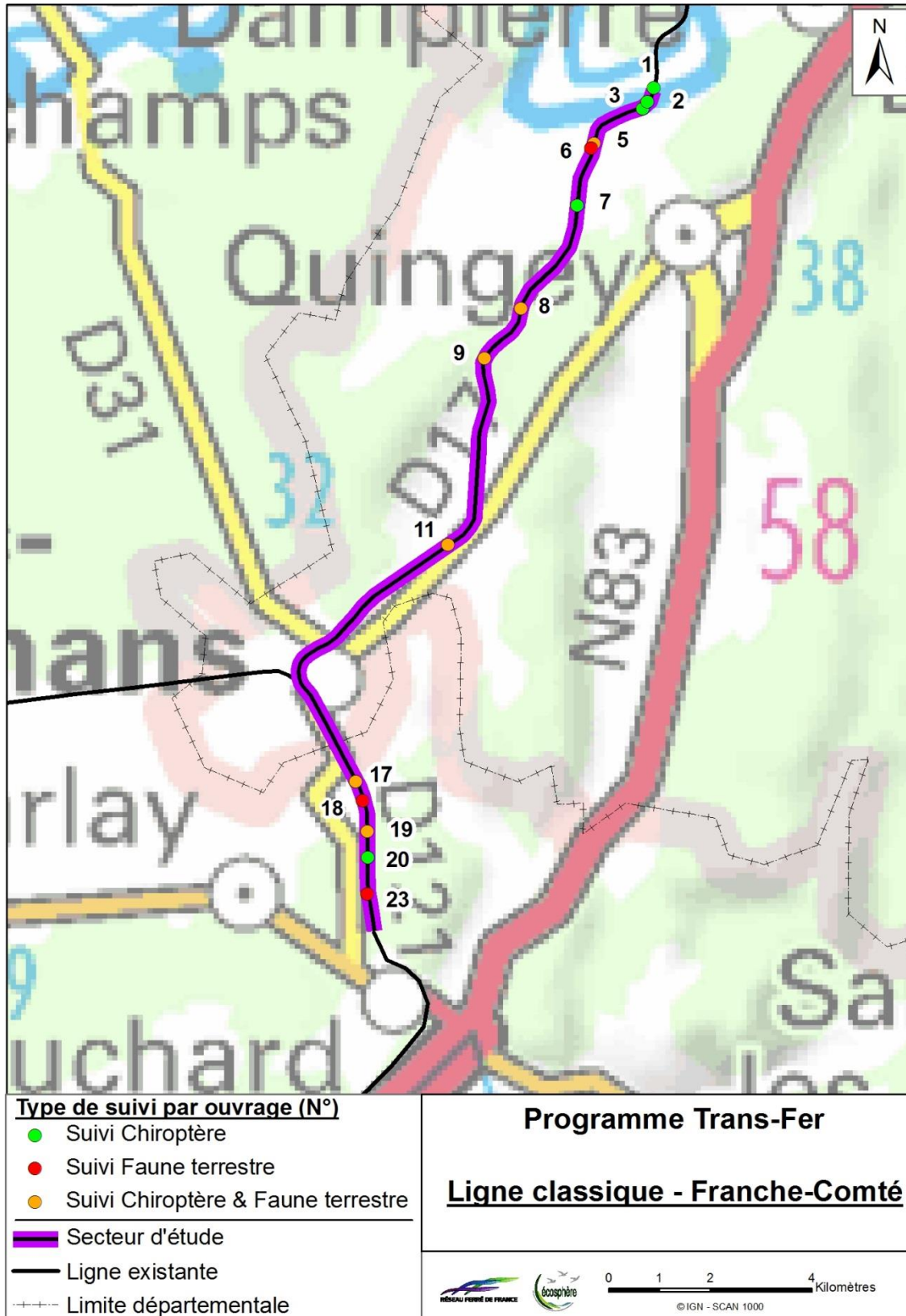


Figure 57 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne classique en Franche-Comté

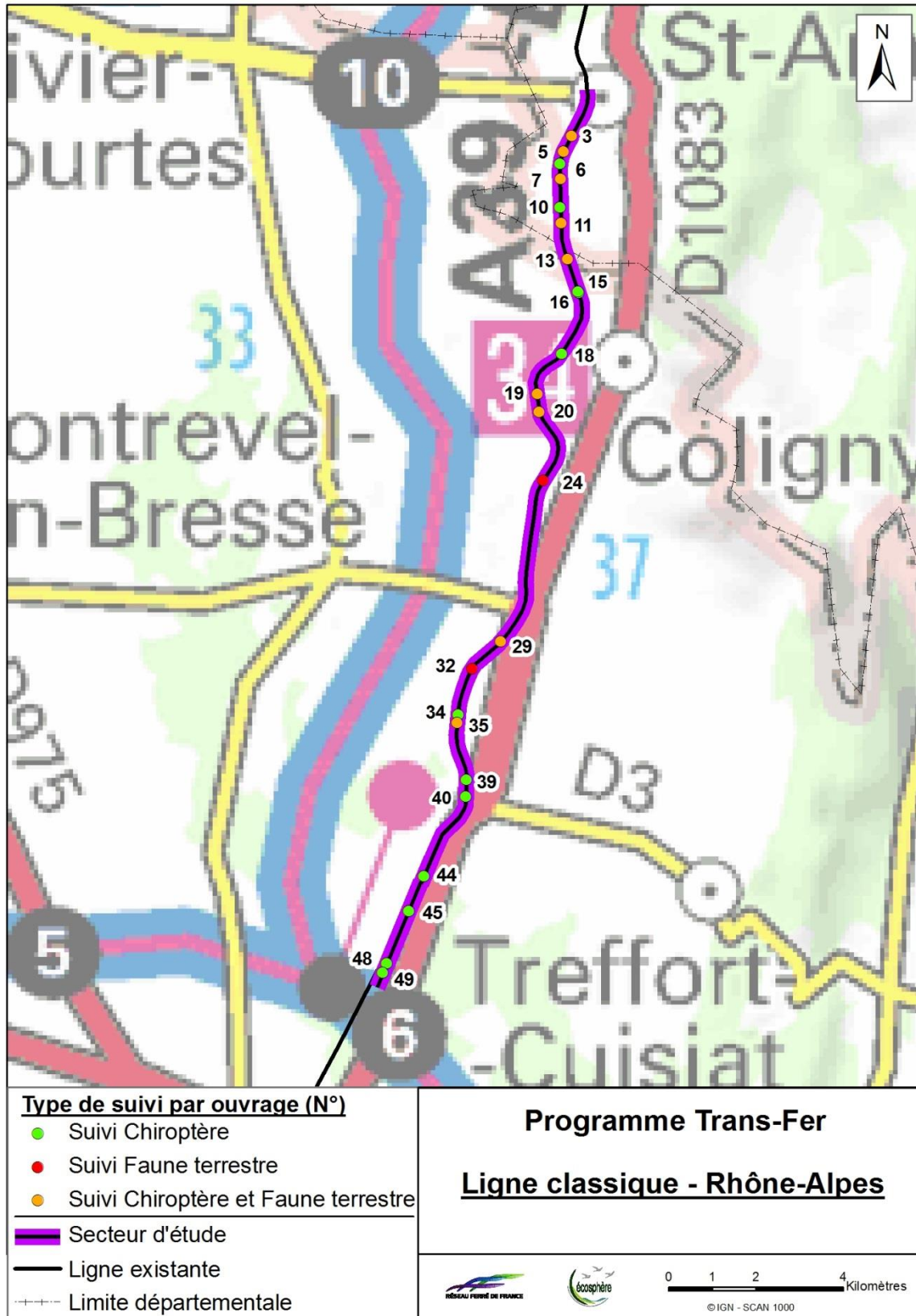


Figure 58 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne classique en Rhône-Alpes

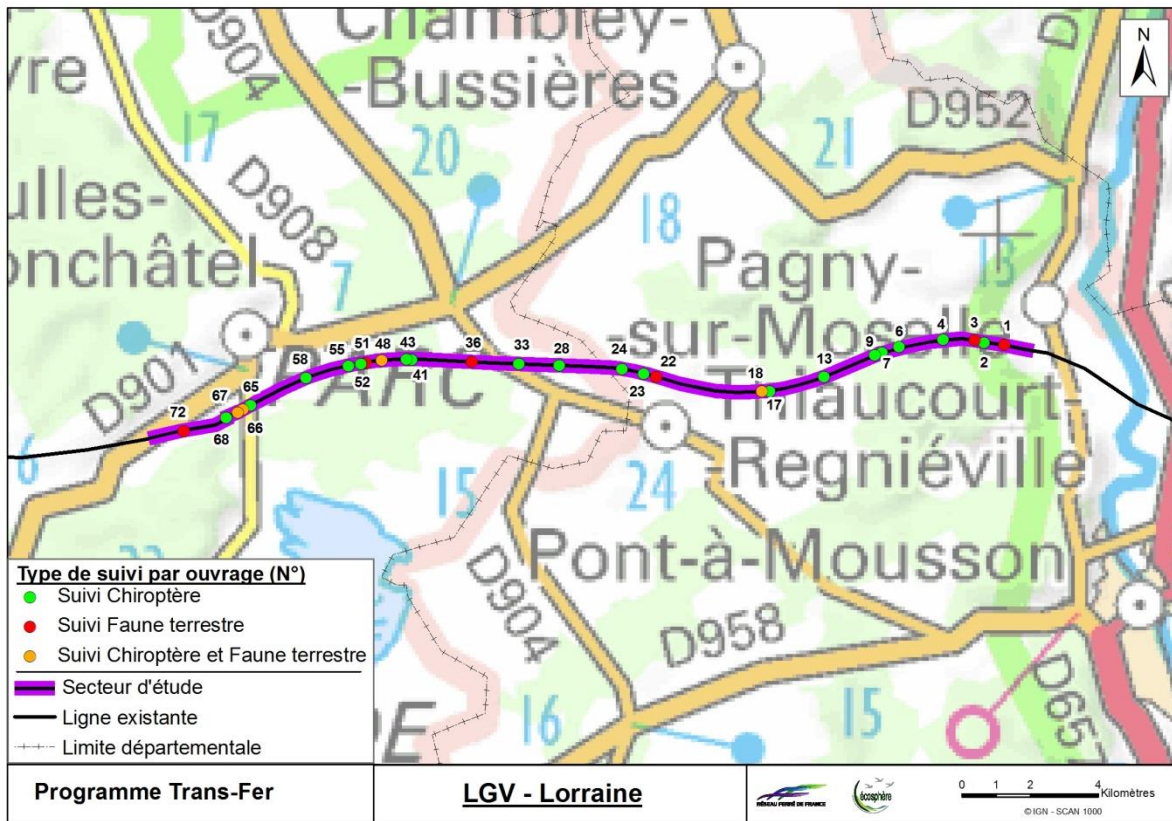


Figure 59 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

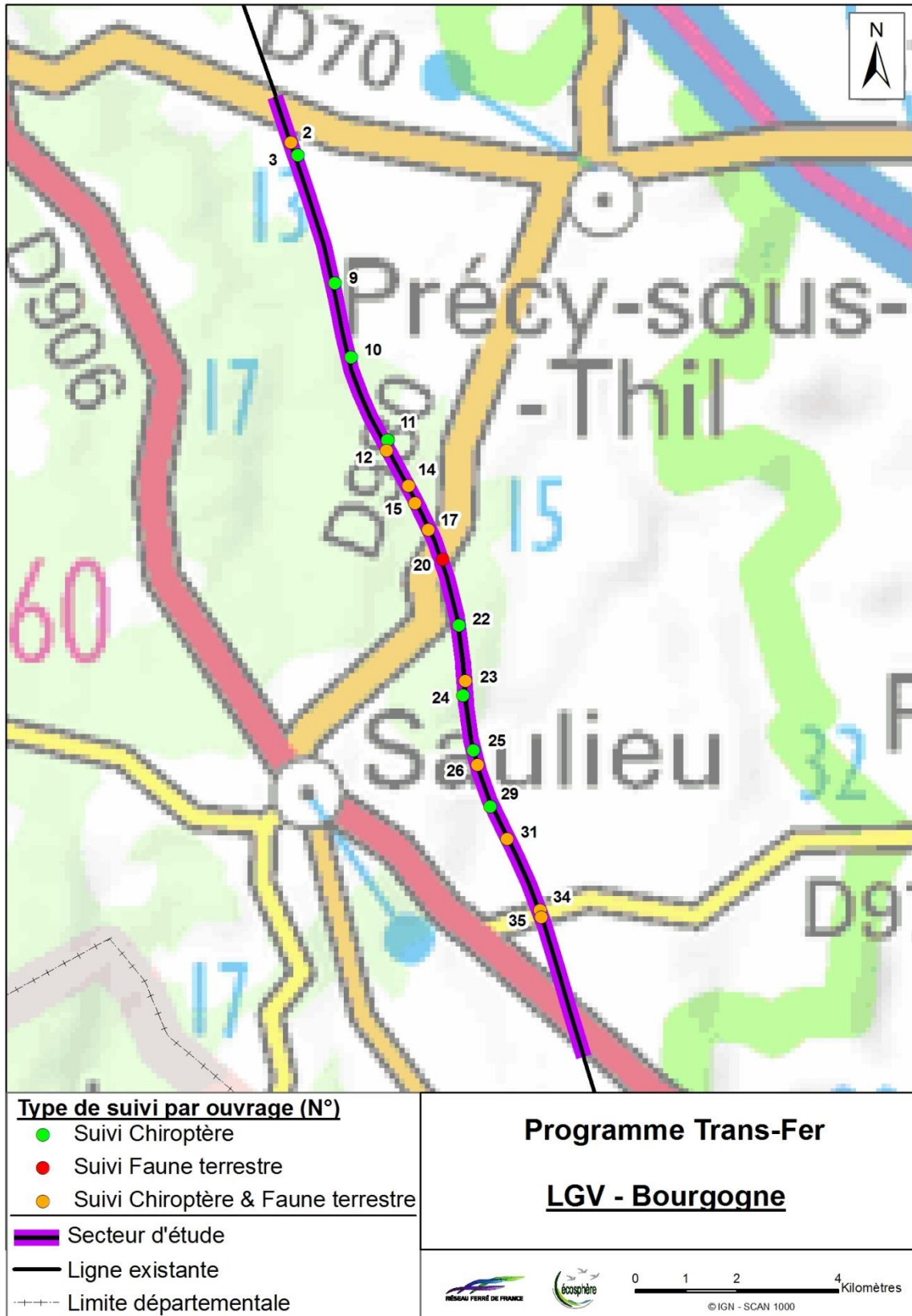


Figure 60 : Localisation des différents ouvrages suivis sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

Les chiffres clefs

- ***Espèces suivies :***
 - *Par technique génétique (un amphibien : la salamandre tachetée ; un papillon : le Myrtil ; deux espèces de coléoptères : la Féronie noire et le Carabe des bois) ;*
 - *Suivi photographique : les mammifères terrestres (Hérisson, grands rongeurs, lagomorphes, carnivores, sanglier et cervidés) ;*
 - *Suivi acoustique : les chiroptères.*
- ***72 sites de prélèvements pour les 3 espèces suivies par technique génétique ;***
- ***Environ 30 individus prélevés par espèce et par site pour la technique génétique ;***
- ***217 ouvrages d'arts identifiés sur les 4 tronçons ;***
 - *88 ouvrages non dédiés à la faune suivis sur les 4 tronçons pour la fréquentation des mammifères terrestres et/ou des chiroptères ;*
 - *22 sections courantes étudiées pour la fréquentation des mammifères terrestres et/ou des chiroptères*
- ***5376 jours de suivis par des Appareils Photographiques Faune.***
- ***250 nuits de suivis par des détecteurs automatiques SM2Bat+ (Wildlife Acoustic).***

4. RÉSULTATS



4. Résultats

4.1. Les résultats du protocole de génétique du paysage

4.1.1. Résultats des prélèvements

Les échantillons de l'ensemble des espèces prélevées ont suivi un processus commun après leur récolte sur le terrain :

- rassemblement des Eppendorfs dans des sacs de congélation par site, voire par localité puis par site ;
- stockage de ces sacs au froid (réfrigérateur ou congélateur selon disponibilité) ;
- envoi des Eppendorf à la Station d'Écologie Expérimentale du CNRS de Moulis. Les envois de colis ont été faits avec suivi postal. Par ailleurs, chaque expédition a été signifiée par mail à la station écologique afin de prévenir de l'arrivée d'échantillons pour ainsi corriger les éventuels aléas liés au conditionnement et à l'envoi postal et réduire dans tous les cas au maximum les délais ;
- informatisation des données sous le logiciel Qgis (Quantum GIS (version 1.8.0 'Lisboa') 2012) selon le système de coordonnées projetées UTM31N (WGS84)) permettant d'exporter ensuite des cartes de prélèvements et des tables attributaires.

Au total, ce sont ainsi plus de 2 200 échantillons qui ont été récoltés, stockés et informatisés (cf. tableau 12).

Zone d'étude	Espèce	Nombre d'individus échantillonnés
Franche-Comté	<i>Salamandra salamandra</i>	156
	<i>Maniola jurtina</i>	177
	<i>Abax parallelepipedus</i>	189
Rhône-Alpes	<i>Salamandra salamandra</i>	171
	<i>Maniola jurtina</i>	179
	<i>Abax parallelepipedus</i>	180
Total Lignes classiques		1 052
Lorraine	<i>Salamandra salamandra</i>	184
	<i>Maniola jurtina</i>	180
	<i>Abax parallelepipedus</i>	257
Bourgogne	<i>Salamandra salamandre</i>	157
	<i>Maniola jurtina</i>	174
	<i>Abax parallelepipedus</i>	200
Total Lignes nouvelles (LGV)		1 152

Tableau 12 : Bilan de l'échantillonnage par zones d'étude et par espèces

4.1.1.1. La Salamandre tachetée

L'échantillonnage de la Salamandre s'est déroulé de mars à avril 2013, en lien avec le cycle de reproduction de l'espèce.

Le tableau 13 détaille le bilan quantitatif et les localisations des échantillonnages de l'espèce par zone d'étude. Les détails par site de prélèvements sont précisés dans le rapport du MNHN en annexe 7.1.

Espèce	Zone d'étude	Échantillons	Total LC et LGV	Total
<i>Salamandra salamandra</i>	Franche-Comté	156	327	668
	Rhône-Alpes (Ain)	171		
	Lorraine	184	341	
	Bourgogne	157		

Tableau 13 : Bilan de l'échantillonnage de la Salamandre tachetée par zones d'étude

4.1.1.2. Le Myrtil

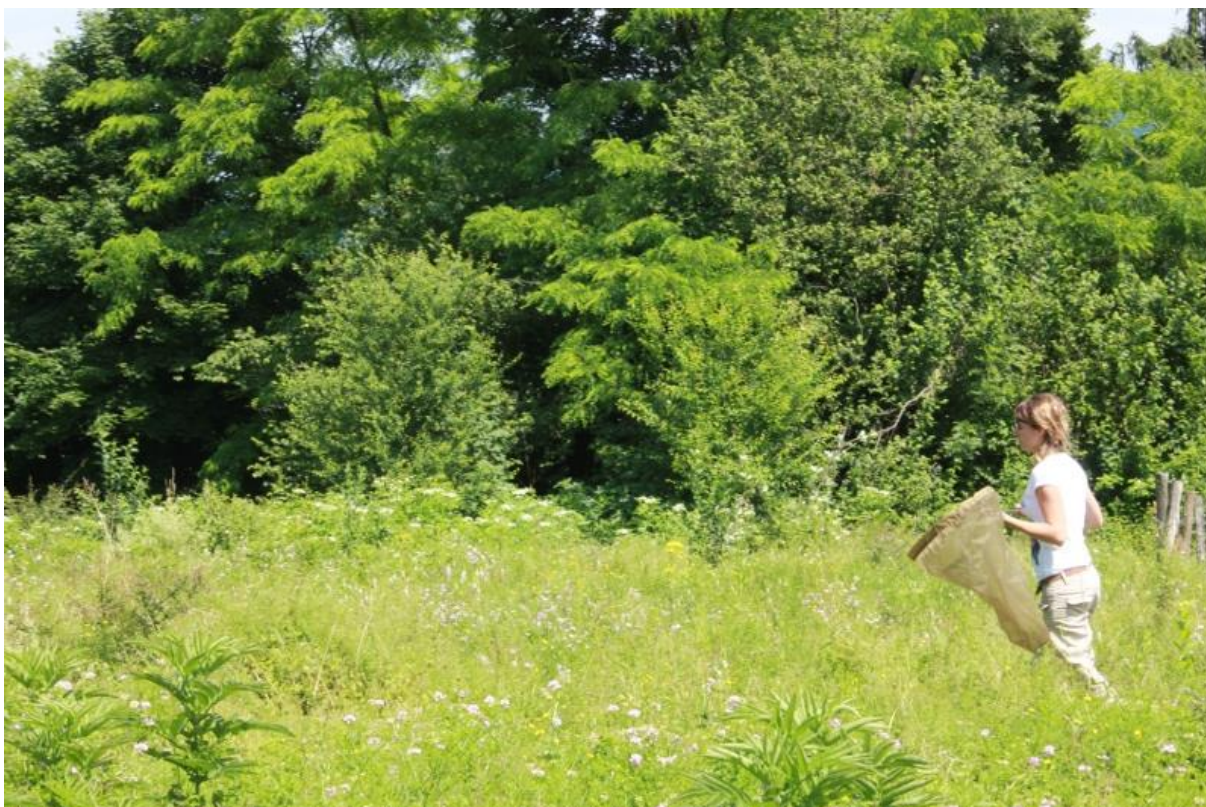
L'échantillonnage du Myrtil s'est étendu de juin à août 2013. Compte tenu de la météo défavorable en 2013, les premiers individus de Myrtil ont été observés début juillet. Les prélèvements ont ainsi été effectués :

- en juillet pour la Bourgogne,
- en août pour la Lorraine.

Le tableau 14 détaille le bilan quantitatif et les localisations des échantillonnages de l'espèce par zone d'étude. Les détails par site de prélèvements sont précisés dans le rapport du MNHN en annexe 7.1.

Espèce	Zone d'étude	Échantillons	Total LC et LGV	Total
<i>Maniola jurtina</i>	Franche-Comté	177	356	710
	Rhône-Alpes (Ain)	179		
	Lorraine	180	354	
	Bourgogne	174		

Tableau 14 : Bilan de l'échantillonnage du Myrtil par zones d'étude



Photographie 61 : Prospections au filet à papillon pour l'échantillonnage du Myrtil - Conruyt G., 2013

4.1.1.3. Les coléoptères

Le tableau 15 détaille le bilan quantitatif et les localisations des échantillonnages pour la Féronie noire par zone d'étude. Les détails par site de prélèvements sont précisés dans le rapport du MNHN en annexe 7.1.

En revanche, pour le Carabe des bois, *Carabus nemoralis*, les prélèvements se sont révélés trop limités ne permettant pas de poursuivre l'étude génétique à partir des échantillons collectés (cf. 4.1.1.4).

Espèce	Zone d'étude	Échantillons	Total LC et LGV	Total
<i>Abax parallelepipedus</i>	Franche-Comté	189	369	826
	Rhône-Alpes (Ain)	180		
	Lorraine	257	457	
	Bourgogne	200		

Tableau 15 : Bilan de l'échantillonnage de la Féronie noire par zones d'étude

4.1.1.4. Intérêts et limites méthodologiques

Ce que nous avons entrepris pour considérer du mieux que nous pouvions les questions éthiques qui se posent inévitablement dans un tel protocole. De fait, un protocole de prélèvement constitue une perturbation pour les individus et les populations des espèces ciblées. Conscient de ne pouvoir éviter cet impact, nous avons néanmoins essayé de le minimiser en considérant un certain nombre de points de méthode et de critères éthiques :

- Le choix d'espèces en priorité non protégées et non menacées nationalement et régionalement ;
- Des espèces choisies communes, à effectifs abondants et à cycle de vie rapide pour diminuer au maximum les impacts des prélèvements sur les populations ;
- Une méthode de prélèvement non létale choisie dès que possible ;
- Une capture et une manipulation des animaux avec le plus de respect possible (coupure propre de la patte ou de la queue ; conservation des larves dans un seau dans l'attente du prélèvement, maintien du papillon entre les doigts sans pression excessive...) ;
- Des moyens de captures et de piégeages doux et non létaux (pièges pitfall sans attractif légal et avec diamètre minimisant la capture de micromammifères et amphibiens, filet à papillon, épuisette) ;
- Des dispositions pour minimiser les risques de transmissions de pathogènes entre sites échantillonnés (nettoyage des bottes au Zirkon, rinçage des outils dans un bain de javel entre deux prélèvements) ;
- Un temps de manipulation le plus court possible et dans les conditions les plus appropriées (environnement aqueux par exemple pour les larves de Salamandre) ;
- Des animaux tous relâchés sur le lieu du ramassage dans l'habitat d'origine lorsque le protocole n'est pas légal ;
- Une fermeture des pièges entre sessions de terrain plutôt courtes dans la mesure du possible pour éviter tout risque de piégeage d'autres espèces. Des passages réguliers sur les sites de piégeages et un relâché immédiat des espèces non souhaitées trouvées dans les pièges. Le déterrage par sangliers et sans doute chevreuil, attirés par la pomme, s'est révélé fréquent. A chaque contrôle, le nombre de piège était vérifié par rapport au nombre du contrôle précédent afin d'éviter au maximum les pertes de bouteille dans la nature. Une fois la période d'échantillonnage terminée, les pièges ont été retirés puis recyclés.

Confrontation à la réalité du terrain

Force est de constater que la présence des espèces et des milieux recherchés ont bien souvent été le point de départ au choix des sites d'échantillonnage, relayant en second plan le respect des distances mis en avant par le protocole initial du laboratoire génétique. D'autres paramètres tels que les conditions météorologiques ou l'accessibilité des sites ont été des facteurs contraignants.

Besoin de collaboration étroite avec le laboratoire d'analyses

Au regard de notre expérience, nous insistons sur la nécessité d'une collaboration étroite et constante dans ce type de démarche, entre les personnes qui effectuent l'échantillonnage sur le terrain et le laboratoire qui réalisera ensuite les analyses génétiques. C'est un enseignement riche

pour une reproduction ultérieure du protocole, par exemple dans le cadre du projet Trame verte et bleue.

Commentaires par espèce

Échantillonnage de la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*)

Le faible nombre d'échantillons fournis par la Franche-Comté s'explique entre autres par une météo plutôt défavorable pour l'espèce ce printemps 2013 (températures négatives, neige). Les salamandres ne se déplaçant que durant les nuits douces (8 à 14°C) et humides (Bellenoue et al., 2006), il a été difficile de rencontrer des adultes, et la reproduction de l'espèce a été retardée dans la saison, limitant le temps disponible pour la collecte de larves.

Par ailleurs, nous avons eu des difficultés à trouver des sites favorables de manière à ce que la distance entre deux prélèvements de part et d'autre de la voie ferrée soit comparable à celle entre deux populations situées d'un même côté de la voie ferrée. Des contraintes liées aux éventuelles perturbations des milieux urbanisés et à la présence de routes fortement fréquentées ont également été rencontrées. Nous avons cependant pu échantillonner de 23 à 30 individus par site sauf pour le site n°2 de cette région qui, malgré nos efforts de prospection, n'a pu fournir que 17 échantillons. Si le protocole théorique de prélèvement des échantillons d'ADN a été relativement respecté, c'est l'occupation du sol et la proximité d'infrastructures de transport qui ont été les facteurs dominant dans le choix des sites en Franche-Comté.

En Rhône-Alpes, des conditions météorologiques plus favorables nous ont rapidement permis de capturer un plus grand nombre d'individus. Cependant l'occupation du sol et la proximité d'infrastructures de transport étant plus contraignantes encore qu'en Franche-Comté ce sont ces facteurs qui ont dominé le choix des sites.

En Lorraine, l'échantillonnage de cette espèce a également été contraint par la concentration des boisements sur la zone d'étude présents au sein quasiment d'un unique massif forestier, à l'Ouest. L'espèce s'est révélée absente des autres forêts présentes à l'est de la zone d'étude. Dans le bois de l'ouest, choisi pour l'échantillonnage, la Salamandre tachetée s'est montrée abondante et le quota d'individus par site a été atteint sans grande difficulté.

En Bourgogne, nous avons été étonnés de ne trouver aucune trace de Salamandre dans les grandes forêts du sud de la zone d'étude, très favorables en apparence. Par ailleurs, dans les autres massifs boisés choisis pour l'échantillonnage, le quota a été difficile ou impossible à atteindre, vraisemblablement en raison des effectifs réduits dans les milieux prospectés. La présence de la Salamandre tachetée dans ces forêts bourguignonnes ne semble donc pas être systématique, ni caractérisée par des populations abondantes.

Globalement, l'échantillonnage de la Salamandre tachetée a été une partie lourde du travail de terrain du fait des prospections pour la plupart nocturnes, dans des conditions climatiques parfois difficiles. L'échantillonnage de cette espèce est malgré tout globalement positif et pourra être valorisé par le laboratoire.

Échantillonnage du Myrtil (*Maniola jurtina*)

Les conditions froides et humides du printemps ont repoussé légèrement la sortie de ce papillon en 2013, ce qui a entraîné plusieurs prospections infructueuses en fin du mois de juin où cette espèce peut normalement être observée. La météo ensoleillée et chaude du mois de juillet a ensuite entraîné une sortie « explosive » des individus sur un temps court. Les prélèvements ont pu se dérouler facilement à cette période en Franche-Comté et en Rhône-Alpes. En Bourgogne, le terrain a également pu se dérouler à la fin juillet, pendant que le vol était encore abondant. En Lorraine en revanche, le terrain n'a pu être effectué qu'au début du mois d'août, alors que la période de vol commençait à sérieusement décliner. C'est principalement pour cette raison que le quota d'individus n'est pas systématiquement atteint pour tous les sites de cette région. L'échantillonnage de cette espèce reste globalement positif et pourra être valorisé.

Concernant l'application du protocole, celui-ci a pu être relativement bien appliqué pour cette espèce, même si cela a nécessité des recherches préalables et parfois même des changements dans les sites choisis. La présence de nombreux milieux favorables nous a permis de capturer rapidement un grand nombre d'individus en Franche-Comté et en Bourgogne. La plus faible présence de ces milieux en Rhône-Alpes, ainsi qu'en Lorraine, nous a tout de même obligé à étendre nos recherches aux haies de ronciers en bordure de chemin et aux abords des villages.

Échantillonnage de la Féronie noire (*Abax parallelepipedus*) et du Carabe des bois (*Carabus nemoralis*)

Pour ces deux espèces, l'occupation du sol et la proximité d'infrastructures de transport sont les facteurs dominants dans le choix des sites suivis qui se rapprochent le plus possible du protocole prévu pour le prélèvement des échantillons d'ADN.

Sur les quatre zones d'étude, *Abax parallelepipedus* a été trouvé en grand nombre et nous avons donc pu atteindre sans aucune difficulté les quotas fixés.

En revanche, *Carabus nemoralis* s'est révélé nettement moins bien représenté en Franche-Comté, en Lorraine et en Bourgogne. C'est une des limites claires de notre campagne d'échantillonnage et plus largement de ce type de protocole d'outil génétique qui nécessite des effectifs abondants pour être exploitable. Nous ne nous attendions pas à rencontrer cette limite pour le Carabe des bois. C'est une espèce réputée courante et ce constat d'effectifs faibles reste difficile à expliquer même a posteriori. En effet, les milieux et la période de prospection sont conformes aux exigences écologiques et la pression d'échantillonnage (en temps et en nombre de pièges), la même que pour *Abax parallelepipedus*, paraît conséquente. Peut-être que les conditions météorologiques particulièrement froides et humides du printemps pourraient expliquer pour partie ces résultats. Peut-être également que le Carabe des bois est au final une espèce commune (trouvée dans de nombreuses forêts) mais localement peu abondante (effectifs limités lorsqu'elle est présente), montrant ainsi bien la différence entre ces notions souvent confondues en écologie.

4.1.2. Résultats des analyses par espèces

4.1.2.1. La Salamandre tachetée

Méta-données paysagères

Comme mentionné plus haut, l'échantillonnage des salamandres a été contraint par la disposition des habitats favorables et par la localisation des populations au sein de ces habitats. Il en résulte un certain écart par rapport au protocole initialement prévu. Notons en particulier ici une grande disparité des distances inter-sites entre les régions : ces distances sont plus importantes pour les deux LC, plus faibles autour des LGV (cf. tableau 16).

Région	Ligne	Dominante paysagère	Distance moyenne entre sites (km)	Gamme de distances entre sites (km)
Franche Comté	LC	Paysage plutôt ouvert, 3 forêts contenant chacune une paire de sites	8.373	2.473 – 15.355
Rhône-Alpes (Ain)	LC	Paysage ouvert, 2 parcelles forestières contenant chacune 2 sites, 2 autres contenant chacune un site	7.026	0.997 – 13.430
Lorraine	LGV	Paysage forestier : forêt uniforme contenant les 6 sites	1.117	0.362 – 2.065
Bourgogne	LGV	Paysage semi-forestier : forêt fragmentée contenant les 6 sites dans un même fragment	3.363	0.316 – 6.168

Tableau 16 : Méta-données paysagères pour l'échantillonnage de salamandres

Données génétiques

Loci utilisés : SE11, S3, SE5, SE8, S29, STE11, SC2, SA6II, SA6I, SC3, SG6, SE6 (12 loci)

Nombre moyen d'allèles par locus dans un site d'échantillonnage : 3.96 (écart-type=1.19) allèle/locus pour 28 individus ; gamme =1.67-7.88.

Le nombre de loci utilisables et leur polymorphisme (environ 4 allèles par locus) sont tout à fait corrects pour l'analyse envisagée ici. Aucun de ces loci ne s'écarte significativement de l'équilibre de Hardy-Weinberg à l'échelle des sites.

Hétérozygotie et F_{ST} global

Bien que le F_{ST} puisse en théorie varier entre 0 et 1, on n'observe rarement (voire jamais) de valeurs supérieures à 0.5. On considère que des valeurs comprises entre 5 et 10% sont des valeurs moyennes. Sous 5%, la structuration est considérée comme étant faible. Nos résultats indiquent donc une structuration globalement faible entre les populations de Salamandre pour l'ensemble des régions, et même quasi-nulle pour la Lorraine.

Région	Hétérozygotie observée	Hétérozygotie attendue	F _{ST} global	F _{ST} moyen par paire	Gamme des F _{ST} par paire
Franche-Comté	0.519	0.525	0.043	0.0507	0.0159 – 0.0932
Rhône-Alpes (Ain)	0.532	0.528	0.031	0.0366	0.0064 – 0.0625
Lorraine	0.574	0.581	0.002	0.0025	0 – 0.0075
Bourgogne	0.602	0.613	0.020	0.0313	0 – 0.0744

Tableau 17 : Hétérozygotie et structuration entre sites pour la Salamandre dans les 4 régions considérées

Structuration: Geneland

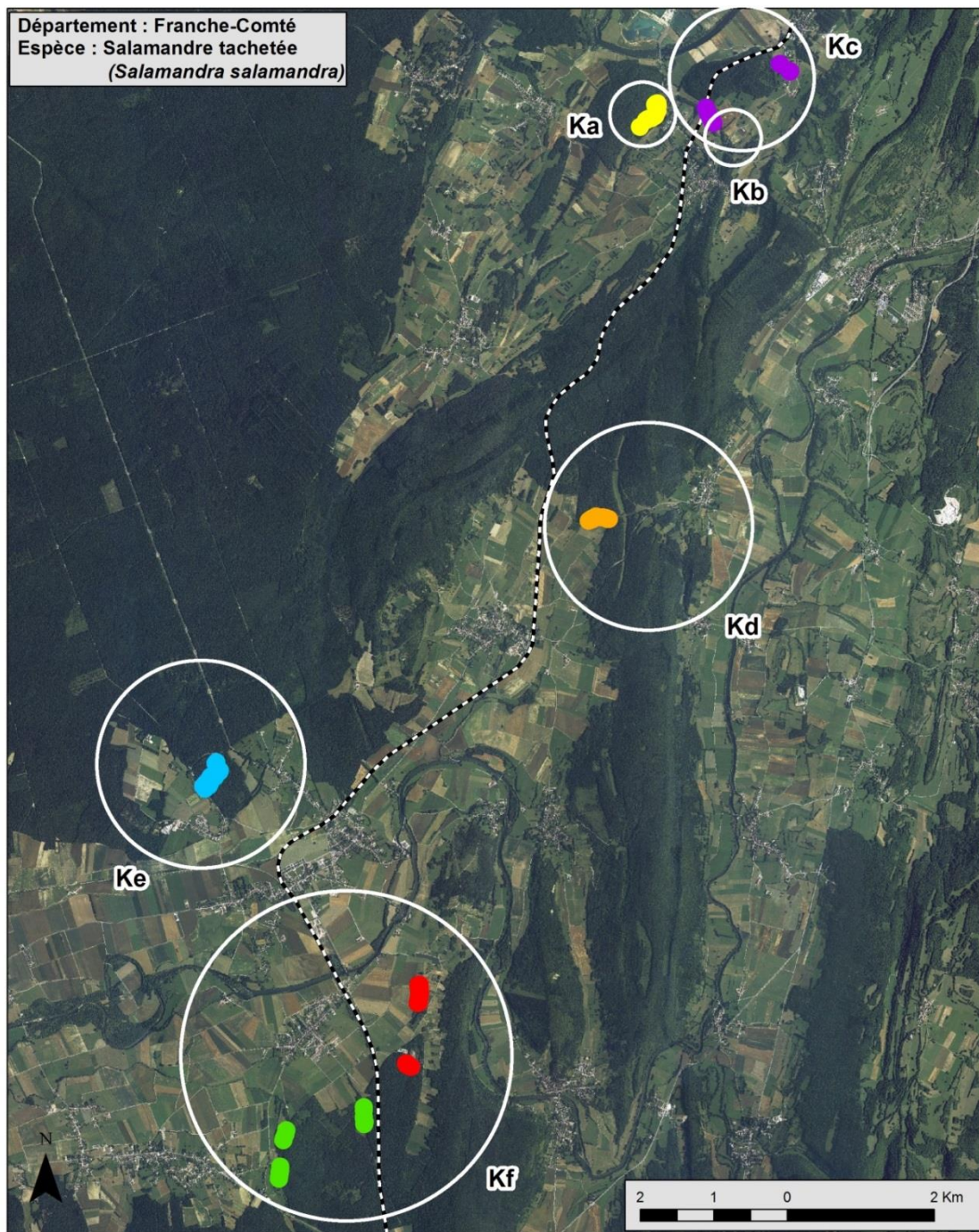
Les paramètres utilisés pour l'analyse des données génétiques de Salamandre avec Geneland sont les suivants : modèle spatial (les localisations géographiques sont considérées explicitement par le modèle), avec fréquences alléliques corrélées et allèles nuls autorisés. Pour chaque région, 3 runs indépendants de $0.5 \cdot 10^6$ itérations ont été réalisés, desquels nous avons conservé 1/500 données pour les analyses. La première moitié de ces données est éliminée (burnin) en post-traitement afin que l'analyse se concentre sur une partie plus stable des chaînes d'itération. De 1 à 10 clusters sont autorisés, et une incertitude de 100 m sur la localisation spatiale des individus est intégrée pour chaque région, qui reflète les mouvements des individus à l'intérieur de leur domaine vital. Le modèle optimise le nombre de clusters et la fréquence des allèles nuls (considérée identique dans tous les clusters).

Dans chaque région, entre 1 et 6 clusters génétiquement distincts peuvent être délimités pour les salamandres (Tableau 18). L'analyse visuelle des cartes de probabilité postérieure d'appartenance à chacun des clusters indique que dans aucun de ces cas les clusters ne sont délimités par la ligne ferroviaire (analyse résumée dans les figures 62-65). Les résultats de cette analyse montrent également un faible taux d'allèles nuls (mutation empêchant l'amplification PCR chez certains individus), comparable entre les régions.

Synthèse des résultats de Geneland

Région	Gammes des fréquences estimées d'allèles nuls, par locus	Nombre de clusters	Effet de la ligne ferrée	Autre effet suspecté
Franche-Comté	1.1 – 3.8%	6	Non	Discontinuité surfacique d'habitat
Rhône-Alpes (Ain)	0.8 – 3.7%	5	Non	Discontinuité surfacique d'habitat
Lorraine	1.2 – 5.4 %	1	Non	Aucun (surface d'habitat continu)
Bourgogne	0.9 – 4.8%	4	Non	

Tableau 18 : Synthèse des résultats de Geneland pour la salamandre



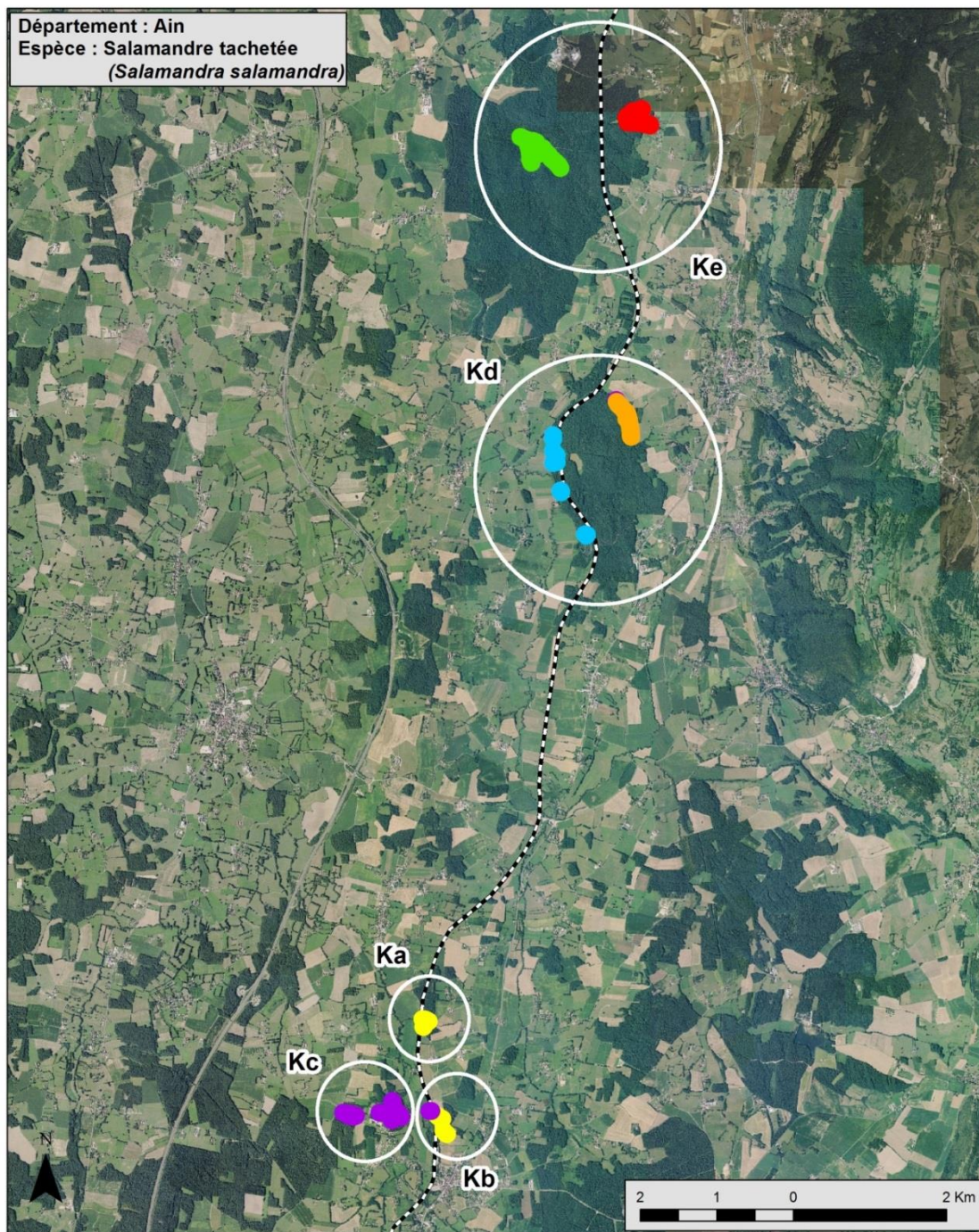
Sites de prélèvement de Salamandre tachetée

- | | | | |
|-------------------------------|--|---|----------------------------|
| Groupe génétiquement homogène | ● Site 1 (Ka : 100%) | ● Site 4 (Ke : 100%) | --- Tronçon de voie ferrée |
| | ● Site 2 (Kb : 50% ; Kc : 50%) | ● Site 5 (Kf : 100%) | |
| | ● Site 3 (Kd : 100%) | ● Site 6 (Kf : 100%) | |

Résultat : existence de 6 groupes génétiquement homogènes (Ka, Kb, Kc, Kd, Ke et Kf) dont 1 (Kf) situé de part et d'autre de la voie
Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 62 : Visualisation de la localisation des 6 clusters génétiques (Ka-Kf) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne classique en Franche Comté.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Salamandre tachetée

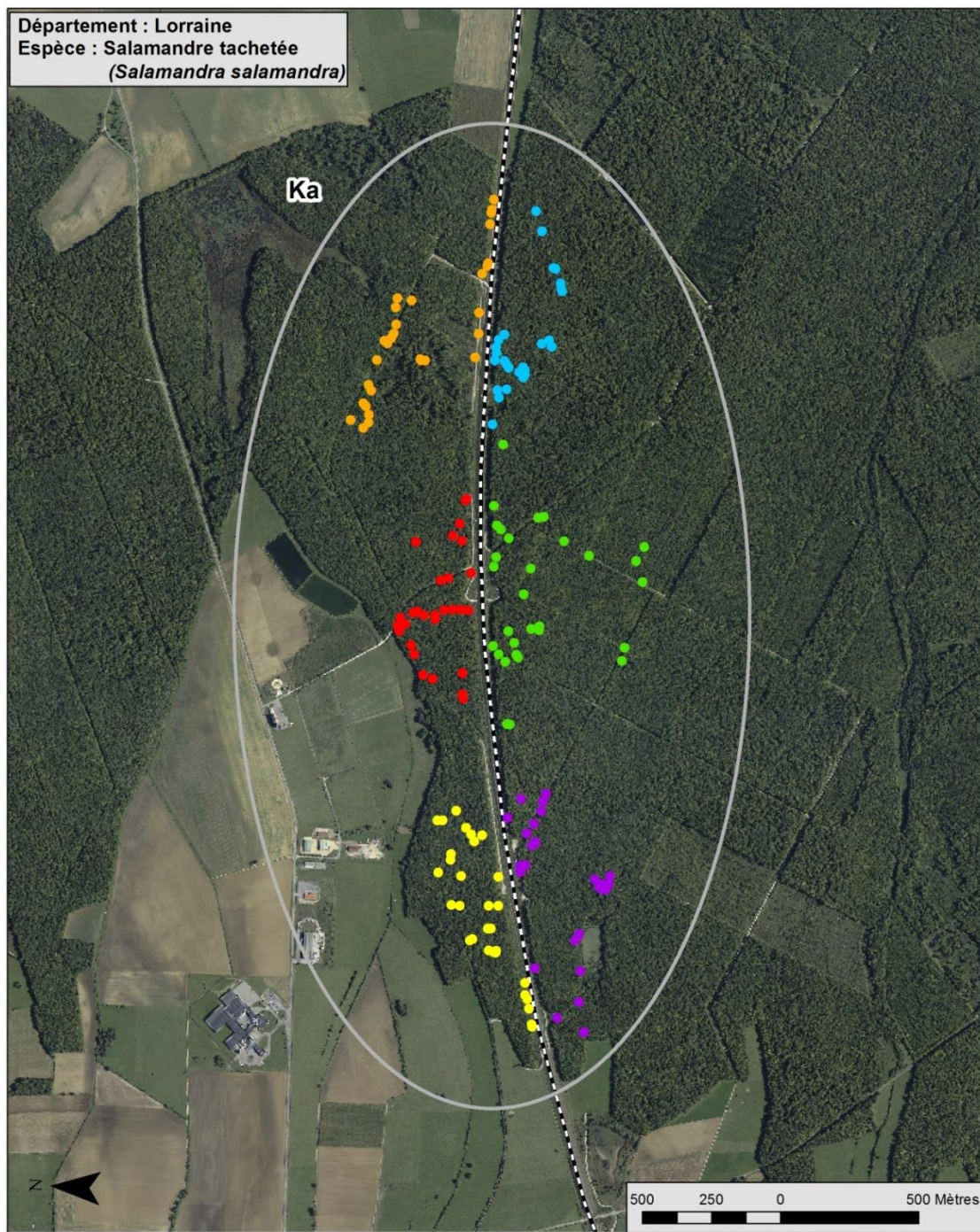


Résultat : existence de 5 groupes génétiquement homogènes (Ka, Kb, Kc, Kd et Ke) dont 3 (Kb, Kd et Ke) situés de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 63 : Visualisation de la localisation des 5 clusters génétiques (Ka-Ke) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne classique en Rhône-Alpes.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Salamandre tachetée

- Groupe génétiquement homogène
- Site 1 (Ka : 100%) ● Site 4 (Ka : 100%)
 - Site 2 (Ka : 100%) ● Site 5 (Ka : 100%)
 - Site 3 (Ka : 100%) ● Site 6 (Ka : 100%)

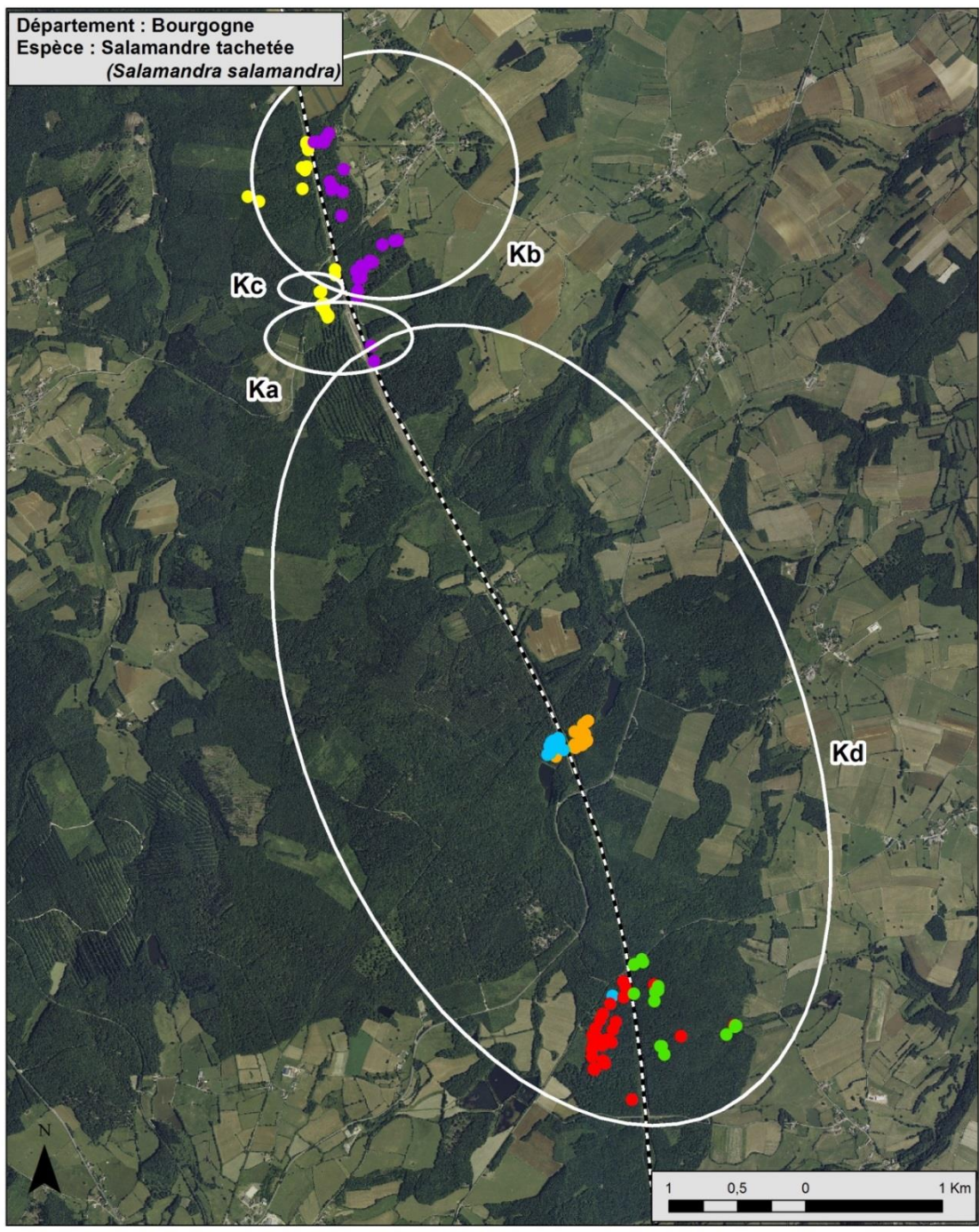
--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 64 : Visualisation de la localisation des 6 clusters génétiques (Ka) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Salamandre tachetée

- | | | |
|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| <p>Groupe génétiquement homogène</p> | <p>● Site 1 (Kb : 46% ; Ka : 42% ; Kc : 12%)</p> | <p>● Site 4 (Kd : 100%)</p> |
| | <p>● Site 2 (Kb : 91% ; Kd : 6% ; Ka : 3%)</p> | <p>● Site 5 (Kd : 100%)</p> |
| | <p>● Site 3 (Kd : 100%)</p> | <p>● Site 6 (Kd : 100%)</p> |

Résultat : existence de 4 groupes génétiquement homogènes (Ka, Kb, Kc et Kd) dont 3 (Ka, Kb et Kd) situés de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 65 : Visualisation de la localisation des 4 clusters génétiques (Ka-Kd) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les salamandres alentour de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon en Bourgogne.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »

On note, pour la salamandre, un isolement par la distance en Bourgogne et Franche Comté (test de Mantel IBD : $P < 0.05$). Dans cette seconde région, cet effet s'ajoute à un effet de la discontinuité des milieux forestiers : l'isolement génétique est plus fort entre populations occupant des bois différents (cf. tableau 19).

Région	Test	Statistique de Mantel	P	Interprétation
Franche Comté (LC)	IBD	0.372	0.046	Isolement par la distance
	IBB D	-0.327	0.894	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	0.431	0.041	Isolement par résistance
	IBB R	-0.225	0.820	Pas d'isolement par barrière et résistance
Rhône-Alpes - Ain (LC)	IBD	0.501	0.102	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	-0.249	0.730	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	0.426	0.054	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	-0.245	0.742	Pas d'isolement par barrière et résistance
Lorraine (LGV)	IBD	0.402	0.055	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	0.282	0.131	Pas d'isolement par barrière
Bourgogne (LGV)	IBD	0.582	0.02	Isolement par la distance
	IBB D	0.337	0.151	Pas d'isolement par barrière

Tableau 19 : Résumé des tests de Mantel visant à évaluer l'effet d'isolement par distance (IBD), par barrière (IBB|D ; IBB|R) et par résistance (IBR|D) sur la distance génétique (FST) entre populations de Salamandres³.

Les modèles linéaires mixtes permettent, lorsque l'ensemble de ces mécanismes sont pris en compte de dégager un effet d'isolement par résistance en Rhône-Alpes (Ain) et également lorsque les quatre régions sont considérées ensemble (cf. Figures dans le tableau 20).

³ Nota : l'effet de la continuité des forêts (résistance) ne peut pas être testé pour la Lorraine et pour la Bourgogne, où la forêt est invariablement discontinuée entre les sites échantillonnés.

SALAMANDRE	Termes du meilleur modèle	estimation (\pm erreur standard)	Interprétation	Figures illustrant les effets significatifs des meilleurs modèles
Franche-Comté	Modèle nul			
Rhône-Alpes (Ain)	Intercept	0.007 \pm 0.009	Des populations installées dans des forêts différentes sont faiblement isolées, tandis que des populations de la même forêt ne sont pas isolées génétiquement.	
	Resist	0.027 \pm 0.005 ***		
Lorraine	Modèle nul			
Bourgogne	Modèle nul		Aucun des termes proposés ne permet d'expliquer la distance génétique entre sites d'échantillonnage dans ces 3 régions	
Toutes régions ensemble	Intercept	0.014 \pm 0.005	Des populations installées dans des forêts différentes sont faiblement isolées, tandis que des populations de la même forêt ne sont pas isolées génétiquement.	
	Resist	0.029 \pm 0.006 ***		

Tableau 20 : Résumé des modèles linéaires généralisés mixtes testant l'effet de la distance géographique, de la présence d'une voie ferrée (barrière) et de la continuité des milieux forestiers (resist) sur la distance génétique (F_{ST}) entre paires de populations de Salamandre. *, ** : effet significatif ($P < 0.05$, ou $P < 0.01$ sur une anova de type 3 appliquée au modèle). Les effets significatifs sont illustrés⁴

⁴ Nota : l'effet de la continuité des forêts ne peut pas être testé pour la Lorraine et pour la Bourgogne, où la forêt est invariablement discontinue entre les sites échantillonnés.

En conclusion, ni les tests de Mantel, ni les modèles linéaires ne montrent d'effet lié à la ligne ferroviaire pour la Salamandre tachetée. Une certaine structuration génétique peut quand même être décelée, attribuable à la distance géographique et/ou à la discontinuité des habitats surfaciques, correspondant respectivement aux mécanismes d'isolement par distance et d'isolement par résistance.

4.1.2.2. Le Myrtil

Méta-données paysages

L'échantillonnage des papillons Myrtils a été moins contraint par le paysage que celui des salamandres et des coléoptères. Il en résulte une meilleure adéquation de l'échantillonnage réalisé au protocole initialement prévu. Les distances inter-sites sont également plus homogènes entre régions (*cf.* tableau 21).

Région	Ligne	Dominante paysagère	Distance moyenne entre sites (km)	Gamme de distances entre sites (km)
Franche Comté	LC	Paysage très forestier. Un grand massif forestier sépare les 6 sites en deux lots de 3	5.54	3.31 – 10.46
Rhône-Alpes (Ain)	LC	Paysage ouvert, aucun massif forestier important	5.19	1.95 – 9.88
Lorraine	LGV	Paysage relativement ouvert. Des massifs forestiers peu importants se répartissent entre les sites d'échantillonnage	4.52	2.03 – 8.51
Bourgogne	LGV	Paysage semi-forestier : un grand massif forestier isole totalement le site 1 des autres, et traverse l'espace entre les sites 3 et 4, le long de la voie ferrée	6.68	4.15 – 11.19

Tableau 21 : Méta-données paysagères pour l'échantillonnage de Myrtil

Données génétiques :

Le nombre de loci utilisables (6), mais surtout leur polymorphisme important (plus de 10 allèles par locus) sont tout à fait corrects pour l'analyse envisagée ici. Aucun de ces loci ne s'écarte significativement de l'équilibre de Hardy-Weinberg à l'échelle des sites.

Loci utilisés : Mj008, Mj7132, Mj0248, Mj7232, Mj2410, Mj5331 (6 loci)

Nombre moyen d'allèle par locus dans une population : 10.98 (écartype=5.74) allèle/locus pour 42 individus ; gamme =2.04-20.40 allèles par locus pour un échantillon de 42 individus.

Hétérozygotie et F_{ST} global

Bien que F_{ST} puisse en théorie varier entre 0 et 1, on observe rarement (voire jamais) de valeurs supérieures à 0.5. On considère que des valeurs comprises entre 5 et 10% sont des valeurs moyennes. Sous 5%, la structuration est considérée comme étant faible. Nos résultats indiquent donc une structuration globalement faible, voire nulle pour la Bourgogne.

Région	Hétérozygotie observée	Hétérozygotie attendue	F_{ST} global	F_{ST} moyen par paire	Gamme des F_{ST} par paire
Franche-Comté	0.627	0.746	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0 – 0.012
Rhône-Alpes (Ain)	0.660	0.752	0.004	0.005	0 – 0.019
Lorraine	0.573	0.725	0.005	0.006	0 – 0.021
Bourgogne	0.642	0.752	0.001	0.000	0 – 0.007

Tableau 22 : Hétérozygotie et structuration entre sites pour le Myrtil dans les 4 régions considérées

Structuration: Geneland

Pour le Myrtil, c'est également un modèle spatial qui a été utilisé, avec fréquences alléliques corrélées et allèles nuls autorisés. Nous avons effectué 3 runs indépendants de 10^6 itérations chacun, desquels nous avons conservé 1/1000 pour les analyses. La première moitié de ces données est éliminée (burnin) en post-traitement. De 1 à 10 clusters ont été autorisés, avec une incertitude de 50 m sur la localisation spatiale des individus, intégrée pour la Bourgogne seule pour laquelle nous ne disposons pas de points GPS des captures, mais seulement de points par site d'échantillonnage, correspondant à des prairies. La distance de 50 m correspond à l'amplitude moyenne d'une prairie dans cette région. Notons cependant que les résultats sont sensiblement identiques en choisissant une incertitude plus grande pour la localisation spatiale. Le modèle optimise le nombre de clusters et la fréquence des allèles nuls (considérée identique dans tous les clusters).

Dans chaque région, entre 1 et 3 clusters génétiquement distincts peuvent être délimités pour les Myrtils (Tableau 23). L'analyse visuelle des cartes de probabilité postérieure d'appartenance à chacun des clusters indique que dans trois de ces cas les clusters ne sont pas délimités par la ligne ferroviaire (Figures 66-69). La situation est moins claire en Lorraine, région pour laquelle la ligne ferroviaire pourrait se conjuguer avec d'autres éléments pour isoler l'un des clusters au Nord de la zone d'étude (voir Figure 68). Les résultats de cette analyse montrent également un taux d'allèles nuls faible à modéré, relativement comparable entre les régions.

Région	Gammes des fréquences estimées d'allèles nuls, par locus	Nombre de clusters	Effet de la ligne ferrée	Autre effet suspecté
Franche Comté	1.4 – 12.3%	1	Non	Aucun
Rhône-Alpes (Ain)	1.5 – 9.2%	3	Non	Isolement par la forêt et/ou effet de fondation après dispersion à grande distance
Lorraine	0.6 – 22.2%	2	?	Cas du site 4 : la voie ferrée pourrait avoir contribué à l'isolement. Dispersion longue distance entre sites 4 et 5 ?
Bourgogne	2.7 – 12.2%	1	Non	Aucun

Tableau 23 : Synthèse des résultats de Geneland pour le Myrtil

Mécanismes d'isolement

Aucun des tests de Mantel (IBD, IBB|D, IBR|D et IBB|R) n'est significatif (toutes $P > 0.05$). Les mécanismes (seuls ou à deux) d'isolement par la distance, par la barrière ou par la résistance (discontinuité des habitats) ne suffisent pas à expliquer la structuration génétique des Myrtils entre les sites dans aucune des régions considérées (voir tableau 24), ce qui peut s'expliquer par les très faibles niveaux de différenciation observés.

Région	Test	Statistique de Mantel	P	Interprétation
Franche Comté (LC)	IBD	-0.391	0.95	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	-0.417	0.98	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	-0.062	0.51	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	-0.361	0.95	Pas d'isolement par barrière et résistance
Rhône-Alpes – Ain (LC)	IBD	0.110	0.33	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	-0.407	0.97	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	-0.048	0.55	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	-0.374	0.92	Pas d'isolement par barrière et résistance
Lorraine (LGV)	IBD	-0.129	0.65	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	-0.157	0.60	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	-0.182	0.71	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	-0.044	0.55	Pas d'isolement par barrière et résistance
Bourgogne (LGV)	IBD	-0.146	0.73	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	0.059	0.49	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	0.01	0.57	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	0.05	0.49	Pas d'isolement par barrière et résistance

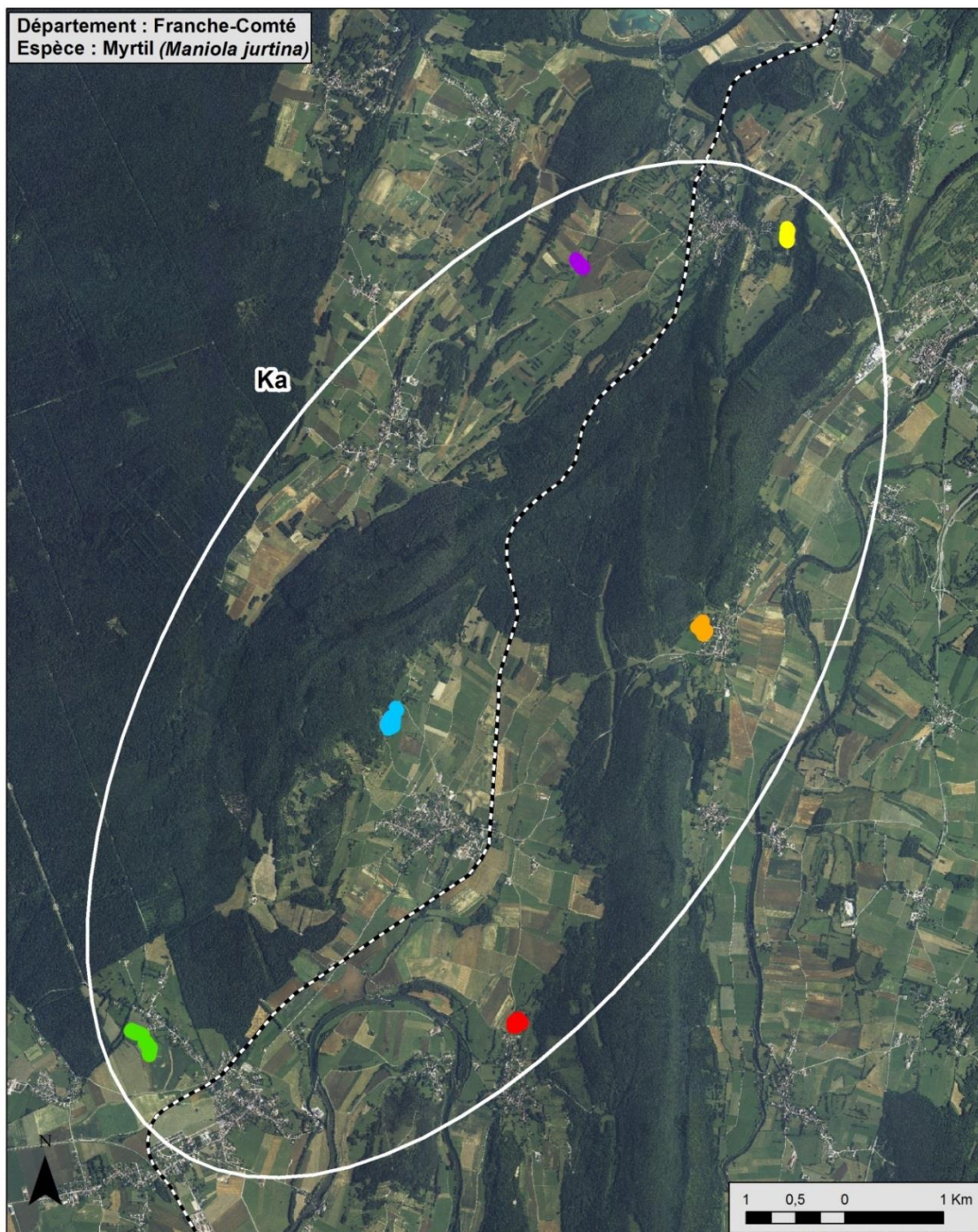
Tableau 24 : Résumé des tests de Mantel visant à évaluer l'effet d'isolement par distance (IBD), par barrière (IBB|D ; IBB|R) et par résistance (IBR|D) sur la distance génétique (FST) entre populations de Myrtil.

Lorsque l'ensemble de ces mécanismes est pris en compte, dans les modèles linéaires mixtes, aucun effet d'isolement par la voie ferroviaire n'est détecté, pas plus qu'un isolement dû à la distance géographique ou à la discontinuité des milieux ouverts. Notons cependant que les valeurs de FST sont globalement extrêmement faibles.

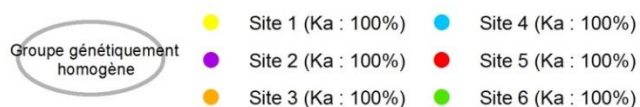
MYRTIL	Termes du meilleur modèle	Interprétation
Franche-Comté	Modèle nul	Aucun des termes proposés ne permet d'expliquer la distance génétique entre sites d'échantillonnage dans aucune des régions, ni dans l'ensemble des régions
Rhône-Alpes (Ain)	Modèle nul	
Lorraine	Modèle nul	
Bourgogne	Modèle nul	
Toutes régions ensemble	Modèle nul	

Tableau 25 : Résumé des modèles linéaires généralisés mixtes testant l'effet de la distance géographique, de la présence d'une voie ferrée (barrière) et de la continuité des milieux ouverts (resist) sur la distance génétique (FST) entre paires de populations de Myrtil. * : effet significatif ($P < 0.05$ sur une anova de type 3 appliquée au modèle).

En conclusion, les populations de Myrtils apparaissent peu structurées, et aucun effet d'isolement par la distance, la discontinuité des habitats ou la présence d'ILT n'a pu être mis en évidence.



Sites de prélèvement de Myrtil



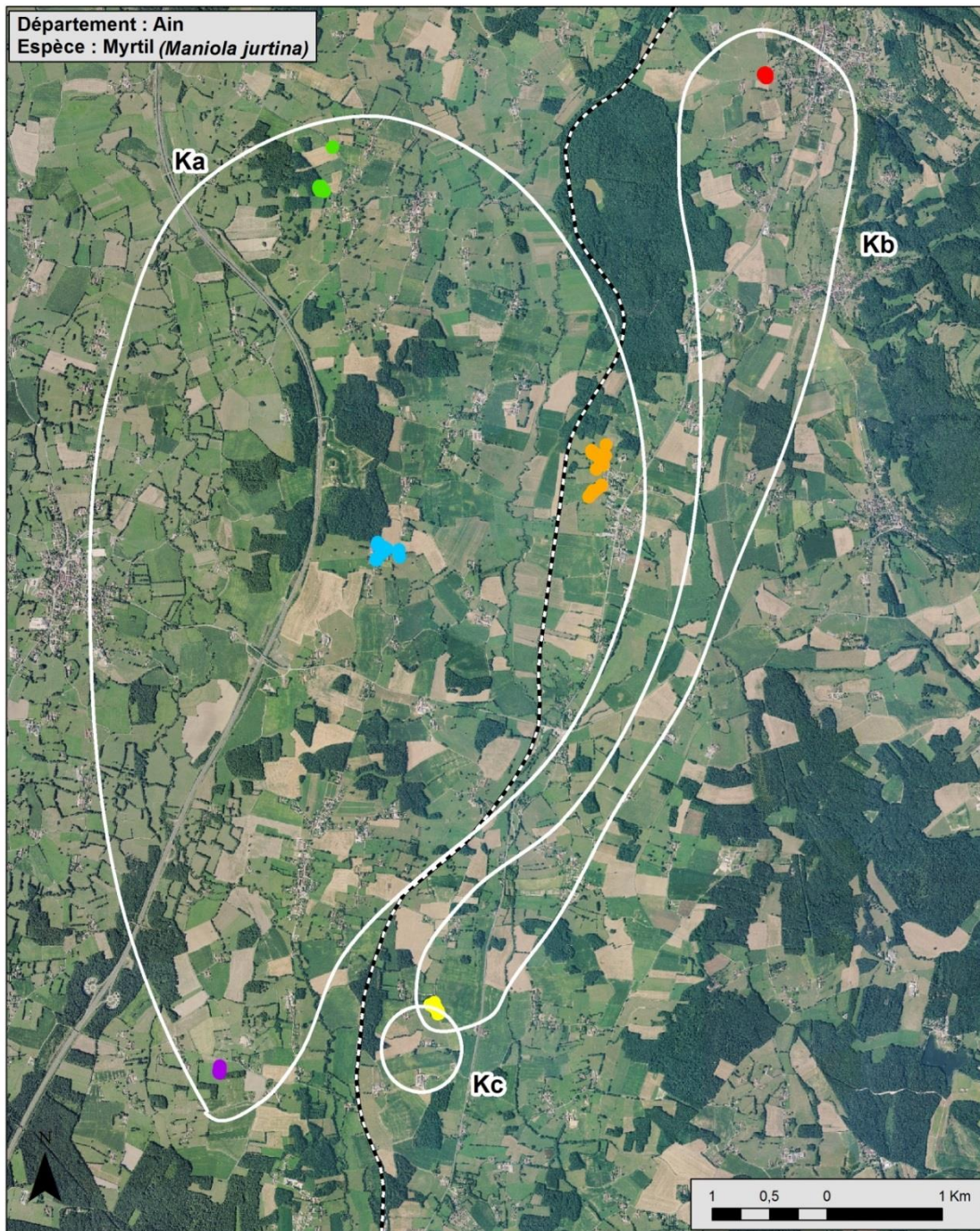
--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) et situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 66 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne classée en Franche-Comté.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Myrtil

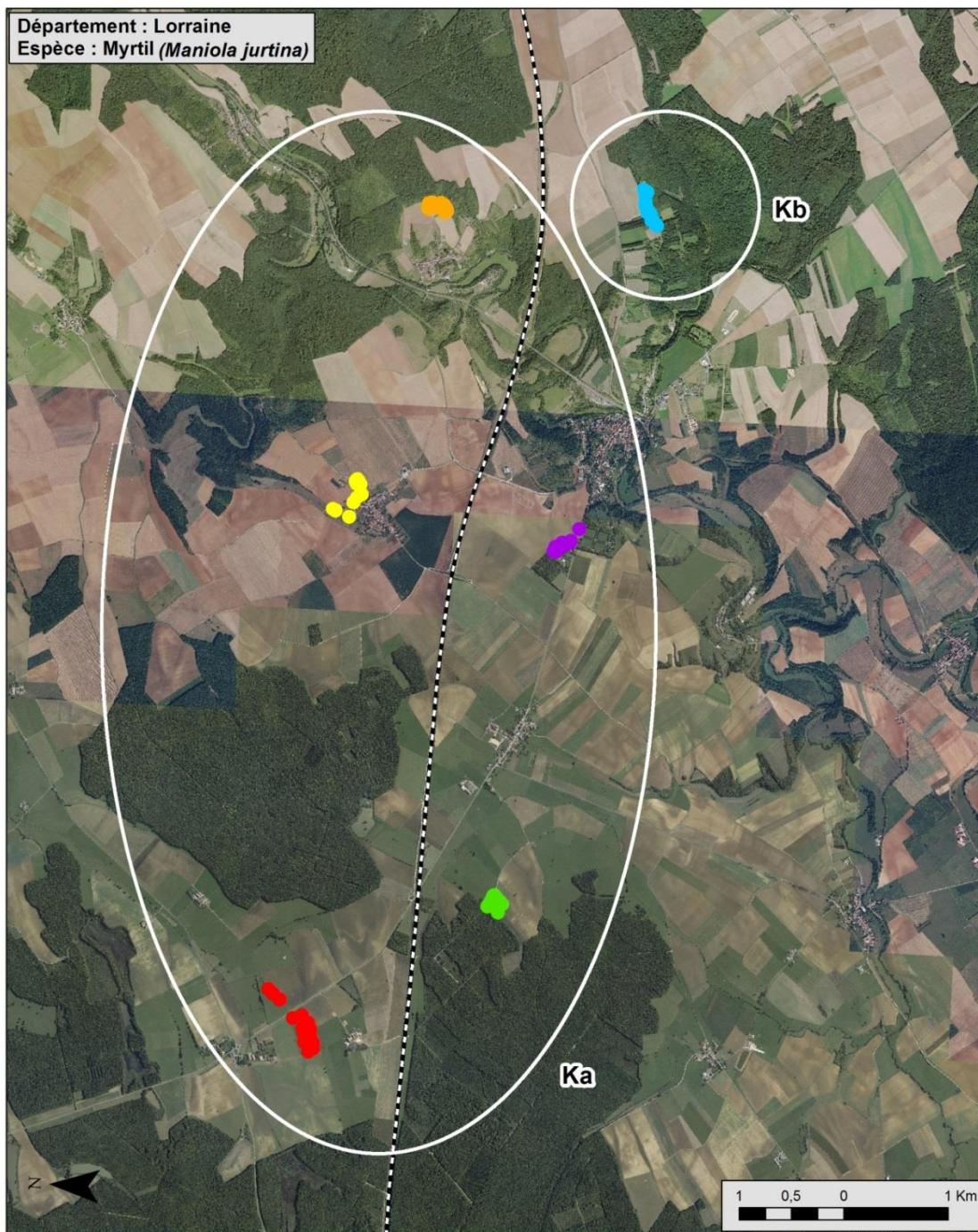


Résultat : existence de 3 groupes génétiquement homogènes (Ka, Kb et Kc) dont 1 (Ka) situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 67 : Visualisation de la localisation des trois clusters génétiques (Ka-Kc) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentours de la ligne classique en Rhône-Alpes.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Myrtil

- | | | |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Groupe génétiquement homogène | ● Site 1 (Ka : 100%) | ● Site 4 (Kb : 100%) |
| | ● Site 2 (Ka : 100%) | ● Site 5 (Ka : 77% ; Kb : 23%) |
| | ● Site 3 (Ka : 100%) | ● Site 6 (Ka : 100%) |

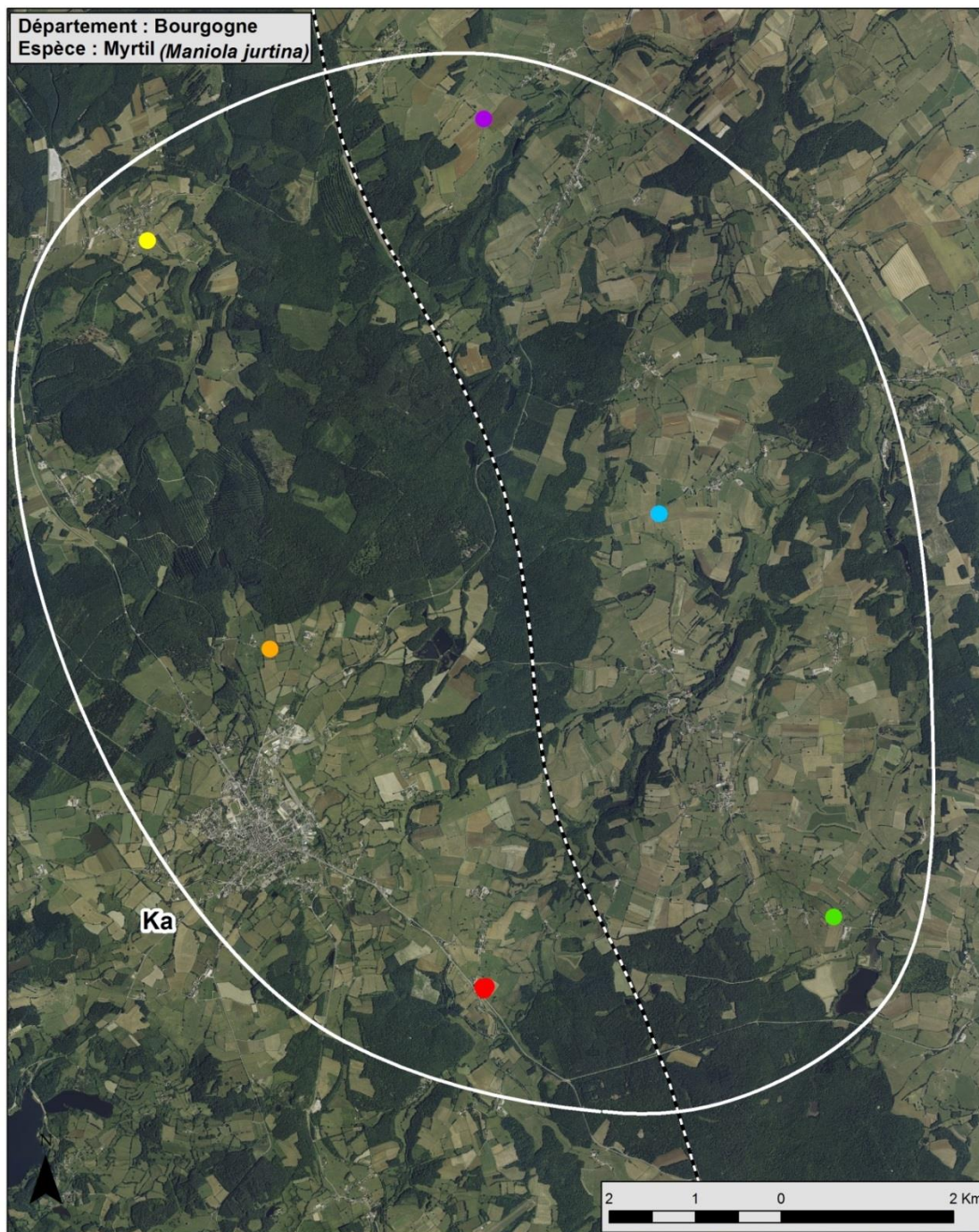
--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence de 2 groupes génétiquement homogènes (Ka et Kb) dont 1 (Ka) situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 68 : Visualisation de la localisation des deux clusters génétiques (Ka) détectés à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Myrtil

- Groupe génétiquement homogène
 Site 1 (Ka : 100%)
 Site 4 (Ka : 100%)
- Site 2 (Ka : 100%)
 Site 5 (Ka : 100%)
- Site 3 (Ka : 100%)
 Site 6 (Ka : 100%)

--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) et situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 69 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les myrtils alentour de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon en Bourgogne.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »

4.1.2.3. La Féronie noire

Méta-données paysagères

Comme c'était le cas pour la Salamandre, la configuration du paysage a ici contraint l'échantillonnage, ce qui explique la déviation par rapport au protocole envisagé. De grandes disparités dans les distances inter-sites s'expliquent également par l'intervention d'acteurs de terrain différents opérant dans l'Ain et en Franche Comté d'une part, ou en Bourgogne et Lorraine d'autre part. L'échantillonnage semble particulièrement biaisé en Bourgogne et Lorraine, où les pièges ont été placés à proximité directe de la ligne ferroviaire, créant une distribution des distances inter-sites très éloignée du protocole envisagé : les distances sont courtes (quelques centaines de mètres) ou au contraire très longues (plusieurs kilomètres), et toutes les distances courtes correspondent à la traversée de la ligne ferroviaire.

Région	Ligne	Dominante paysagère	Distance moyenne entre sites (km)	Gamme de distances entre sites (km)
Franche Comté	LC	Paysage très forestier 4 sites d'échantillonnage se situent dans un grand massif forestier, les 2 autres dans un second.	6.62	1.17 – 12.47
Rhône-Alpes - Ain	LC	Paysage ouvert, aucun massif forestier important. Les sites d'échantillonnage se répartissent dans 4 petits massifs (1 ou 2 sites/massif).	7.28	0.77 – 13.17
Lorraine	LGV	Paysage semi-ouvert. 4 sites d'échantillonnage dans un petit massif forestier, 2 autres dans un plus grand massif.	7.77	0.19 – 14.43
Bourgogne	LGV	Paysage semi-forestier 4 sites d'échantillonnage se situent dans un grand massif forestier, les 2 autres dans un second.	3.18	0.24 – 5.88

Tableau 26 : Méta-données paysagères pour l'échantillonnage de Féronies noires⁵

Données génétiques :

Neuf à dix loci présentant un polymorphisme modéré (à peine plus de 2 allèles/locus) ont pu être utilisés pour cette espèce, ce qui est dans la limite inférieure, mais suffisant pour mener l'étude envisagée.

Loci utilisés : A20, A27, A34, A02, A12, A23, A25, A32, A05, A06 (10 loci; nota : le locus A32 n'a pas été utilisé pour la Lorraine où il présente une fréquence élevée d'allèles nuls)

Nombre moyen d'allèle par locus dans une population : 2.16 (écart-type=0.48) allèle/locus pour 32 individus ; gamme =1.00-3.63 par locus pour un échantillon de 32 individus.

⁵ Nota : en Bourgogne et Lorraine, les distances entre sites séparés par la voie sont très faibles, les échantillons ayant été prélevés au bord de la voie ferrée (cf. figures 70-73)

Hétérozygotie et F_{ST} global

Bien que F_{ST} puisse en théorie varier entre 0 et 1, on observe rarement (voire jamais) de valeurs supérieures à 0.5. On considère que des valeurs comprises entre 5 et 10% sont des valeurs moyennes. Sous 5%, la structuration est considérée comme étant faible. Nos résultats indiquent donc une structuration globalement très faible entre les sites d'échantillonnage d'une même région, voire nulle pour certaines régions (Bourgogne, Rhône-Alpes).

Région	Hétérozygotie observée	Hétérozygotie attendue	F_{ST} global	F_{ST} moyen par paire	Gamme des F_{ST} moyen par paire
Franche-Comté	0.298	0.321	0.011	0.013	0 – 0.045
Rhône-Alpes (Ain)	0.310	0.331	0.003	0.003	0 – 0.020
Lorraine	0.268	0.291	0.011	0.013	0 – 0.051
Bourgogne	0.288	0.292	0.001	0.001	0 – 0.021

Tableau 27 : Hétérozygotie et structuration entre sites pour la Féronie noire dans les 4 régions considérées

Structuration: Geneland

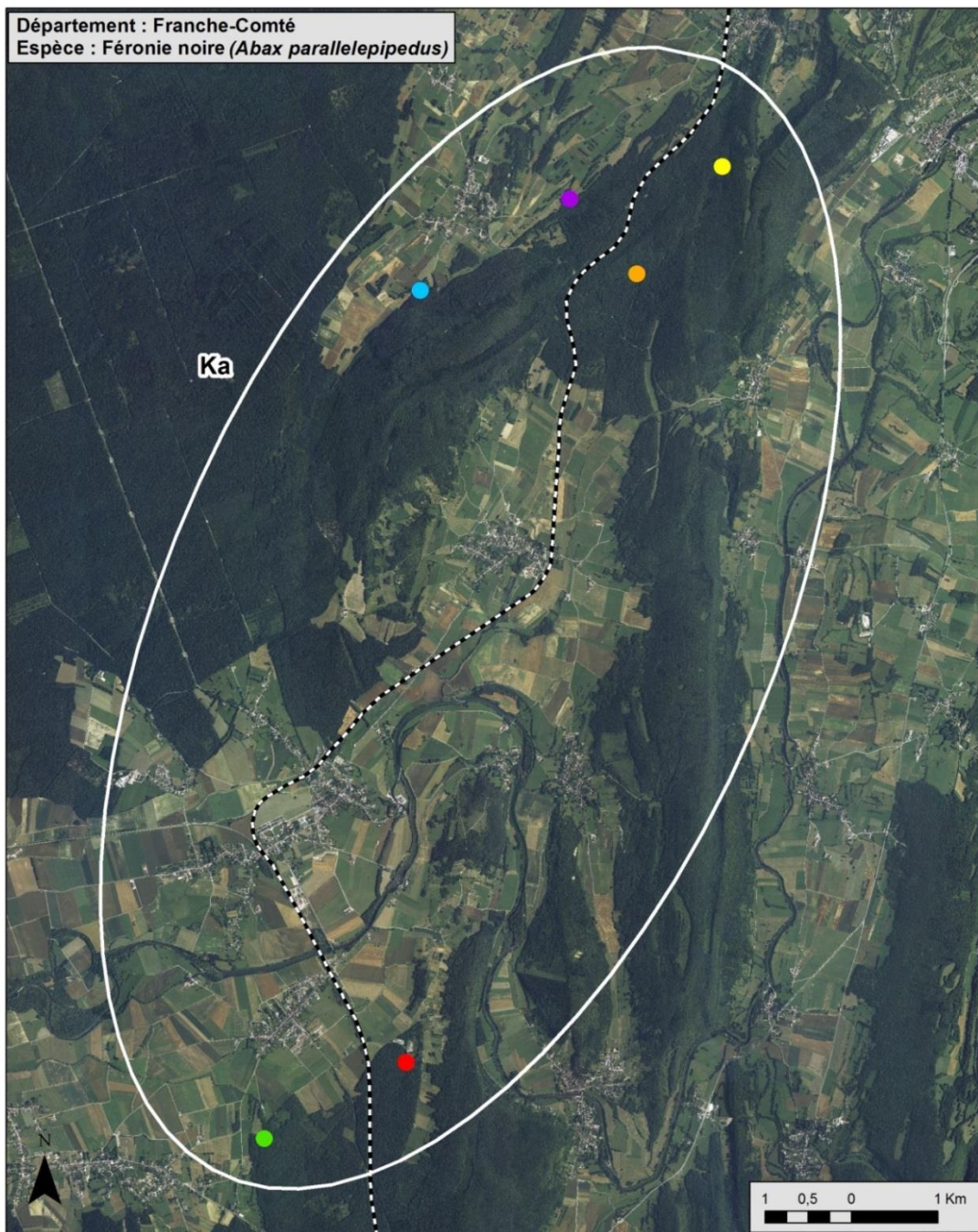
Dans le cas de la Féronie noire, comme pour les autres espèces, c'est un modèle spatial, avec fréquences alléliques corrélées et allèles nuls autorisés qui a été utilisé. Nous avons effectué 3 runs indépendants de 0.5×10^6 itérations, dont nous avons conservé 1/500 pour les analyses. La première moitié de ces données fut éliminée (burnin) en post-traitement. De 1 à 10 clusters étaient autorisés, avec une incertitude de 100 m sur la localisation spatiale des individus intégrée pour chaque région, car bien que les pièges aient été géo-référencés, les données mettant en relation l'identité des échantillons et celle des pièges n'a pas été fournie. Le modèle optimise le nombre de clusters et la fréquence des allèles nuls (considérée identique dans tous les clusters d'une même région).

Synthèse des résultats de Geneland

Pour la Féronie noire, chacune des régions semble fonctionner comme un ensemble panmictique, comme le montre l'absence de structuration (un seul cluster par région, voir tableau 28). Ici encore, la fréquence d'allèles nuls est modeste et équilibrée entre les régions. Ce résultat indique l'absence d'effet fragmentant de la ligne ferroviaire sur cette espèce.

Région	Gammes des fréquences estimées d'allèles nuls, par locus	Nombre de clusters	Effet de la ligne ferrée	Autre effet suspecté
Franche-Comté	3.1 – 9.9%	1	Non	Aucun
Rhône-Alpes (Ain)	2.3 – 11.3%	1	Non	Aucun
Lorraine	3.1 – 12.6%	1	Non	Aucun
Bourgogne	3.4 – 10.4%	1	Non	Aucun

Tableau 28 : Synthèse des résultats de Geneland pour la Féronie noire



Sites de prélèvement de Féronie noire

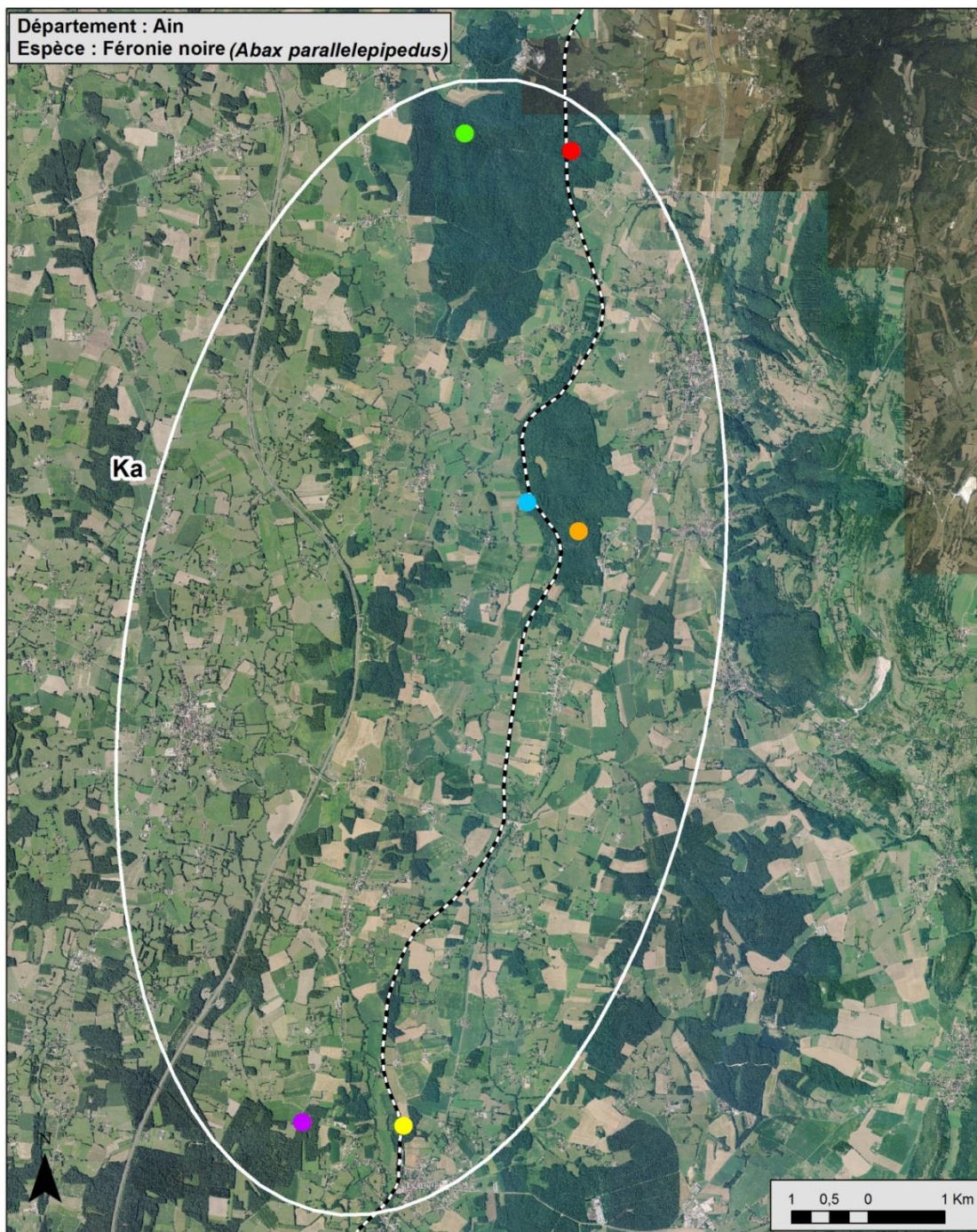
 Groupe génétiquement homogène	Site 1 (Ka : 100%)	Site 4 (Ka : 100%)	 Tronçon de voie ferrée
	Site 2 (Ka : 100%)	Site 5 (Ka : 100%)	
	Site 3 (Ka : 100%)	Site 6 (Ka : 100%)	

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) et situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 70 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne classique en Franche-Comté.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Féronie noire

- Groupe génétiquement homogène
- Site 1 (Ka : 100%)
 - Site 2 (Ka : 100%)
 - Site 3 (Ka : 100%)
 - Site 4 (Ka : 100%)
 - Site 5 (Ka : 100%)
 - Site 6 (Ka : 100%)

--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) et situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 71 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne classique en Rhône-Alpes.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Féronie noire

- | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|
|
Groupe génétiquement homogène | Site 1 (Ka : 100%) | Site 4 (Ka : 100%) |
| | Site 2 (Ka : 100%) | Site 5 (Ka : 100%) |
| | Site 3 (Ka : 100%) | Site 6 (Ka : 100%) |

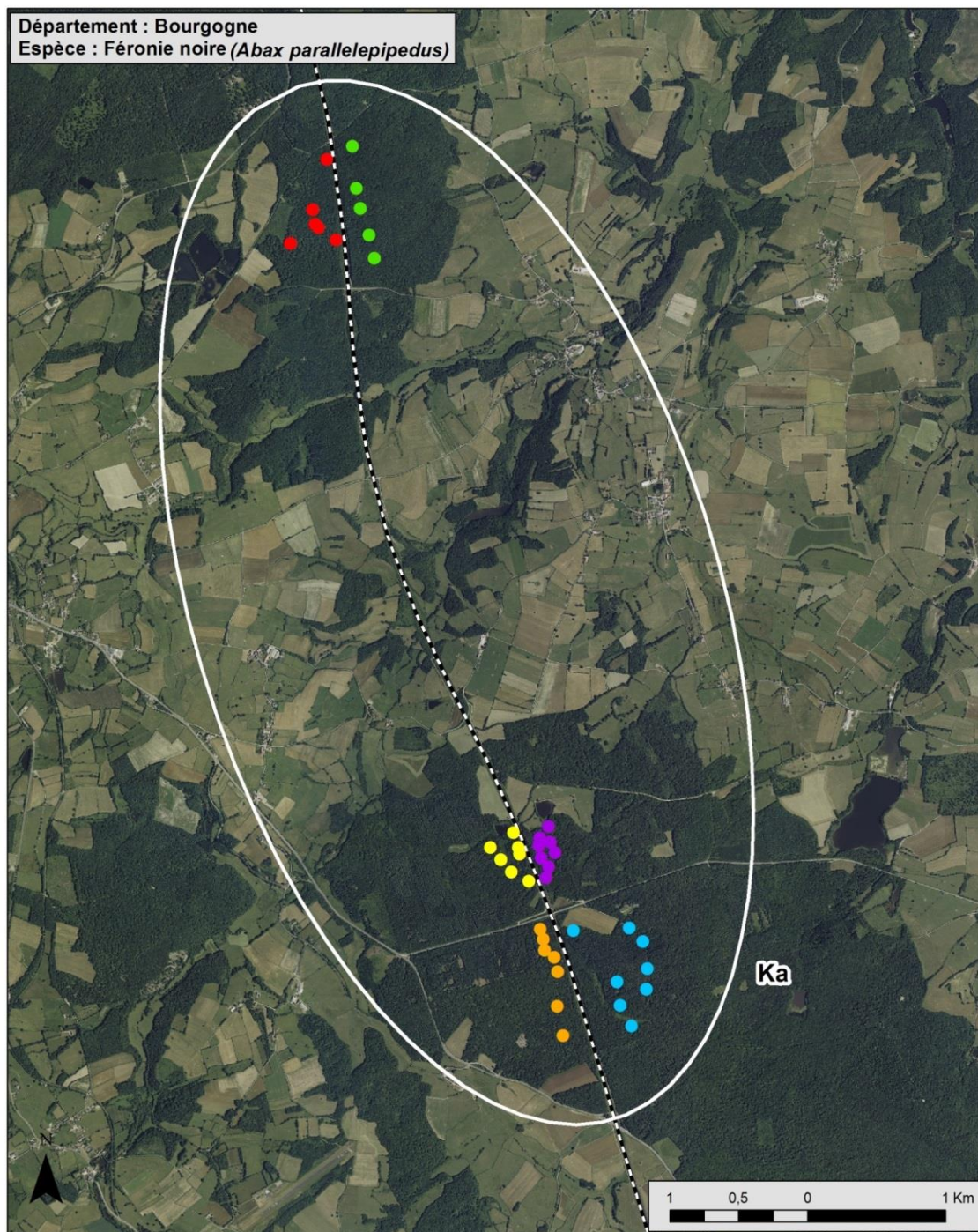
--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) et situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 72 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »



Sites de prélèvement de Féronie noire

- Groupe génétiquement homogène
- Site 1 (Ka : 100%)
 - Site 2 (Ka : 100%)
 - Site 3 (Ka : 100%)
 - Site 4 (Ka : 100%)
 - Site 5 (Ka : 100%)
 - Site 6 (Ka : 100%)

--- Tronçon de voie ferrée

Résultat : existence d'un seul groupe génétiquement homogène (Ka) et situé de part et d'autre de la voie

Programme TRANSFER
Echantillonnage MNHN-SPN 2013

Figure 73 : Visualisation de la localisation du seul cluster génétique (Ka) détecté à l'aide du logiciel Geneland pour les féronies noires alentour de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon en Bourgogne.

Chaque cercle illustre la localisation d'un groupe génétiquement distinct. Les points colorés correspondent à la localisation des échantillons ; leur couleur reflète le site d'échantillonnage, déterminé a priori et uniquement sur base spatiale »

Mécanismes d'isolement

En Lorraine, les tests de Mantel indiquent un isolement par la distance assez fort entre les populations de Féronie. Pour les trois autres régions, aucun des tests de Mantel (IBD, IBB|D, IBR|D et IBB|R) n'est significatif (toutes $P > 0.05$), montrant que les mécanismes (seuls ou à deux) d'isolement par la distance, par la barrière ou par la discontinuité de l'habitat ne suffisent pas à expliquer la structuration génétique des Féronies entre les sites dans ces régions (cf. tableau 29).

Région	Test	Statistique de Mantel	P	Interprétation
Ain (LC)	IBD	0.174	0.160	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	0.441	0.053	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	-0.209	0.811	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	0.421	0.062	Pas d'isolement par barrière et résistance
Bourgogne (LGV)	IBD	-0.118	0.667	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	-0.522	0.940	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	-0.241	0.751	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	-0.525	0.953	Pas d'isolement par barrière et résistance
Franche Comté (LC)	IBD	0.207	0.218	Pas d'isolement par la distance
	IBB D	0.165	0.282	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	0.283	0.843	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	0.173	0.272	Pas d'isolement par barrière et résistance
Lorraine (LGV)	IBD	0.738	0.002	Isolement par la distance
	IBB D	-0.032	0.499	Pas d'isolement par barrière
	IBR D	0.092	0.458	Pas d'isolement par résistance
	IBB R	-0.057	0.570	Pas d'isolement par barrière et résistance

Tableau 29 : Résumé des tests de Mantel visant à évaluer l'effet d'isolement par distance (IBD), par barrière (IBB|D ; IBB|R) et par résistance (IBR|D) sur la distance génétique (F_{ST}) entre populations de Féronie.

Les modèles linéaires mixtes permettent quant à eux de déceler un effet d'isolement par résistance en Lorraine : dans cette région, la discontinuité de l'habitat forestier engendre un isolement génétique accru (Tableau 30). Cependant, nous ne pouvons discriminer cet effet d'un effet d'isolement par la distance, puisque ce modèle est également valable : F_{ST} augmente avec la distance géographique en Lorraine. Cet isolement par distance est aussi observé lorsque les données des quatre régions sont regroupées : des populations de Féronies les plus éloignées (au sein d'une même région) sont également les plus distinctes génétiquement. Notons cependant que cet isolement génétique reste très modéré, avec des valeurs de $F_{ST} < 0.05$.

FERONIE	Termes du meilleur modèle	estimation (\pm erreur standard)	Interprétation	Figures illustrant les effets significatifs des meilleurs modèles
Franche-Comté	Modèle nul		Aucun des termes proposés ne permet d'expliquer la distance génétique entre sites d'échantillonnage dans ces 3 régions	
Rhône-Alpes	Modèle nul			
Bourgogne	Modèle nul			
Lorraine ¹	Intercept	- 0.049 \pm 0.011	Isolement (faible) par la distance : les sites les plus éloignés sont aussi génétiquement les plus différents.	
	Geo	0.008 \pm 0.001 ***		
	Intercept	- 0.005 \pm 0.006		
	Resist	0.030 \pm 0.006 ***	Des populations installées dans des forêts différentes sont faiblement isolées, tandis que des populations de la même forêt ne sont pas isolées génétiquement.	
Toutes régions ensemble	Intercept	- 0.032 \pm 0.010	Isolement (faible) par la distance : les sites les plus éloignés sont aussi génétiquement les plus différents.	
	Geo	0.005 \pm 0.001 ***		

Tableau 30 : Résumé des modèles linéaires généralisés mixtes testant l'effet de la distance géographique, de la présence d'une voie ferrée (barrière) et de la continuité des milieux ouverts (resist) sur la distance génétique (FST) entre paires de populations de Féronie. *, ** : effet significatif (P <0.05 ou P<0.01 sur une anova de type 3 appliquée au modèle). Les effets significatifs sont en gras.

Bien que certains résultats des modèles linéaires et tests de Mantel indiquent un effet d'isolement, par distance ou induit par la discontinuité des habitats, notons que les valeurs de FST sont très faibles, et que ces effets d'isolement peuvent avoir été détectés sur base de valeurs négatives, qui n'ont pas de sens biologique. **Dans aucun des cas, nous ne détectons d'effet des ILT ferroviaires pour la Féronie noire.**

4.1.3. Résultats d'ensemble

Si ces infrastructures linéaires de transport limitaient ou empêchaient le passage d'individus d'un côté à l'autre de la voie, les populations seraient isolées les unes des autres, ce qui augmenterait leur probabilité d'extinction.

Nos résultats peuvent être interprétés de la manière suivante.

Chez la Salamandre, Geneland indique la présence d'une structuration des populations dans trois régions sur quatre. Les analyses complémentaires mettent en évidence qu'il y a un effet significatif de la distance entre les populations sur leur différenciation génétique : plus deux populations sont éloignées, plus les fréquences des allèles testées sont différentes. Il y a également un effet lié à la surface de l'habitat, les fréquences alléliques étant différentes entre populations présentes soit dans des petits fragments forestiers soit dans des grands. Ces résultats indiquent qu'à l'échelle considérée la méthode utilisée permet de détecter des effets du paysage sur la structure génétique des populations.

Cela nous conforte pour affirmer que **chez la Salamandre, le réseau ferré n'a aucun effet de barrière sur les populations**, étant donné que dans les quatre régions étudiées, les tests impliquant un effet barrière des voies sont tous négatifs. Mentionnons cependant que les distances entre sites d'échantillonnage pour les LGV (Bourgogne et Lorraine) sont plus faibles que pour les LC.

Pour le Myrtil, la batterie de tests utilisée donne des informations qui ne sont pas toujours cohérentes. Rappelons que cette espèce est la plus mobile des trois. Geneland indique une structuration génétique dans l'Ain et en Lorraine. Dans l'Ain, cette structure peut provenir d'un isolement par la forêt et/ou d'un effet de fondation après dispersion à grande distance. Toujours dans l'Ain, les tests de Mantel indiquent un effet barrière de la voie ferrée, qui n'est cependant pas confirmé par les modèles linéaires généralisés. Ceci renforce la possibilité que l'un et/ou l'autre des mécanismes précités est à la manœuvre. La structure en Lorraine est curieuse : les individus prélevés sur les sites 4 et 5, les plus éloignés, situés de part et d'autre de la voie appartiennent pour la plupart à deux clusters différents. Cependant, 20% des individus prélevés sur le site 4 partagent des génotypes caractéristiques du site 5. Notre interprétation est la suivante : il pourrait y avoir dispersion à longue distance entre les sites 4 et 5 et/ou isolement du site 4 par la voie ferrée.

Chez le Myrtil, dans deux régions sur quatre, le réseau ferré n'a absolument aucun effet de barrière sur la structuration génétique des populations. Les réponses non congruentes des tests **dans les deux autres régions ne permettent pas de conclure de manière définitive que les voies ferrées sont responsables des structures observées.**

Pour la Féronie noire, l'espèce potentiellement la plus sensible à l'isolement par barrière, Geneland ne révèle aucune structuration génétique. Les tests complémentaires indiquent l'existence d'un isolement par la distance en Lorraine, ce qui montre que malgré la faible diversité génétique, un effet paysager peut être détecté chez cette espèce et à cette échelle. Ici encore, cela nous conforte pour affirmer que **chez la Féronie noire le réseau ferré n'a aucun effet de barrière sur les populations**, étant donné que dans les quatre régions étudiées, les tests impliquant un effet barrière des voies sont tous négatifs.

L'écologie des espèces concernées, la localisation des sites et les méthodes d'échantillonnage ont été détaillées précédemment (Sordello et al., 2012). Comme mentionné précédemment, les trois espèces choisies ont des distances de dispersion variables, ce qui devrait faciliter la mise en évidence d'éventuels processus d'isolement. La Féronie noire est l'espèce la plus sensible. Des suivis individuels indiquent des mouvements quotidiens ne dépassant pas quelques m/jour en habitat favorable. De plus, l'amplitude des mouvements diminue même lorsque les individus quittent leurs habitats forestiers préférentiels (Charrier et al. 1997). Pour la Salamandre, la distance de dispersion efficace entre populations est de l'ordre de 500 m (Ficetola et al. 2012). Une analyse préliminaire semble indiquer que chez cette espèce, la présence d'une route est également susceptible d'être une barrière à la dispersion (Vincenz 2005). Chez le Myrtil, la distance de dispersion potentielle est plus importante, de l'ordre d'une dizaine de km (Stevens et al. 2013). Mentionnons cependant que des réponses à la fragmentation par distance ont été décelées sur des populations séparées par moins de 10 km (Delattre et al. 2013). Il n'existe pas à notre connaissance de tests de l'effet de barrières chez cette espèce.

Une revue de la littérature renseigne quinze études consacrées à l'effet d'infrastructures linéaires de transport sur l'isolement des populations par des méthodes de génétique du paysage comparables à celles utilisées ici. Ces travaux sont consacrés soit à des espèces emblématiques en matière de conservation (grands herbivores : Epps et al. 2005, grands carnivores : Riley et al. 2006, Ernest et al. 2010, Riley et al. 2014, serpents : Clark et al. 2010), soit à des espèces communes (Kuhlen et al. 2009, Frantz et al. 2010). Parmi ces quinze études, la majorité envisage l'effet de (grands) routes ou d'autoroutes. Sept études abordent l'impact de voies ferrées, une seule de manière spécifique (Bartoszek J. & Greenwald 2009), les autres en combinaison avec d'autres types de barrières (Gerlach & Musolf 2000, Rico et al. 2009, Geiser et al. 2013, Hepenstrick et al. 2012). **Dans aucun de ces sept cas, les voies ferrées ne peuvent être explicitement mises en cause comme étant des barrières à la dispersion.** Lorsqu'un effet négatif est détecté, il est impossible à différencier de l'effet d'une route ou d'une autre barrière parallèle à la voie. Mentionnons que dans les quatre études destinées à comparer explicitement réseau routier et voies ferrées, trois concluent à un effet négatif des routes et pas d'effet du réseau ferré, alors que la quatrième ne met aucun effet négatif en évidence (Prunier et al. 2014). Deux études concernent des voies à très fort trafic diurne, deux autres des lignes à grande vitesse. Deux études relèvent un impact négatif des routes sur l'une de nos espèces modèles. :

- Chez la Féronie noire, un isolement significatif a été détecté sur des populations séparées par une autoroute large d'une trentaine de mètres, en service depuis 31 ans (Keller et al. 2004). Une petite population isolée au centre d'une boucle de sortie est génétiquement très différenciée de populations voisines de quelques centaines de m.

- Chez la salamandre, un effet négatif de routes à quatre voies a été détecté, alors que ni une ligne de RER ni des lignes de TGV n’avaient d’effet (Picard et al. 2012).

En conclusion, l’utilisation de la génétique du paysage fournit des informations utiles quant à la présence d’éléments paysagers influençant la structure génétique des populations.

- Pour deux des trois espèces étudiées (la Salamandre et la Féronie noire), il est clair que le réseau ferré n’entraîne pas l’isolement des populations. Ce résultat est important car ce sont les deux espèces pour lesquelles des effets de barrière du réseau routier ont été mises en évidence ;
- Pour la troisième (le Myrtil), des résultats similaires sont obtenus dans deux régions sur quatre. La situation dans les deux autres régions ne permet pas d’écarter totalement un effet du réseau ferré, mais nous insistons sur le fait que la structuration génétique observée pourrait être expliquée par des hypothèses alternatives.

4.2. Les résultats des suivis par technique photographique et d’enregistrements ultrasonores

4.2.1. La faune terrestre

Près d’un demi-million (477 941) de photographies a été récupéré. Après un tri global de l’ensemble des photographies,

- 21% sont liées à la fréquentation des ouvrages ou secteurs par la faune sauvage,
- 64% sont liées à la fréquentation humaine (passage humain ou de chiens)
- Les 15% restant sont non exploitables ou ont été prises aléatoirement : mouvements de végétation, pluie, neige (cf. figure 74).

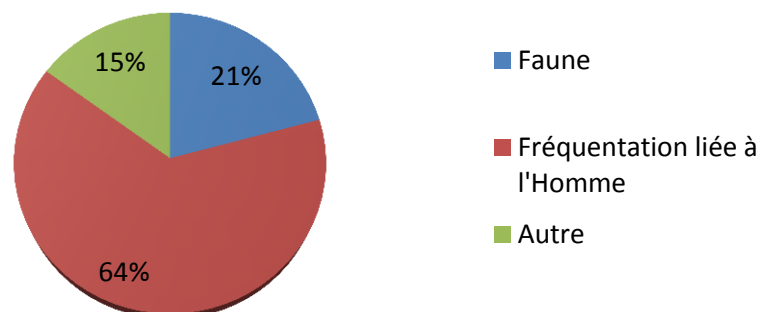


Figure 74 : Répartition des photographies sur l’ensemble des sites suivis (ouvrages et sections courantes) sur les 4 tronçons ferroviaires

Sur les photographies de faune, 21 espèces ont pu être identifiées. L'information « Faune autre » réunit les oiseaux, les mulots, le Loir et l'Ecureuil roux (cf. figure 75).

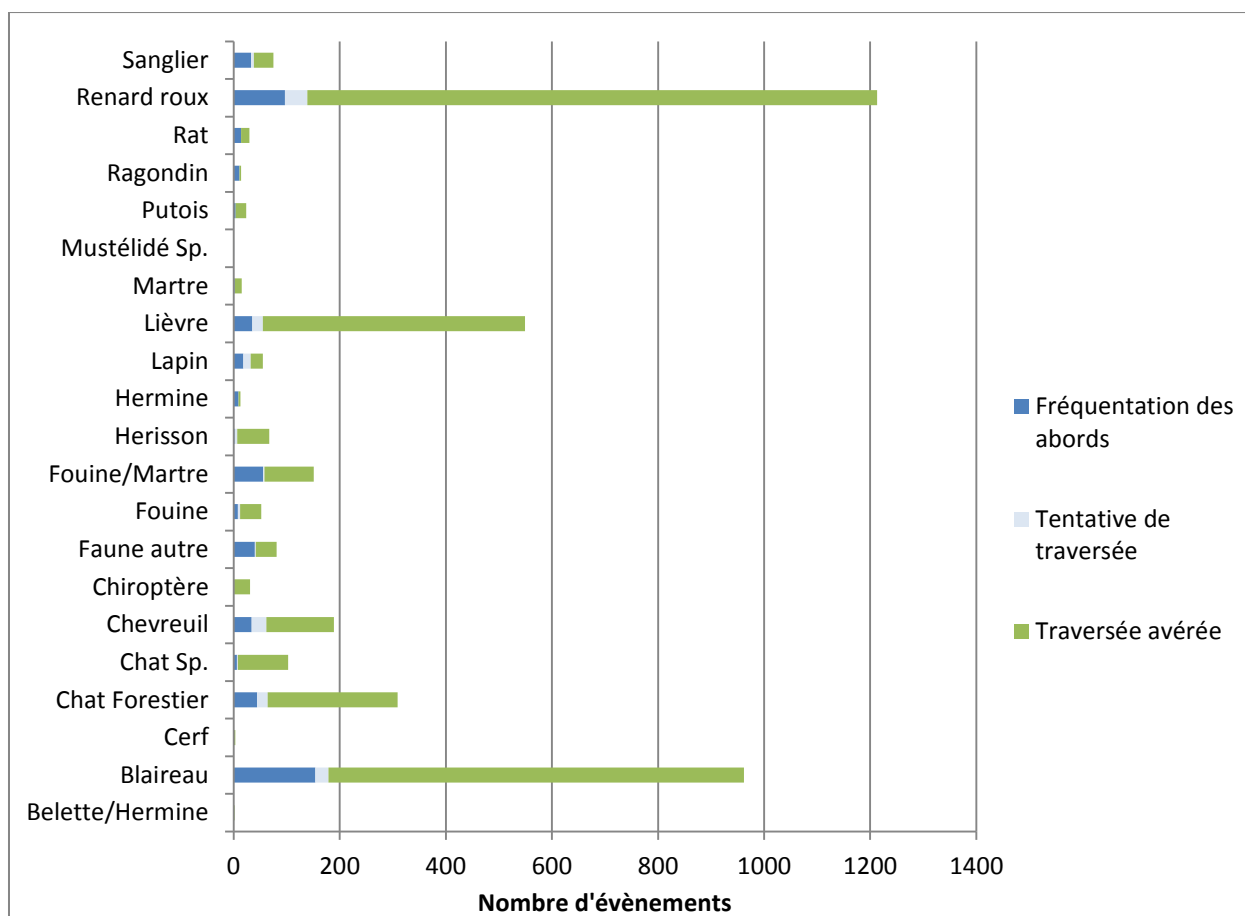


Figure 75 : Nombre d'évènements⁶ par espèce

Les espèces les mieux représentées sur l'ensemble des secteurs étudiés sont le Renard roux, le Blaireau, le Lièvre et le Chat forestier.

Le graphique précédent regroupe tous les résultats des 5 types d'ouvrages et des sections courantes comprises, à savoir les coulées traversant la voie à un endroit dépourvu d'ouvrage telle la traversée d'une clôture ou d'un passage à faune.

Pour les sections courantes, les nombres d'évènements sont extrêmement liés à la présence de clôtures sur les LGV qui concentrent les mammifères. Ainsi, le nombre d'évènements de Sanglier sont principalement liés à la fréquentation des abords (44%) de ligne nouvelle LGV et sur les 42 évènements de traversée, 34 sont liés au suivi du passage supérieur spécifique (n°4) Grande Faune en 28 jours de suivi soit plus d'un passage par jour.

⁶ Un **évènement** correspond au passage de l'animal devant l'appareil photo, que celui-ci effectue une traversée effective ou non. Cela peut aussi correspondre à une simple fréquentation du site ou à une tentative de traversée. Lorsque le même animal passe 2 fois devant l'appareil sur un intervalle de temps supérieur à 1 minute, ceci est comptabilisé comme 2 évènements.

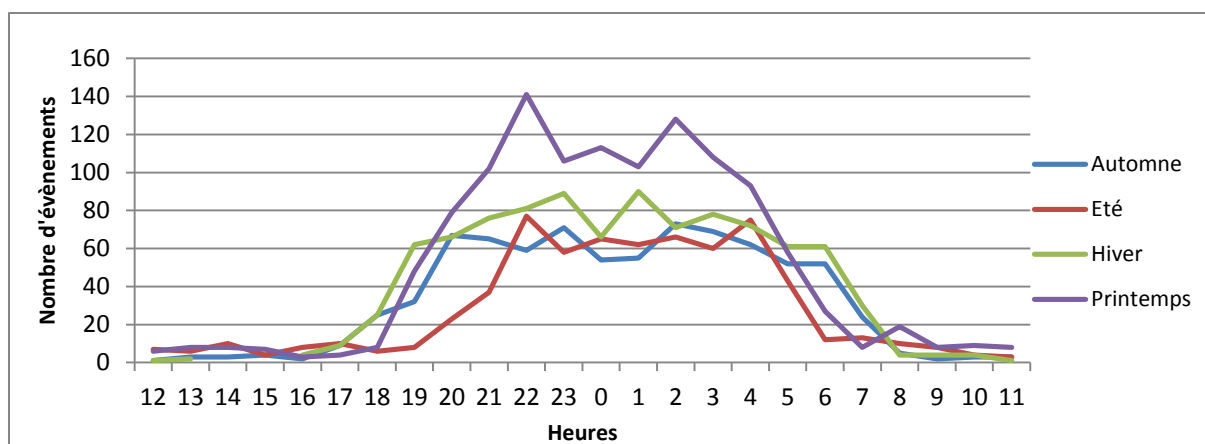


Figure 76: Activité de la faune terrestre par tranche horaire et par saison sur l'ensemble de l'étude

La majorité des mammifères ont des mœurs nocturnes. La majorité des événements ont donc lieu la nuit. Au vu des résultats, le printemps est la saison qui présente le plus d'événements de nuit, en liaison avec la saison de reproduction, d'élevage des jeunes, etc.

Les présentations des résultats ci-après ne détaillent que les mammifères régulièrement détectés en excluant les mammifères volants et autre faune de petite taille comprenant notamment des rongeurs, oiseaux, etc. Les résultats des sections courantes et du suivi sur le passage spécifique Grand Faune sont présentés à part.

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BELETTE/HERMINE	1	2			3
BLAIREAU	121	46	74	60	301
CHAT FORESTIER	27	21	61	61	170
CHAT SP.		1	1	4	6
FOUINE	1	8	2	8	19
FOUINE/MARTRE	1	3	1	9	14
HERISSON	1	3		12	16
HERMINE		2	4	4	10
LIEVRE	19	2	15	19	55
PUTOIS	1	1		1	3
RAGONDIN			2	2	4
RENARD ROUX	60	72	115	165	412
SANGLIER			1		1
Nombre total d'évènements	232	161	276	345	1014

Tableau 31 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [ouvrages de la ligne classique Franche-Comté](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU	2	4	21	59	86
CHAT SP.		12	1	4	12
CHEVREUIL		7	3	25	35
FOUINE		1	1	2	4
LIEVRE				5	5
RENARD ROUX	30	28	41	35	134
SANGLIER			2		2
Nombre total d'évènements	32	52	68	126	278

Tableau 32 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [sections courantes de la ligne classique Franche-Comté](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU	8	6	7	9	28
CHAT FORESTIER	10	1	4	2	17
CHAT SP.	15	6	10	31	62
CHEVREUIL		2	1		3
FOUINE	6	2	10	3	21
FOUINE/MARTRE	8	8	9	14	38
HERISSON	5	25	1	16	47
HERMINE		1		1	2
LAPIN	12		33	10	55
LIEVRE	62	7	58	54	181
MARTRE		5	1	4	10
PUTOIS		3		3	6
RENARD ROUX	73	29	26	36	159
Nombre total d'évènements	199	95	160	183	636

Tableau 33 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [ouvrages de la ligne classique Rhône-Alpes](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU	33	39	63	78	213
CERF	1				1
CHAT FORESTIER	7	7	7	17	38
CHAT SP.	1	5		1	7
CHEVREUIL	1	2	1	40	44
FOUINE				2	2
FOUINE/MARTRE	2	1	4	3	10
HERISSON				1	1
LIEVRE	35	23	29	34	121
MARTRE			1		1
PUTOIS	3				3
RENARD ROUX	68	66	94	37	265
SANGLIER		2			2
Nombre total d'évènements	151	145	199	213	708

Tableau 34 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [ouvrages de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU	45	3	2	16	66
CERF	1				1
CHAT FORESTIER	3	1	5	8	17
CHAT SP.				1	1
CHEVREUIL	1		1	3	5
LIEVRE			4	4	8
RENARD ROUX	10	7	40	38	95
SANGLIER	15		7		22
Nombre total d'évènements	75	11	59	70	215

Tableau 35 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [sections courantes de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU	-	1		14	15
CERF	-	1			1
CHAT FORESTIER	-			3	3
CHEVREUIL	-	37		42	79
FOUINE/MARTRE	-	1		1	2
LIEVRE	-	64		1	65
RENARD ROUX	-	6		7	13
SANGLIER	-	12		22	34
Nombre total d'évènements	<i>Non étudié</i>	59	<i>Non étudié</i>	153	212

Tableau 36 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur le [passage spécifique Grande Faune \(n°4\) de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU	5	11	47	164	227
CHAT FORESTIER	13	15	7	17	52
CHAT SP.	4	5	5	2	16
CHEVREUIL	1	4		4	9
FOUINE	1	1		1	3
FOUINE/MARTRE	3	9	12	39	63
HERISSON				4	4
LIEVRE	11	5	63	36	115
MARTRE		2	1	1	4
MUSTELIDE sp.	2				2
PUTOIS		2	3	4	9
RAGONDIN			1		1
RENARD ROUX	35	24	21	16	96
Nombre total d'évènements	75	78	160	288	601

Tableau 37 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [ouvrages de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon](#)

Espèces/ Saison	Automne	Eté	Hiver	Printemps	Total général
BLAIREAU		11	10	10	31
CHAT FORESTIER	5	1		7	13
CHEVREUIL	1	14		1	16
FOUINE/MARTRE		3		1	4
PUTOIS	2	1			3
RENARD ROUX	6	1	10	6	23
SANGLIER		5	9		14
Nombre total d'évènements	14	36	29	25	104

Tableau 38 : Nombre d'évènements (fréquentation et traversée) par espèces et par saison sur les [sections courantes de la ligne nouvelle LGV Paris Lyon](#)

4.2.1.1. Les traversées sur les ouvrages non dédiés à la faune terrestre

A partir des évènements, les traversées avérées et probables ont été retenus en croisant ces traversées avec le nombre de jour de suivis permettant ainsi d'obtenir un nombre de traversées/jour en fonction des espèces photographiées (cf. tableau 39). Les espèces ont été regroupées en trois grands groupes (Carnivores, Lagomorphes et Ongulés).

Au sein du groupe des carnivores (cf. figure 77), 3 espèces majoritaires représentant 80 % des franchissements quel que soit le type d'ouvrage non dédié sur ligne classique ou LGV, sont respectivement, le Renard, le Blaireau et le Chat forestier.

En fonction des ouvrages et des lignes étudiées, les nombres de traversées/jour varient fortement d'un ouvrage à un autre (cf. figure 78) allant de 0,02 à 1,72 traversée de faune terrestre par jour.

Type	Carnivores	Lagomorphes	Ongulés	Total faune terrestre
Type 1 – Ouvrage supérieur avec voies revêtues	0,23	0,10	0,001	0,33
Type 2 – Ouvrage supérieur avec voies stabilisées	0,37	0,14	0,01	0,52
Type 3 – Ouvrage inférieur avec voies revêtues	0,38	0,14	0,01	0,53
Type 4– Ouvrage inférieur avec voies stabilisées	0,47	0,13	0,01	0,61
Type 5– Ouvrage inférieur (buses, dalots) hauteur < 2 mètres	0,56	-	-	0,56

Tableau 39 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre

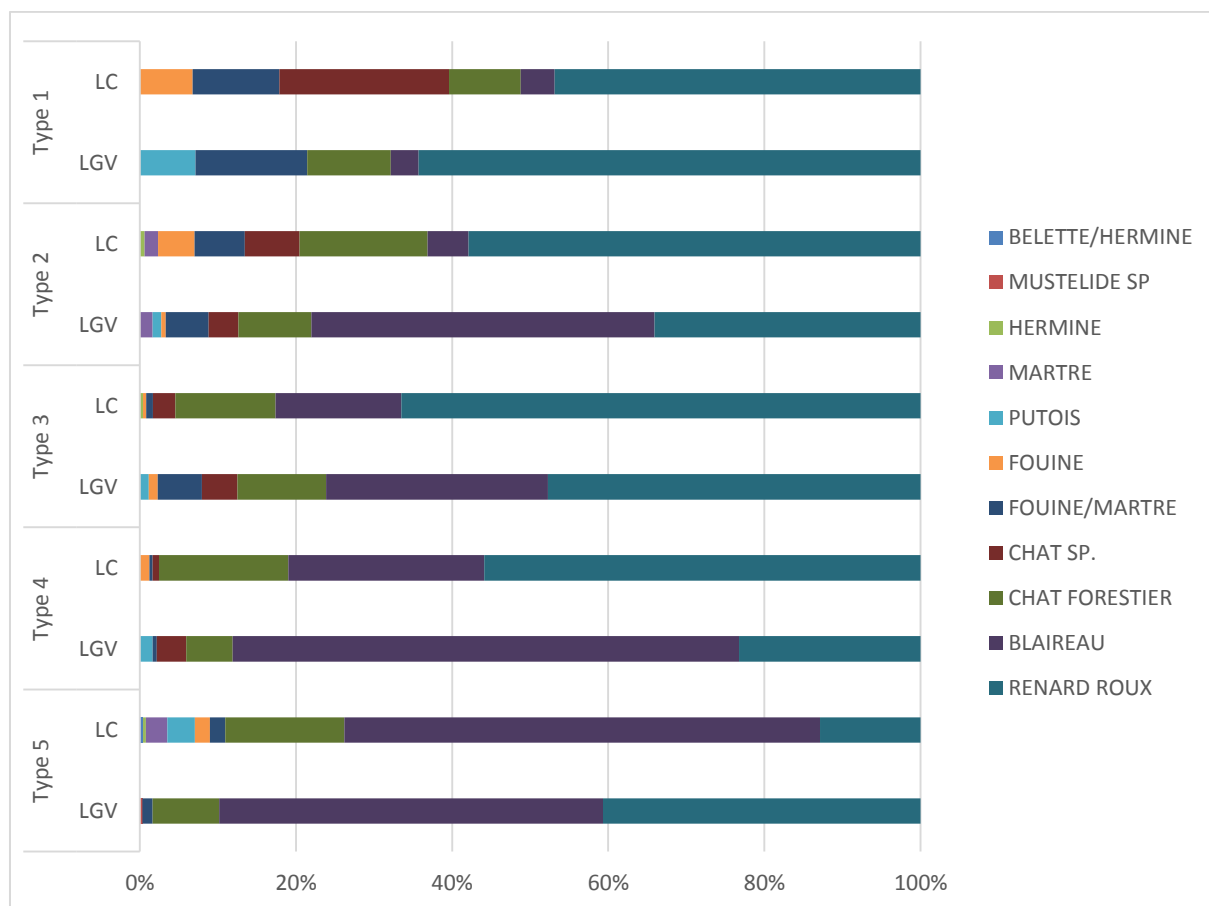


Figure 77: Proportion en pourcentage des traversées/jour au sein du groupe des carnivores selon le type d'ouvrages et le type de ligne (classique ou nouvelle)

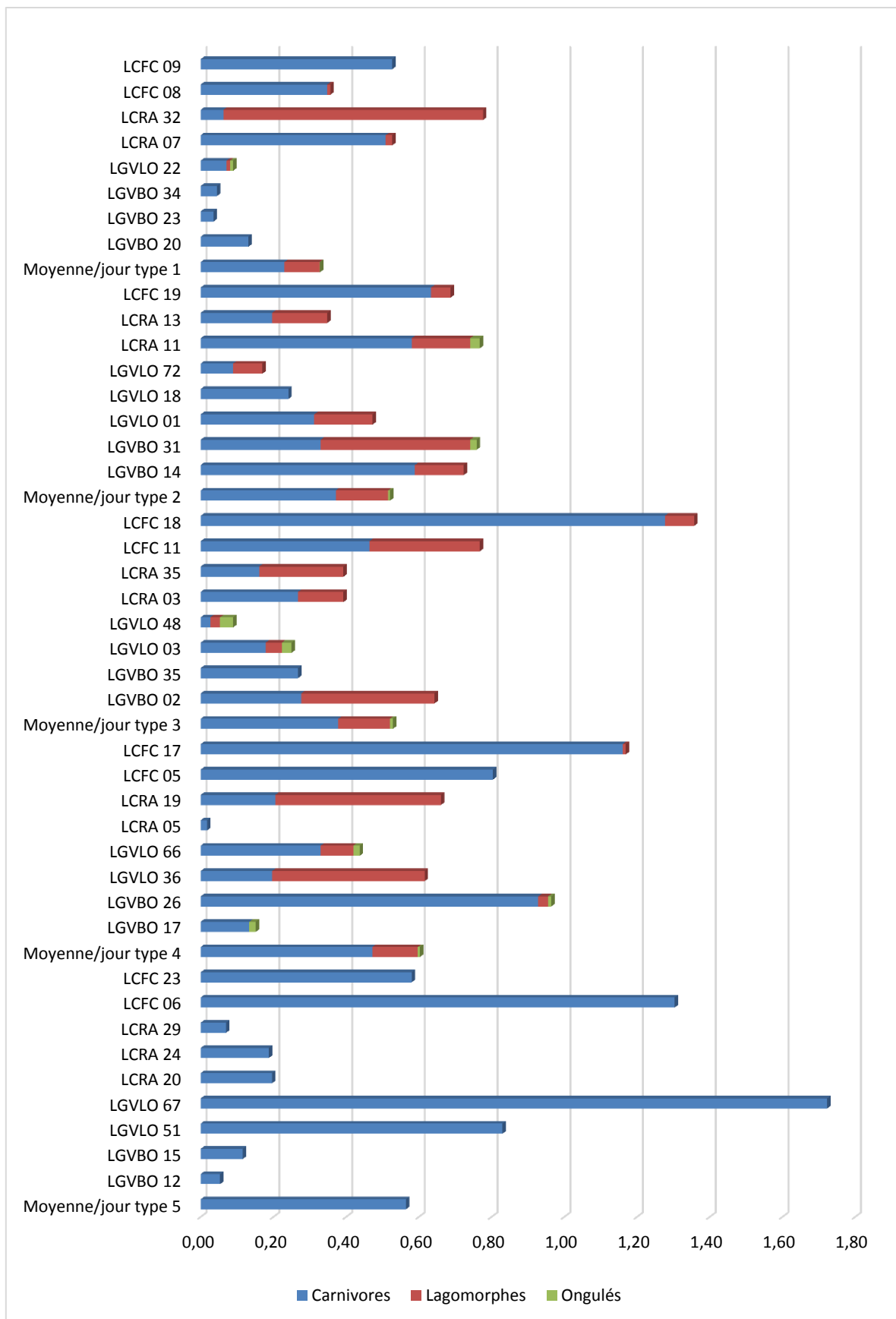


Figure 78: Nombre de traversées/jour de la faune terrestre sur les ouvrages non dédiés à la faune

De manière générale, les passages supérieurs sont très rarement utilisés et franchis en journée par la faune terrestre à l'exception du Lièvre et du Chat forestier. Par contre la nuit, la fréquentation est plus importante quel que soit la saison.

Nombre de franchissements (tous taxons confondus)	Automne		Eté		Hiver		Printemps	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Ouvrages avec revêtement enrobé (type 1)	0	47	1	53	1	102	3	129
Ouvrages avec revêtement stabilisé (type 2)	0	155	5	65	2	149	24	105

Tableau 40 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages supérieurs (type 1 & type 2)

Pour les passages inférieurs (type 3 ou type 4), ils sont fréquentés même en journée par la faune terrestre en particulier en périodes estivale et printanière (notamment par le Lièvre). La comparaison des revêtements (type 3 avec revêtement enrobé et type 4 avec revêtement stabilisé) montre bien une fréquentation plus importante et régulière pour les ouvrages inférieurs à revêtement stabilisé pour le Blaireau et le franchissement d'un Cerf sur un passage non adapté à l'espèce.

Ouvrages fréquentés (type 3)	Automne		Eté		Hiver		Printemps	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Nombre de franchissements (tous taxons confondus)	6	89	11	28	2	138	24	161
BLAIREAU		5		3		19	1	36
CHAT FORESTIER	1	5		1		19		15
CHAT SP.		2		2		2	1	4
CHEVREUIL						1	2	4
FOUINE				2				
FOUINE/MARTRE		1		1		1	1	3
HERISSON								2
HERMINE			1					
LIEVRE	2	33	2	1	1	35	7	38
PUTOIS		1						
RAGONDIN						1		

Tableau 41 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages de type 3

Ouvrages fréquentés (type 4)	Automne		Eté		Hiver		Printemps	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Nombre de franchissements (tous taxons confondus)	-	88	11	52	1	153	32	214
BLAIREAU		20		5		51	4	102
CERF		1						
CHAT FORESTIER		6		2		22	3	19
CHAT SP.			1	4		2	1	1
CHEVREUIL			2				1	1
FOUINE								3
FOUINE/MARTRE			1					1
HERISSON						1		1
LIEVRE		42	3	17	1	16	15	18
PUTOIS						1		2
RENARD ROUX		19	4	24		60	8	66

Tableau 42 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages inférieurs (type 4)

Pour les petits ouvrages inférieurs (busés ou de type dalot), ils s'avèrent franchis même en journée par la faune terrestre notamment en période estivale et printanière (principalement par des carnivores). De manière générale la fréquentation est beaucoup plus importante la nuit en toute saison.

Ouvrages fréquentés (type 5)	Automne		Eté		Hiver		Printemps	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
Nombre de franchissements (tous taxons confondus)	5	157	46	107	4	134	36	96
BELETTE/HERMINE	1							
BLAIREAU		112	1	56		61	16	62
CHAT FORESTIER	2	15	12	6	3	7	14	6
FOUINE			2	2		1		
FOUINE/MARTRE			4	2		3	1	
HERISSON			15	9				
HERMINE			1					
MARTRE			4	1			1	1
MUSTELIDE SP		1						
PUTOIS		1		4				4
RENARD ROUX	2	33	7	30	1	62	4	23

Tableau 43 : Nombre total de traversées par période et par espèce sur les ouvrages de type 5 (buse, dalots)

Globalement, ces traversées (total ou par jour) peuvent s'avérer faibles en comparaison avec la bibliographie actuelle ou les retours d'expériences sur les bilans LOTI.

Néanmoins, les résultats de «Trans-fer» collectés à grande échelle sur des ouvrages non dédiés sont globalement assez proches des résultats des suivis des ouvrages avec une fréquentation rarement supérieure à 1 par jour et toujours inférieure à 2 (CETE de l'Est, 1998 ; Matas *et al.*, 2003 ;

Joveniaux, 2005 ; Vignon, 2005 ; Herbouiller, 2005 ; SETRA, 2008 ; FDC39 & APRR, 2009 ; Salomon, 2010 ; Decaluwe, 2014 ; etc.).

Sur «Trans-fer», les passages supérieurs avec voies de circulation revêtues (béton, enrobé) sont les ouvrages les moins fréquentés tant en terme de franchissement par jour et avec une très faible fréquentation sur les ouvrages de lignes nouvelles (< 0,2 traversée/jour).

4.2.1.2. Les traversées sur les sections courantes par la faune terrestre

A partir des évènements, les traversées avérées et probables ont été retenus pour les sections courantes en croisant ces traversées avec le nombre de jour de suivis permettant ainsi d'obtenir un nombre de traversées/jour en fonction des espèces photographiées (cf. tableau 44). Néanmoins, selon les sections courantes, les nombres de traversées/jour varient fortement d'un secteur à un autre allant d'aucune traversée à 1,18 traversée sur une seule coulée de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne suivi durant 4 saisons. Sur le plan méthodologique, il est à noter que la détection des espèces sur les sections courantes est plus difficile, les animaux n'étant pas canalisés par les ouvrages, ce qui fait que les décomptes sont probablement sous-estimés par rapport aux passages supérieurs ou inférieurs.

Sections courantes	Carnivores	Lagomorphes	Ongulés	Total faune terrestre
LC Franche-Comté	0,92	0,02	0,16	1,10
LGV Est-Européenne en Lorraine	0,40	0,01	0,01	0,42
LGV Paris Lyon en Bourgogne	0,49			0,49

Tableau 44 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre

Au sein du groupe des carnivores, 3 espèces majoritaires représentant plus de 95 % des franchissements quel que soit le secteur étudié sur ligne classique ou ligne nouvelle, sont respectivement, le Renard (58%), le Blaireau (31%) et le Chat forestier (7%).

Pour les autres taxons, les cas de franchissements sont extrêmement rares en dehors des deux coulées étudiées sur la ligne classique en Franche-Comté (représentant 88% des évènements).



Le cas du site de la LGV Est-Européenne mérite d'être mentionné avec 4 franchissements du Lièvre d'Europe et 1 de Sanglier.

Or, ce site (photo ci-contre) correspond à une grille installée (espace de 14 à 25 cm entre les barreaux) au niveau d'un fossé en dessous du périmètre grillagé de la LGV Est-Européenne.

4.2.1.3. Les traversées sur le passage supérieur spécifique Grande Faune



Sur le seul passage supérieur spécifique Grande Faune étudié sur la ligne LGV Est-Européenne (cf. photographie ci-contre), les traversées avérées et probables ont été retenus en croisant ces traversées avec le nombre de jour de suivis (deux mois de suivis soit 56 jours seulement au lieu des 112 jours sur les autres ouvrages non dédiés à la faune) permettant ainsi d'obtenir un nombre de traversées/jour en fonction des espèces photographiées (cf. tableau 45).

Sections courantes	Carnivores	Lagomorphes	Ongulés	Total faune terrestre
LGV Est-Européenne en Lorraine	0,55	1,16	2,01	3,72

Tableau 45 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre

Au sein du groupe des ongulés, 3 espèces franchissent cet ouvrage avec une majorité de Chevreuil (70%) et de Sanglier (29%). Le Cerf d'Europe a été observé une seule fois franchissant l'ouvrage. Néanmoins, cette observation s'avère être la 1^{ère} observation de l'espèce depuis la mise en œuvre de ce passage (RFF, 2011).

Pour les autres taxons, les cas de franchissements concernent le Lièvre d'Europe (représentant l'ensemble des cas des Lagomorphes) et au sein des Carnivores sont majoritairement liés respectivement, au Renard et au Blaireau (42% chacun) et au Chat forestier (10%).

Nous n'avons hélas qu'un seul passage spécifique dans notre échantillon ce qui limite la portée statistique des comparaisons. Cependant, il est à noter que la fréquentation globale des mammifères terrestres est 5 à 10 fois supérieure à celle des passages inférieurs ou supérieurs non dédiés. La fréquentation par les carnivores est comparable aux meilleurs ouvrages inférieurs non dédiés (types 4 et 5) mais la différence se fait sur les lagomorphes (Lièvre...) et surtout les ongulés (cervidés et Sanglier). Cela démontre l'intérêt des passages spécifiques pour ces groupes.

4.2.1.4. Les fréquentations des abords sur les lignes classiques

A partir des événements de fréquentations des abords sur les deux sections courantes de la seule ligne classique de Franche-Comté mais également des ouvrages suivis sur les deux lignes classiques, la fréquentation des abords a été étudiée permettant de constater :

- Sur les sections courantes, une faible fréquentation observée (0,23 fréquentation/jour sur une seule section courante) pour trois espèces (Blaireau, Renard et Chevreuil) ;
- Sur les ouvrages non dédiés à la faune, une très faible fréquentation observée (0,13 fréquentation/jour) du seul groupe des carnivores (absence des lagomorphes et d'ongulés)

avec 4 espèces observées (Blaireau, Renard, Chat Forestier et Fouine) dont les 3 premières représentent la majorité des évènements (80%).

4.2.1.5. Les fréquentations des abords sur les lignes nouvelles

A partir des évènements sur les sections courantes des deux lignes nouvelles mais également des ouvrages suivis sur les deux lignes nouvelles, la fréquentation des abords a été étudiée permettant de constater :

- Sur les sections courantes, une faible fréquentation observée (0,34 fréquentation/jour en moyenne – détail par site étudié cf. tableau 46) avec 7 espèces observées réparties au sein des trois groupes ; Carnivores (Blaireau, Renard et Chat Forestier), Lagomorphes (Lièvre d'Europe) et Ongulés (Cerf, Chevreuil et Sanglier) ;
- Sur les ouvrages non dédiés à la faune, une très faible fréquentation observée (0,12 fréquentation/jour) du seul groupe des carnivores (absence des lagomorphes et d'ongulés) avec 6 espèces observées (Renard, Blaireau, Chat Forestier, Fouine, Putois et Martre) dont les 3 premières représentent la majorité des évènements (43%).

Type	Carnivores	Lagomorphes	Ongulés	Total faune terrestre
LGV LO BV n°1	0,07	-	0,53	0,60
LGV LO BV n°2	0,18	0,07	0,03	0,28
LGV LO PB 37	0,33	0,03	0,07	0,43
LGV BO Proche n°20	-	-	0,03	0,03
LGV BO Forêt de Thoisy	0,17	-	0,21	0,38

Tableau 46 : Nombre de traversées/jour par type d'ouvrages et selon les grands groupes de faune terrestre

Sur les sections courantes, le Sanglier, avec le Blaireau, représente la majorité des fréquentations des abords (27%) sur les deux lignes nouvelles observées à toutes les saisons.

4.2.1.6. Bilan général sur la faune terrestre

Les espèces détectées sur chaque tronçon correspondent au panel des espèces des secteurs étudiés à l'exception de certaines espèces semi-aquatiques (Loutre, Castor), de grands carnivores (Lynx) ou d'espèces à répartition limitée (Chien viverrin, Chamois...).

Les ouvrages non dédiés à la faune s'avèrent régulièrement franchis par de nombreuses espèces (cf. tableau 47). Les éléments collectés permettent d'établir un état zéro de la connaissance sur la fréquentation de ce type d'ouvrage avec des quantifications intéressantes en terme de nombre moyen de franchissement par jour (tous taxons confondus et selon les groupes taxonomiques). Cependant, la quasi absence ou la très faible fréquence des ongulés (Cerf, Chevreuil, Sanglier) au niveau de ces ouvrages est constatée sur l'ensemble des lignes étudiées.

Sur les sections courantes étudiées, les nombres de traversées/jour semblent comparables à ce que l'on observe sur les ouvrages non dédiés. Cependant, les valeurs varient fortement d'un secteur à un autre allant d'aucune traversée à 1,18 traversée sur une seule coulée de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne suivi durant 4 saisons. Au sein du groupe des carnivores, 3 espèces majoritaires représentant plus de 95 % des franchissements quel que soit le secteur étudié sur ligne classique ou ligne nouvelle, sont respectivement, le Renard (58%), le Blaireau (31%) et le Chat forestier (7%). Les ongulés sont un peu plus présents (notamment en Franche Comté) mais restent rares.

Sur le seul passage supérieur spécifique Grande Faune étudié sur la ligne LGV Est-Européenne, le nombre de traversées/jour est important avec 3.72/jour, soit 5 à 10 fois plus que pour les ouvrages non dédiés ou les sections courantes. Au sein du groupe des ongulés, 3 espèces franchissent cet ouvrage avec une majorité de Chevreuil (70%) et de Sanglier (29%). Le Cerf d'Europe a été observé une seule fois. Pour les autres taxons, les cas concernent le Lièvre d'Europe (représentant l'ensemble des cas des Lagomorphes) et au sein des Carnivores, sont majoritairement liés respectivement, au Renard et au Blaireau (42% chacun) et au Chat forestier (10%).

Tronçon	LC Franche-Comté	LC Rhône-Alpes	LGV Lorraine	LGV Bourgogne
Nombre d'espèces observées	13	13	13	13
Nombre moyen de franchissements ⁷ /jour sur des ouvrages non spécifiques	0,88	0,47	0,54	0,51
Nombre moyen de franchissements/jour sur des sections courantes étudiées (coulées, passages sous clôtures)	1,10	-	0,42	0,49
Nombre moyen de franchissements/jour sur le passage spécifique supérieur Grande Faune de la LGV Est-Européenne	-	-	3,72	-

Tableau 47 : Nombre d'espèces et nombre moyen de franchissements/jour sur les lignes étudiées.

A partir des évènements de fréquentations des abords sur les sections courantes mais également des ouvrages non dédiés à la faune, la fréquentation des abords a été étudiée permettant de constater :

- Sur les sections courantes des lignes classiques, une faible fréquentation observée (0,23 fréquentation/jour) pour trois espèces (Blaireau, Renard et Chevreuil). Le faible niveau de fréquentation pourrait s'expliquer par le fait que les animaux sont présents de façon diffuse tout au long de la ligne compte tenu de l'absence de clôtures ;
- Sur les sections courantes des LGV, une faible fréquentation observée (0,34 fréquentation/jour en moyenne) avec 7 espèces observées réparties au sein des trois groupes ; Carnivores (Blaireau, Renard et Chat Forestier), Lagomorphes (Lièvre d'Europe) et Ongulés (Cerf, Chevreuil et Sanglier). Le Sanglier et le Blaireau représentent plus de la moitié

⁷ Les sections courantes ne sont pas intégrées dans ces moyennes.

des observations aux abords (27% chacun) en totalisant les observations à toutes les saisons sur les deux LGV ;

- Sur les ouvrages non dédiés à la faune, une très faible fréquentation observée (0,12 à 0,13 fréquentation/jour respectivement sur les lignes nouvelles et lignes classiques) du seul groupe des carnivores (absence des lagomorphes et d'ongulés) :
 - Pour les lignes classiques, 4 espèces observées (Blaireau, Renard, Chat Forestier et Fouine) dont les 3 premières représentent la majorité des évènements (80%) ;
 - Pour les lignes nouvelles, 6 espèces observées (Renard, Blaireau, Chat Forestier, Fouine, Putois et Martre) dont les 3 premières représentent la majorité des évènements (43%)

En conclusion, l'absence de franchissement de certains ongulés, notamment le Sanglier et le Cerf, sur des ouvrages non dédiés à la faune, la fréquentation des abords des lignes nouvelles totalement grillagées par ce mêmes animaux et l'importance des franchissements constatés sur le seul site spécifique Grande Faune confirment bien l'intérêt pour la grande faune terrestre de ce type d'ouvrage spécifique.

4.2.2. Les chiroptères

Sur les 100 000 séquences enregistrées sur les 4 lignes étudiées, 66 128 séquences de chiroptères ont été identifiées. Les espèces (ou groupes d'espèces) sont de l'ordre d'une dizaine pour chaque tronçon ferroviaire étudié.

Pour chacun des 4 tronçons étudiés, un maximum de 24 points d'écoute d'une nuit complète a été effectué lors de chacune des 3 sessions réalisées entre mai et octobre (étalées sur 2012 et 2013). Les points d'écoute étaient réalisées à la fois au sein d'ouvrages inférieurs, en extérieur au niveau des passages supérieurs (ponts) et sur différentes sections courantes (SC).

Nombre de points d'écoute d'une nuit complète pour chaque type d'ouvrage des deux types de lignes (LC et LGV)			
Type / hauteur d'ouvrage	Nombre de points d'écoute (LC)	Nombre de points d'écoute (LGV)	Nombre de points d'écoute (LC+LGV)
	LC : 110	LGV : 140	LC+LGV : 250
< 1 m	7	24	31
1 à 2 m	24	19	43
2 à 4 m	33	15	48
> 4 m	12	30	42
Pont	21	37	58
Section Courante	13	15	28

Tableau 48 : Nombre de points d'écoute effectués pour les chiroptères selon la classe de hauteur des ouvrages inférieurs pour les lignes classiques (LC) et les lignes à grande vitesse (LGV).

Le détail des points d'écoute pour chaque tronçon ferroviaire est présenté en annexe 7.3.

Le nombre de points d'écoute est plus importants sur les LGV (n = 140) que sur les LC (n = 110), avec une distribution notablement différente pour les ouvrages d'une hauteur inférieure à 1 m (LC = 7 ; LGV = 24) et ceux d'une hauteur comprise entre 2 et 4 m (LC = 33 ; LGV = 15). Cette répartition est liée à la différence du nombre et du type de ces deux types d'ouvrages sur les lignes ferroviaires étudiées.

En effet, des ouvrages (buses ou dalots) d'une dimension inférieure à 1 m sont extrêmement rares sur des lignes classiques construites au 19^{ème} siècle alors que ce type d'ouvrage est installé régulièrement sur les lignes nouvelles.

Espèces	LC Franche-Comté (FC)	LC Rhône-Alpes (RA)	LGV Lorraine (LO)	LGV Bourgogne (BO)
Grand rhinolophe	X		X	X
Petit rhinolophe	X	X	X	X
Rhinolophe euryale	X	X		X
Murin sp.	X	X	X	X
Groupe Sérotule	X	X	X	X
Noctules sp.	X	X		X
Oreillard sp.			X	X
Pipistrelle commune	X	X	X	X
Groupe Pipistrelle Kuhl/Nathusius	X	X	X	X
Minioptère de Schreibers/Pipistrelle Pygmée	X	X	X	X
Barbastelle d'Europe	X	X		X
Chiroptera sp.	X	X	X	X

Tableau 49 : Espèces ou groupes d'espèces de chiroptères contactés sur les différentes lignes étudiées

Les activités de chiroptères sont principalement dominées par la **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) (77% des contacts – cf. figure 79) et dans une moindre mesure (17%) par les murins (*Myotis spp.*), notamment au niveau des cours d'eau. D'autres espèces sont présentes mais restent relativement anecdotiques : les **Pipistrelles de Kuhl-Nathusius** (2% - groupe d'espèces regroupant *Pipistrellus kuhlii* & *Pipistrellus nathusii*), les « **Sérotules** » (2% - groupe d'espèces regroupant les sérotines (*Eptesicus serotinus* / *Eptesicus nilssonii* / *Vespertilio murinus*) et les noctules *Nyctalus noctula* / *Nyctalus leisleri*), la **Barbastelle d'Europe** (1% des contacts - *Barbastella barbastellus*), le groupe **Minioptère de Schreibers** (*Miniopterus schreibersii*) & **Pipistrelle pygmée** (*Pipistrellus pygmaeus*), le groupe des **oreillards** (*Plecotus spp.*), le **Grand rhinolophe** (*Rhinolophus ferrumequinum*), le **Petit rhinolophe** (*Rhinolophus hipposideros*) et le **Rhinolophe euryale** (*Rhinolophus euryale*).

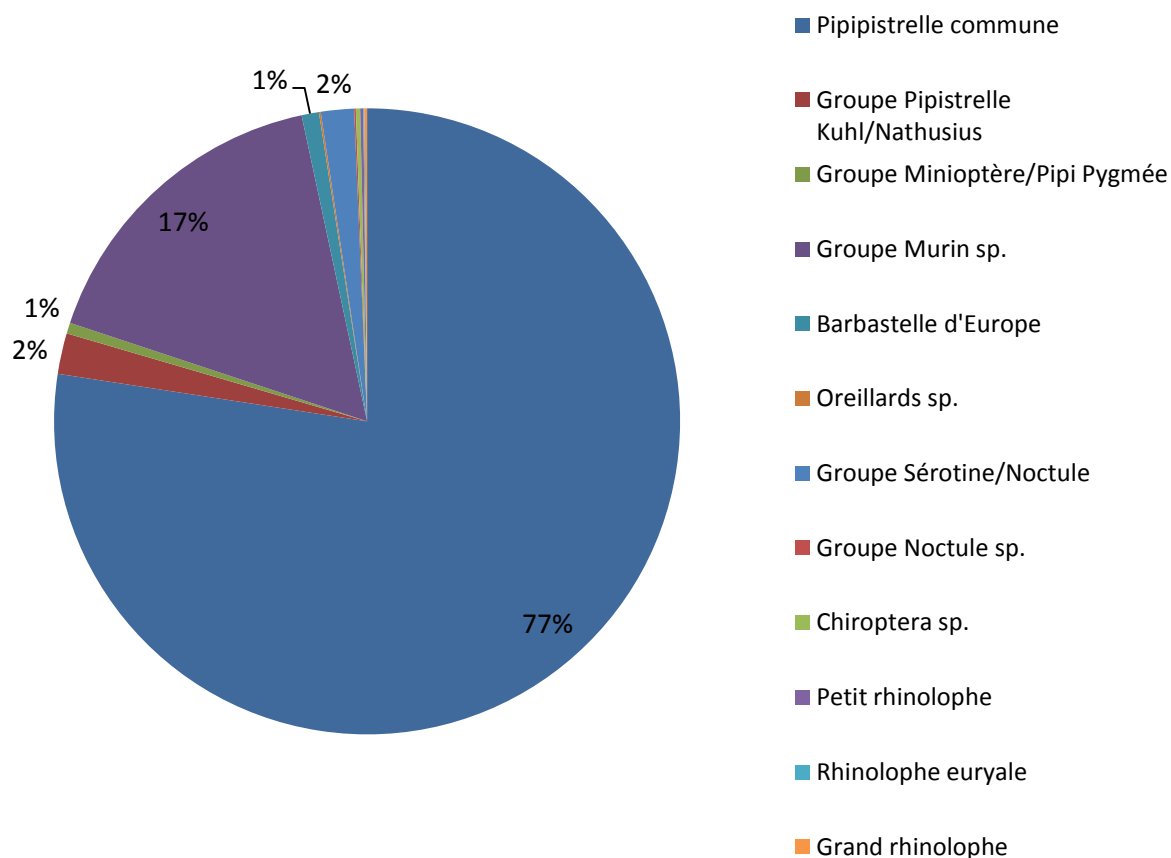


Figure 79: Proportion en pourcentage du nombre total de contacts par espèces ou groupe d'espèces

Les tableaux et graphiques ci-dessous présentent les nombres de contact moyens par type d'ouvrage pour les deux types de lignes (LC ou LGV) sur les 250 points d'écoute réalisés sur l'ensemble des sessions effectuées entre mai et octobre (en 2012 et 2013).

Ces résultats pondérés par le nombre de points d'écoute réalisés permettent une comparaison de la fréquentation relative des chiroptères entre les différents types d'ouvrage.

Lignes Classiques	Nombre total de contacts (toutes espèces)	Nombre de points d'écoute (nuit complète)	Nombre moyen de contact/nuit	Nombre total d'espèces ou groupes d'espèces contactées
Hauteur des ouvrages				
< 1 m	187	7	26,7	5
1 à 2 m	387	24	16,1	7
2 à 4 m	4 707	33	142,6	6
> 4 m	13 294	12	1 107,8	9
Pont	5 398	21	257,0	10
Section Courante (SC)	703	13	54,1	9

Lignes à Grande Vitesse	Nombre total de contacts (toutes espèces)	Nombre de points d'écoute (nuit complète)	Nombre moyen de contact/nuit	Nombre total d'espèces ou groupes d'espèces contactées
Hauteur des ouvrages				
< 1 m	2 319	24	96,6	4
1 à 2 m	1 015	19	53,4	9
2 à 4 m	4 483	15	298,9	5
> 4 m	24 485	30	816,2	8
Pont	7 450	37	201,3	10
Section Courante (SC)	1 700	15	110,0	7

Tableau 50 : Nombre total de contacts et moyen/nuit d'écoute par type d'ouvrages ou sections courantes avec le nombre total d'espèces contactées

4.2.2.1. La fréquentation des chiroptères sur des ouvrages non dédiés

Quelque-soit le lieu géographique (tronçons de Rhône-Alpes, Franche-Comté, Lorraine ou Bourgogne) et le type de ligne ferroviaire (lignes classiques ou lignes à grande vitesse), les résultats obtenus au cours de cette étude réalisée en 2012 et 2013 montrent que :

- Les chauves-souris fréquentent tous les types d'ouvrages (cf. figure 80) avec un nombre moyen de contacts obtenus, toutes espèces confondues, pour les LC et les LGV assez proche quelque-soit le type d'ouvrage ;
- Les ouvrages inférieurs avec des hauteurs > 4 m accueillent les activités les plus élevées ;
- La diversité la plus élevée en espèce ou groupes d'espèces (cf. tableau 50) a été observée sur des ouvrages d'une hauteur supérieur à 2 mètres ou sur les passages supérieurs (ponts) ;
- La fréquentation des passages supérieurs (ponts) est assez importante aussi bien pour les LC que les LGV (environ 200 contacts /nuit). Ces ouvrages supérieurs pourraient donc avoir un intérêt de guidage pour les chauves-souris afin de franchir l'infrastructure ferroviaire ;

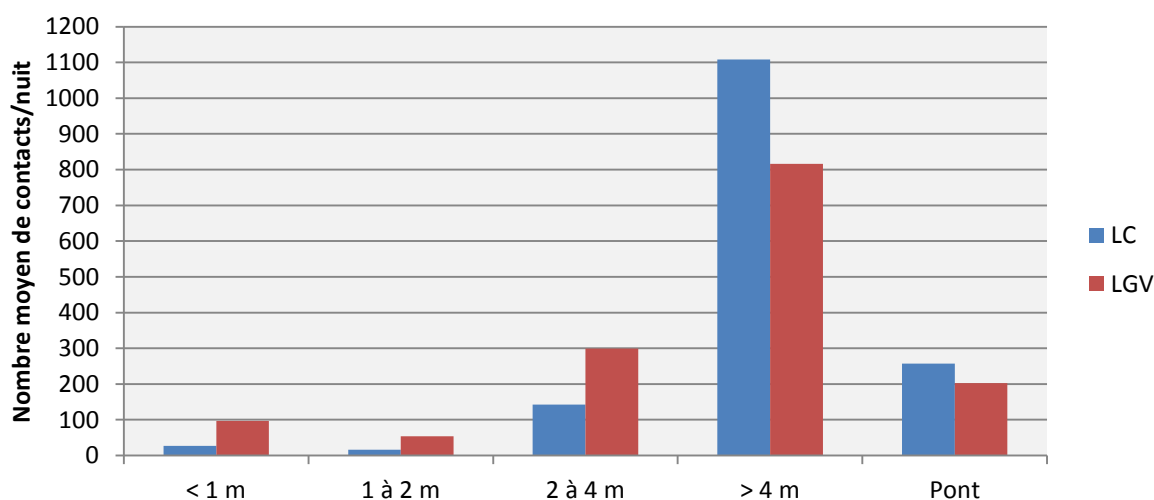


Figure 80: Nombre moyen de contacts de toutes espèces par ouvrage (hauteur, type)

- Le groupe des pipistrelles (composée très majoritairement par la Pipistrelle commune et le groupe Pipistrelle de Kuhl/Nathusius) et les murins (surtout le Murin de Daubenton pour les ouvrages hydrauliques) préfèrent donc des ouvrages avec des hauteurs supérieures à 4 m, et dans une bien moindre mesure, les ponts et les ouvrages entre 2 à 4 m de hauteur ;
- Le groupe Minioptère de Schreibers / Pipistrelle pygmée préfère emprunter les ouvrages avec des hauteurs > 4 m, et les ponts également (même si uniquement observé pour les lignes classiques) ;
- Le nombre moyen de contacts des pipistrelles obtenus (cf. figure 81) pour les LC et les LGV est assez proche quelque-soit le type d'ouvrage, à l'exception de la catégorie d'ouvrages 2 à 4 m de hauteur ; les ouvrages de LGV ont obtenu des activités significativement plus élevées que les LC (276,5 contacts contre 78,1 en moyenne). Néanmoins, cette différence est principalement liée à un échantillonnage plus conséquent d'ouvrages pour les lignes classiques (11 ouvrages suivis) que pour les lignes nouvelles (5 ouvrages) avec des différences d'activités plus importantes selon les nuits d'études sur les lignes classiques ;

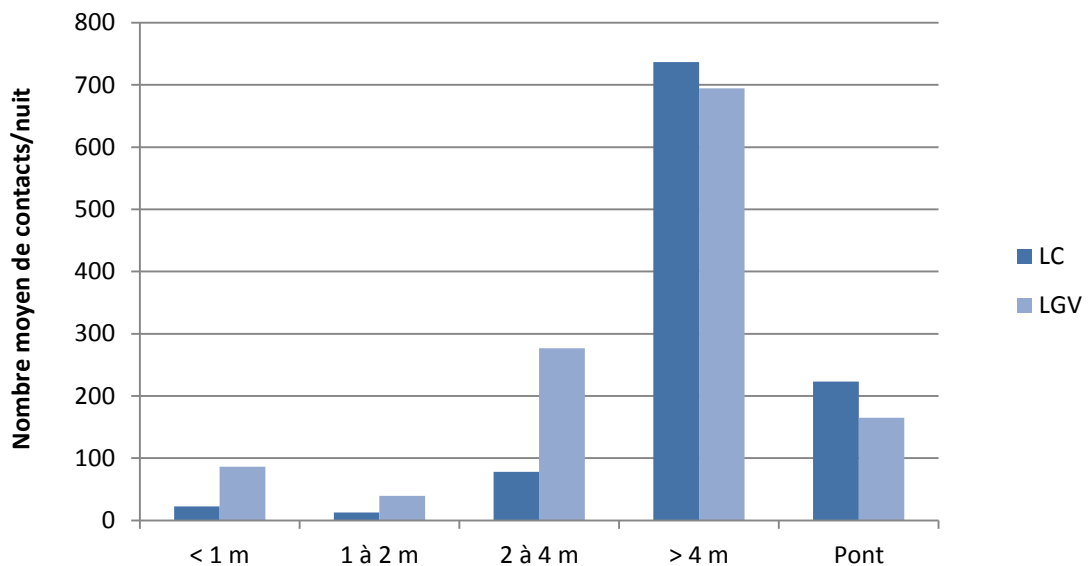


Figure 81: Nombre moyen de contacts de pipistrelle sp. par ouvrage (hauteur, type)

- Le nombre moyen de contacts des autres espèces (cf. figure 82) pour les LC et les LGV est nettement plus faible, à l'exception de la catégorie d'ouvrages supérieurs à 4 m de hauteur ; les ouvrages de LC ont obtenu des activités significativement plus élevées que les LGV (370,8 contacts contre 121,1 contacts en moyenne). Néanmoins, cette différence s'explique principalement par un échantillonnage plus conséquent d'ouvrages pour les lignes nouvelles (10 ouvrages) que pour les lignes classiques (4 ouvrages) avec une différence d'activités très marquées sur un ouvrage de la ligne LC RA sur une nuit avec 2 700 contacts de Murins sp.;

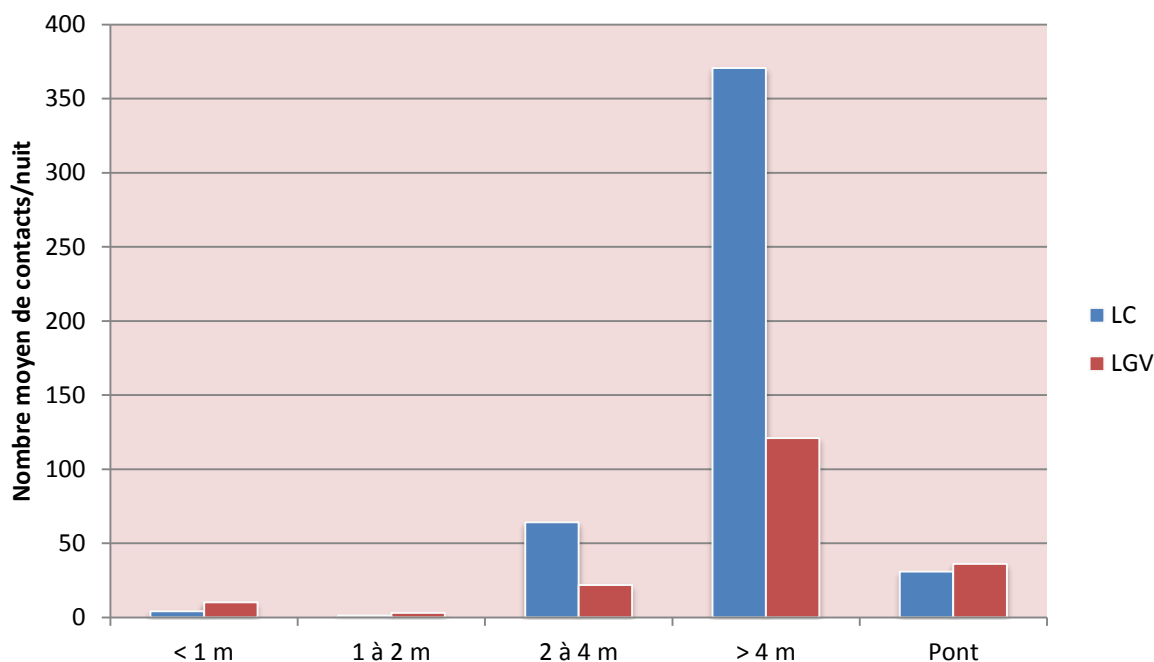


Figure 82: Nombre moyen de contacts de chiroptères (sauf pipistrelle sp.) par ouvrage (hauteur, type)

- Pour les rhinolophes (cf. figure 83), espèce particulièrement sensible à la fragmentation du paysage, le suivi montre que ces espèces ont fréquenté tous les types d'ouvrages aussi bien en LC qu'en LGV ;
- Le nombre moyen de contacts obtenus pour les LC et les LGV est très faible quelque-soit le type d'ouvrage inférieur. Ces résultats doivent néanmoins être corrigés en considérant que ce sont des espèces discrètes (leurs émissions sonores ne se propagent qu'à de faibles distances - 5 m en moyenne), et donc sont bien moins souvent détectées que les pipistrelles et murins par exemple ;
- La différence entre LC et LGV sur les ponts est liée à un échantillonnage plus conséquent d'ouvrages pour les lignes nouvelles (13 ouvrages) que pour les lignes classiques (8 ouvrages)

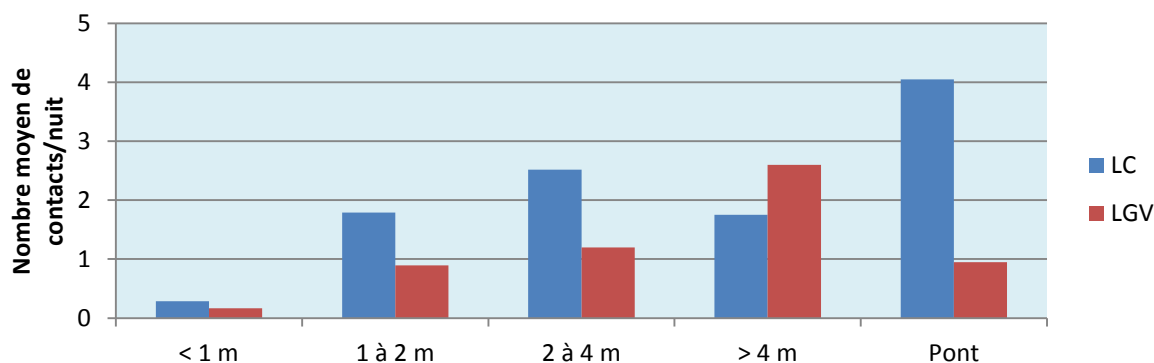


Figure 83: Nombre moyen de contacts de Rhinolophes par ouvrage (hauteur, type)

- Pour les oreillard et la Barbastelle d'Europe (cf. figures 84 et 85), le suivi montre que ces espèces n'ont pas fréquenté les ouvrages inférieurs d'une hauteur < 2 m, aussi bien en LC qu'en LGV ;

- Pour les oreillards, la fréquentation est extrêmement faible sur les différents types d'ouvrages comparativement aux autres espèces. Mais ces résultats doivent être corrigés en raison du caractère discret de ces espèces (leurs émissions sonores ne se propagent qu'à de faibles distances - 5 m en moyenne), et donc sont bien moins souvent détectées que les pipistrelles et murins par exemple ;

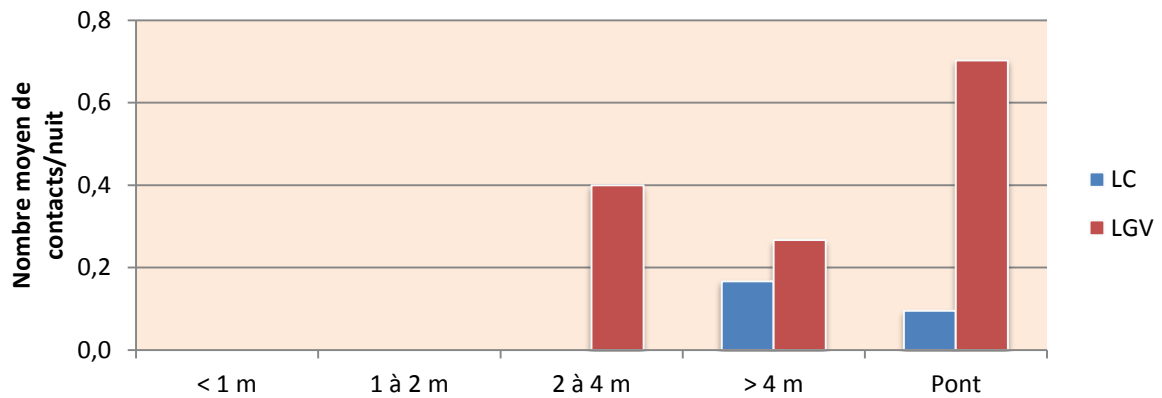


Figure 84: Nombre moyen de contacts d'Oreillard sp. par ouvrage (hauteur, type)

- Pour la Barbastelle d'Europe, la fréquentation est faible sur les différents types d'ouvrages. D'une manière générale, l'espèce fréquente plus régulièrement les passages supérieurs. Pour les LGV, cette espèce n'a pas été contactée en Lorraine induisant ainsi une baisse statistique significative de l'activité moyenne pour cette espèce.

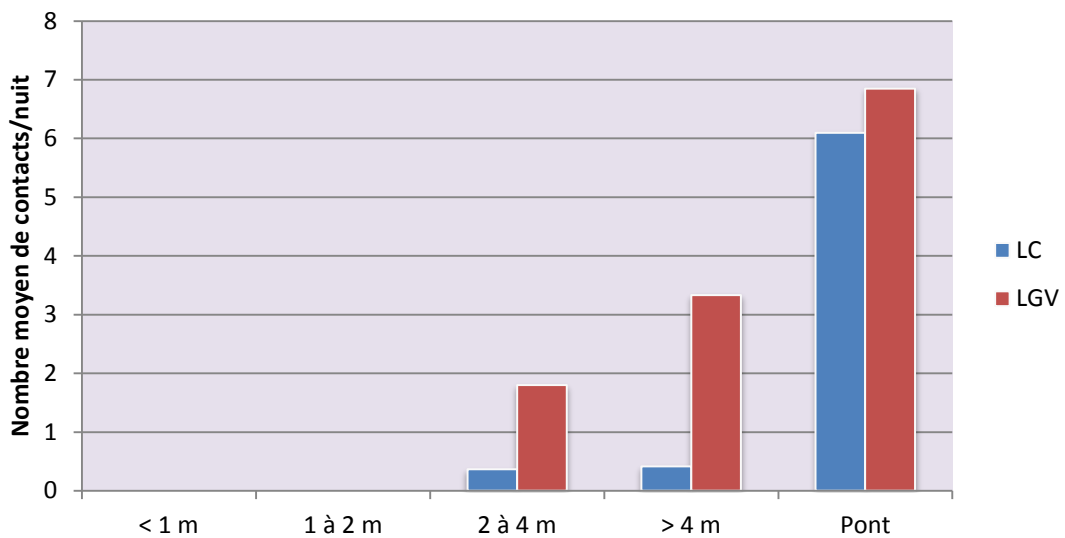


Figure 85: Nombre moyen de contacts de Barbastelle d'Europe par ouvrage (hauteur, type)

Type d'ouvrage	Nombre total de contacts (<i>toutes espèces</i>)	Nombre de nuits d'écoutes
< 1 m	184	6
1 à 2 m	144	3
2 à 4 m	1 448	6
> 4 m	1 631	6
Pont	3 986	13

Tableau 51 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne classique Franche-Comté

Type d'ouvrage	Nombre total de contacts (<i>toutes espèces</i>)	Nombre de nuits d'écoutes
< 1 m	3	1
1 à 2 m	246	22
2 à 4 m	3 256	26
> 4 m	11 663	6
Pont	1 412	8

Tableau 52 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne classique Rhône-Alpes

Type d'ouvrage	Nombre total de contacts (<i>toutes espèces</i>)	Nombre de nuits d'écoutes
< 1 m	2 319	24
1 à 2 m	737	10
2 à 4 m	1 226	3
> 4 m	9 274	15
Pont	4 206	15

Tableau 53 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

Type d'ouvrage	Nombre total de contacts (<i>toutes espèces</i>)	Nombre de nuits d'écoutes
1 à 2 m	278	9
2 à 4 m	3 257	12
> 4 m	15 211	15
Pont	3 244	22

Tableau 54 : Nombre de contacts de chiroptères selon le type d'ouvrages sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

4.2.2.1. Les fréquentations des abords par les chiroptères

A partir des nuits réalisées sur les sections courantes étudiées sur les lignes classiques et nouvelles (cf. tableau 55), la fréquentation des abords a été étudiée permettant de constater :

- Sur les sections courantes, une fréquentation moyenne est constatée avec toujours une dominance de la pipistrelle commune ;

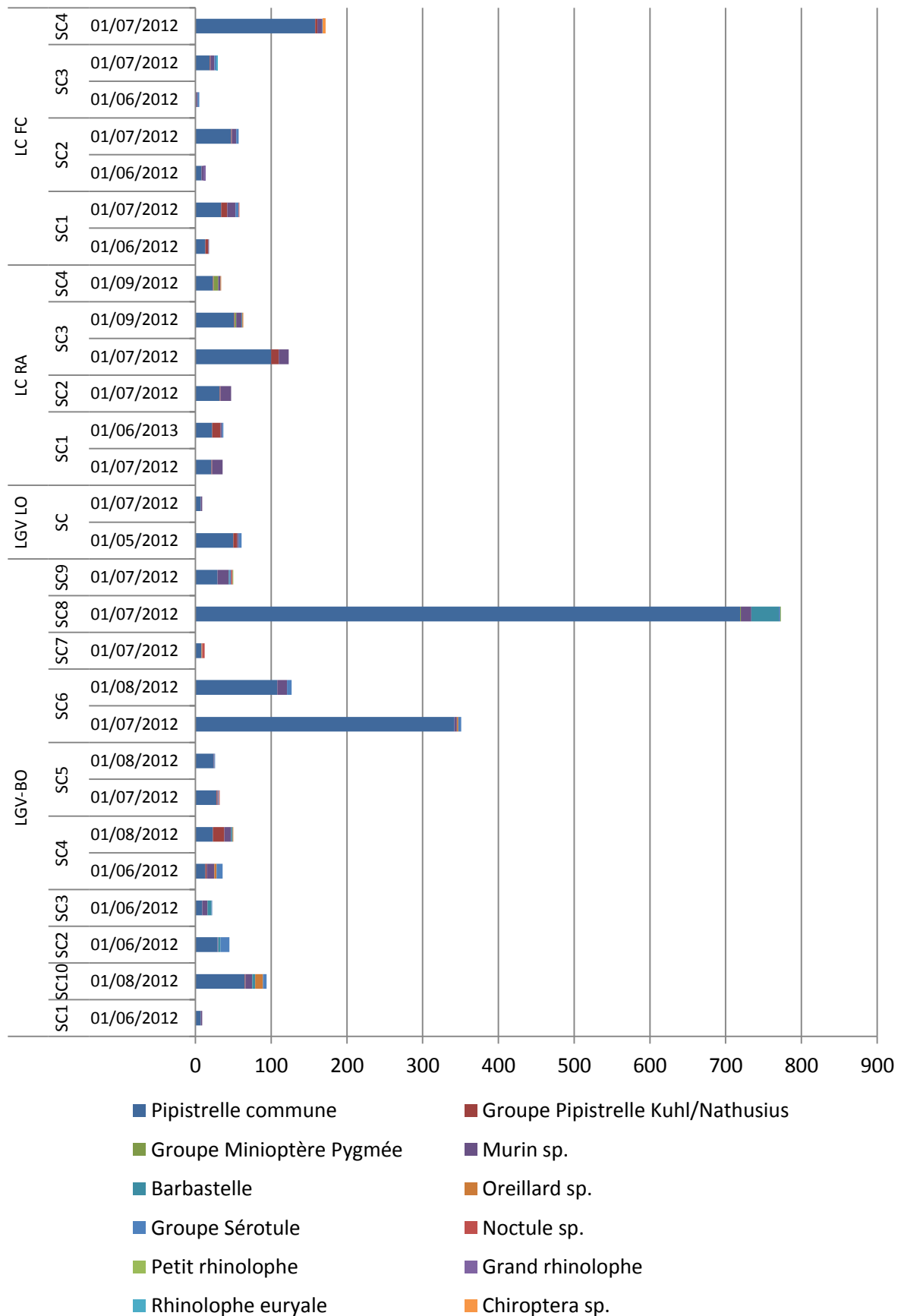


Figure 86: Nombre de contacts/nuit sur les différentes sections courantes étudiées

- Selon les sections courantes, l'activité constatée/nuit varie fortement d'un secteur à un autre allant de 2 contacts/nuit à plus de 750 contacts/nuit (cf. figure 86) avec une diversité importante d'espèces (entre 9 et 10 espèces représentatives des espèces contactées sur les ouvrages non dédiées) ;

Type d'ouvrage	Nombre total de contacts (toutes espèces)	Nombre de nuits d'écoutes	Nombre moyen de contact/nuit
LC Franche-Comté	352	7	50,3
LC Rhône-Alpes	351	6	58,5
LGV Lorraine	70	2	35
LGV Bourgogne	1 630	13	125,4

Tableau 55 : Nombre de contacts de chiroptères sur les sections courantes sur les 4 lignes étudiées

Il est intéressant de noter que la fréquentation moyenne des sections courantes est supérieure à celle des ouvrages < à 2 mètres de haut, mais notablement inférieure à celle des ouvrages > à 2 mètres de haut ou aux passages supérieurs.

4.2.2.1. Bilan général sur les chiroptères

Les espèces détectées sur chaque tronçon correspondent au panel des espèces des secteurs étudiés avec notamment la faible présence de la Barbastelle ou des rhinolophidés sur la LGV Lorraine qui sont en limite de répartition.

Les éléments collectés permettent d'établir un état zéro de la connaissance sur la fréquentation de ce type d'ouvrage avec des quantifications intéressantes en terme de nombre moyen de franchissement par jour (tous taxons confondus et selon les espèces ou groupes d'espèces).

Quelque-soit le lieu géographique (tronçons de Franche-Comté, Rhône-Alpes, Lorraine ou Bourgogne) et le type de ligne ferroviaire (lignes classiques ou lignes à grande vitesse), les résultats obtenus au cours de «Trans-fer» confirment que :

- Les chauves-souris fréquentent tous types d'ouvrages non dédiés à ce groupe comme démontrées dans d'autres références bibliographiques (Bach, Burkhardt & Limpens, 2004 ; Kerth & Melber, 2009 ; Limpens *et al.*, 2005) ;
- Le nombre moyen de contacts obtenus, toutes espèces confondues, pour les ouvrages étudiées des lignes classiques et nouvelles, s'avère important en comparaison (cf. tableau 56) avec d'autres références bibliographiques (Bach, Burkhardt & Limpens, 2004 ; Limpens *et al.*, 2005, Lugon *et al.*, 2011 ; Roué *et al.*, 2011) sans que l'on puisse avancer d'explications claires (variabilité de la richesse des territoires ?) ;
- La diversité la plus élevée en espèce ou groupes d'espèces a été observée sur des ouvrages d'une hauteur supérieur à 2 mètres ou sur les passages supérieurs (ponts) ;
- Le groupe des pipistrelles (composée très majoritairement par la Pipistrelle commune et le groupe Pipistrelle de Kuhl/Nathusius) et les murins (surtout le Murin de Daubenton pour les

ouvrages hydrauliques) préfèrent donc des ouvrages avec des hauteurs supérieures à 4 m, et dans une bien moindre mesure, les ponts et les ouvrages entre 2 à 4 m de hauteur confirmant également d'autres références conseillant un « tirant d'air » de 4 m de largeur x 2 m de hauteur (Bach, Burkhardt & Limpens, 2004 ; Boonman, 2011 ; Sétra, 2008);

	«Trans-fer» Lignes classiques	«Trans-fer» Lignes nouvelles LGV	Bach <i>et al.</i> , 2004	Lugon <i>et al.</i> , 2011	Roué, 2011
Nombre moyen de franchissements/nuit ⁸ sur des ouvrages < à 1m	26,7	96,6			
Nombre moyen de franchissements/nuit sur des ouvrages de 1 à 2 m	16,1	53,4	10 à 135 ⁹		
Nombre moyen de franchissements/nuit sur des ouvrages de 2 à 4 m	142,6	298,9	35 à 40		
Nombre moyen de franchissements/nuit sur des ouvrages > 4 m de hauteur	1 107,8	816,2	30 à 50	10 à 150 ¹⁰	537 à 907 ¹¹

Tableau 56 : Nombre moyen de franchissements/nuit sur les lignes étudiées et d'autres références bibliographiques

- Le groupe Minoptère de Schreibers/Pipistrelle pygmée préfère emprunter les ouvrages avec des hauteurs > 4 m confirmant ainsi d'autres publications (Lugon *et al.*, 2004 & 2011 ; Roué, 2011) ;
- Les trois espèces, Petit rhinolophe, Grand rhinolophe et Rhinolophe euryale, espèces particulièrement sensibles à la fragmentation du paysage, franchissent les infrastructures même dans de petits ouvrages (buses, dalots, ouvrages inférieurs à 2 m). Si pour le Petit rhinolophe, la fréquentation de ces petits ouvrages était connue dans les références bibliographiques (Bach, Burkhardt & Limpens, 2004 ; Limpens *et al.*, 2005), pour les deux autres espèces, cette fréquentation apporte de nouvelles connaissances. Ces trois espèces franchissent également les infrastructures (classiques ou nouvelles) par les ouvrages supérieurs démontrant également l'adaptabilité de ces espèces en utilisant les ponts comme structures de guidage (Boonman, 2011) ;
- La Barbastelle d'Europe et les oreillards ne traversent pas au sein d'ouvrages inférieurs d'une hauteur < 2 m ; alors que les autres espèces y arrivent plus ou moins aisément (nombre moyen de contacts de chiroptères/nuit < 10, sauf pour la Pipistrelle commune (< 100/nuit)) ;

⁸ Nuit = correspondant à l'heure du coucher du soleil au lever du soleil.

⁹ Selon les ouvrages suivis

¹⁰ Selon les nuits d'études

¹¹ Selon les nuits d'études

- la Barbastelle d'Europe emprunte préférentiellement les ponts et dans une moindre mesure les ouvrages avec des hauteurs > 2 m confirmant également d'autres références (Kerth & Melber, 2009) ;
- Selon les sections courantes, l'activité constatée/nuit varie fortement d'un secteur à un autre allant de 2 contacts/nuit à plus de 750 contacts/nuit avec une diversité importante d'espèces. Ces résultats confirment que les abords et accotements des lignes ferroviaires sont des secteurs attractifs pour des espèces généralistes telles que la Pipistrelle commune comme d'autres références bibliographiques l'ont démontré récemment (Van de Velde et al., 2014).

Il est intéressant de noter que la fréquentation moyenne des sections courantes est supérieure à celle des ouvrages < à 2 mètres de haut, mais notablement inférieure à celle des ouvrages > à 2 mètres de haut ou aux passages supérieurs. Cela tendrait à démontrer le rôle positif des grands passages inférieurs (> à 2 m de haut) et dans une moindre mesure des passages supérieurs pour les chiroptères. En revanche, les passages inférieurs de petite dimension (< à 2 mètres de haut) présentent un intérêt limité pour ce groupe à l'exception des rhinolophes.

4.2.3. Analyses sur les résultats des suivis sur la faune terrestre et les chiroptères avec les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique

Les unités éco-paysagères de chaque tronçon ont été identifiées à partir des photographies aériennes. Les résultats obtenus permettent une analyse globale de la répartition de la faune terrestre et des chiroptères et de mettre en perspective les facteurs limitants à la circulation de la faune avec les recommandations des Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE – cf. [chapitre 2.2](#)).

Afin de reporter le niveau de fréquentation des ouvrages par la faune sur les cartes d'occupation du sol, la fréquentation des ouvrages a été hiérarchisée de la façon suivante :

Hiérarchisation	Faune Terrestre	Chiroptères
Faible fréquentation	< 5 passages	< 50 contacts/nuit
Moyenne fréquentation	Entre 6 et 20 passages	Entre 51 et 100 contacts/nuit
Assez Forte fréquentation	Entre 21 et 50 passages	Entre 101 et 200 contacts/nuit
Forte fréquentation	> 50 passages	> 200 contacts/nuit

4.2.3.1. La ligne classique Franche-Comté

Ce secteur, situé entre la vallée du Doubs et la vallée de la Loue, est caractérisé en premier lieu par une faible présence du bâti (les milieux urbains représentent 0.18% de l'occupation du sol – cf. figure 87). La répartition entre milieux ouverts (cultures, prairies) et milieux boisés (forêt de feuillus et de résineux) est assez équilibrée sur l'ensemble du tronçon étudié. Les infrastructures (routes, réseau ferré) représente 3.72 % de la surface soit une surface relativement modeste mais impliquant un maillage routier finalement assez dense sur l'ensemble du secteur étudié.

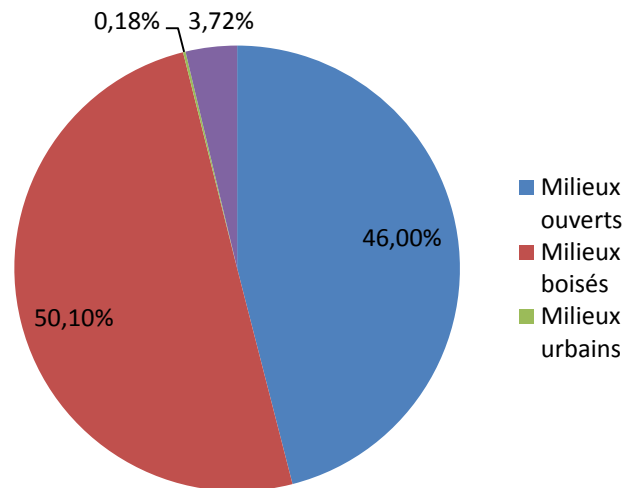


Figure 87: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne classique Franche-Comté

Globalement, la fréquentation des ouvrages non dédiés (cf. tableau 57) est assez forte à forte pour les mammifères terrestres à l'exception d'un ouvrage et de faible à forte pour les chiroptères.

Plusieurs ouvrages suivis sont situés au sein des trois corridors régionaux, mentionnés dans le SRCE de Franche-Comté, à préserver ou à remettre en bon état intersectés par la ligne classique étudiée.

Sur le premier corridor régional à préserver sur les communes d'Abbans-Dessous et de Byans-sur-Doubs (cf. figure 6), 5 ouvrages (n°1, 2, 3, 5 et 6) ont été suivis donnant une fréquentation forte pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores) et moyenne à forte pour les chiroptères. L'absence d'ongulés sur les ouvrages (notamment le Chevreuil ou le Sanglier observés franchissant à de nombreuses reprises la ligne sur le sud du Bois d'Orbège) confirme le franchissement régulier par les ongulés de la plateforme ferroviaire en dehors des ouvrages sur la ligne classique Franche-Comté. Avec un très faible trafic nocturne (0.8 trains/jour), les risques de collisions sont très faibles pour ces grands mammifères.



L'ouvrage n°2 (dalot inférieur à 1 m) possède une fréquentation moyenne en lien avec son faible dimensionnement. Néanmoins, l'ouvrage est fréquenté par le Petit rhinolophe en septembre durant la période de dispersion permettant ainsi un passage protégé pour cette espèce.

Sur le second corridor régional à préserver sur les communes de Fourg et de Liesle, 2 ouvrages supérieurs type pont (n° 8 & 9) ont été suivis donnant une fréquentation assez forte à forte pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores) et assez forte pour les chiroptères.

L'absence d'ongulés (notamment le Chevreuil observé à de nombreuses reprises en fréquentation des abords de cette ligne) est liée à plusieurs phénomènes :

- ces deux ouvrages sont situés sur des routes départementales avec un revêtement peu favorable aux ongulés ;
- entre ces deux ouvrages, la plateforme ferroviaire peut être franchie aisément par des ongulés grâce à un profil favorable (plateforme au terrain naturel) ;
- le très faible trafic nocturne (0.8 trains/jour) n'est pas un facteur de dérangement pour ces mammifères avec des risques de collisions très faibles.

Sur le troisième corridor régional à remettre en bon état sur la commune de Cramans et de Mouchard, 3 ouvrages (n°19, 20 et 23) ont été suivis donnant une fréquentation forte pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores) et moyenne à forte pour les chiroptères. L'absence d'ongulés (notamment le Chevreuil observé à de nombreuses reprises en fréquentation des abords de cette ligne) est toujours liée aux mêmes phénomènes précédemment décrits sur les autres corridors de la ligne.

L'ouvrage n°20 (dalot inférieur à 1 m) possède une fréquentation moyenne en lien avec son faible dimensionnement. De plus, cet ouvrage mériterait d'être nettoyé afin d'être de nouveau utilisable par les chiroptères ainsi que par la faune terrestre dans ce contexte forestier.

En dehors de ces corridors, les passages inférieurs sont fortement fréquentés par les carnivores et/ou les lagomorphes (notamment le lièvre) confirmant une utilisation régulière de ces ouvrages pour franchir la ligne classique même à proximité du village de Liesle (comme l'ouvrage n°11).

Cette ligne ferroviaire n'est pas identifiée parmi les infrastructures de transport fragmentant les couloirs de déplacement potentiel des espèces dans le SRCE. L'étude Trans-fer répond à l'action OB1-1 du SRCE « *Inventorier et hiérarchiser les points noirs de déplacements des espèces avec les infrastructures de transport* ». Elle démontre une fréquentation régulière par les carnivores, les lagomorphes et les chiroptères. Les ongulés franchissent la ligne classique en dehors des ouvrages comme démontré sur le bois d'Orbège (près des ouvrages n° 5 & 6).

La transparence écologique de cette ligne écologique pourrait cependant être améliorée sur certains ouvrages dans le cadre de l'orientation B de ce SRCE afin de « *limiter la fragmentation des continuités écologiques* » (cf. [chapitre 5.2.1](#)).

LC Franche-Comté N° ouvrage	Suivi Faune	Suivi Chiroptères	Evaluation fréquentation pour les mammifères	Evaluation fréquentation pour les chiroptères	Traces faune
1		X		Forte	
2		X		Moyenne	
3		X		Forte	Oui
5	X	X	Forte	Forte	Oui
6	X		Forte		
7		X		Forte	Oui
8	X	X	Assez Forte	Assez Forte	
9	X	X	Forte	Assez Forte	
10		X		Faible	
11	X	X	Forte	Forte	
12		X		Moyenne	
13		X		Faible	
14		X		Faible	Oui
17	X	X	Forte	Assez Forte	Oui
18	X		Forte		Oui
19	X	X	Forte	Forte	
20		X		Moyenne	
23	X		Forte		

Tableau 57 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne classique Franche-Comté

Suivi de la fréquentation des ouvrages

- Suivi Chiroptères
- Suivi Mammifères terrestres
- Suivi Chiroptères et Mammifères terrestres
- Franchissement ou fréquentation aux abords

- Forte fréquentation
- Assez forte fréquentation
- Moyenne fréquentation
- Faible fréquentation

Occupation du sol

- Réseau hydrographique
- Haies
- Réseau routier
- Eaux stagnantes
- Eaux courantes
- Prairies mésophiles extensives
- Forêts caducifoliées
- Forêts mixtes
- Friches et zones rudérales
- Landes et fourrés
- Végétation de ceinture des bords des eaux
- Cultures
- Parcs urbains, grands jardins, potagers
- Zones urbanisées ou industrielles

Indices de présence

- Carnivores
- Chiroptères
- Ongulés
- Sanglier
- Chevreuil et Sanglier
- Chevreuil
- Cerf et Chevreuil
- Cerf
- Ragondin

Coulées

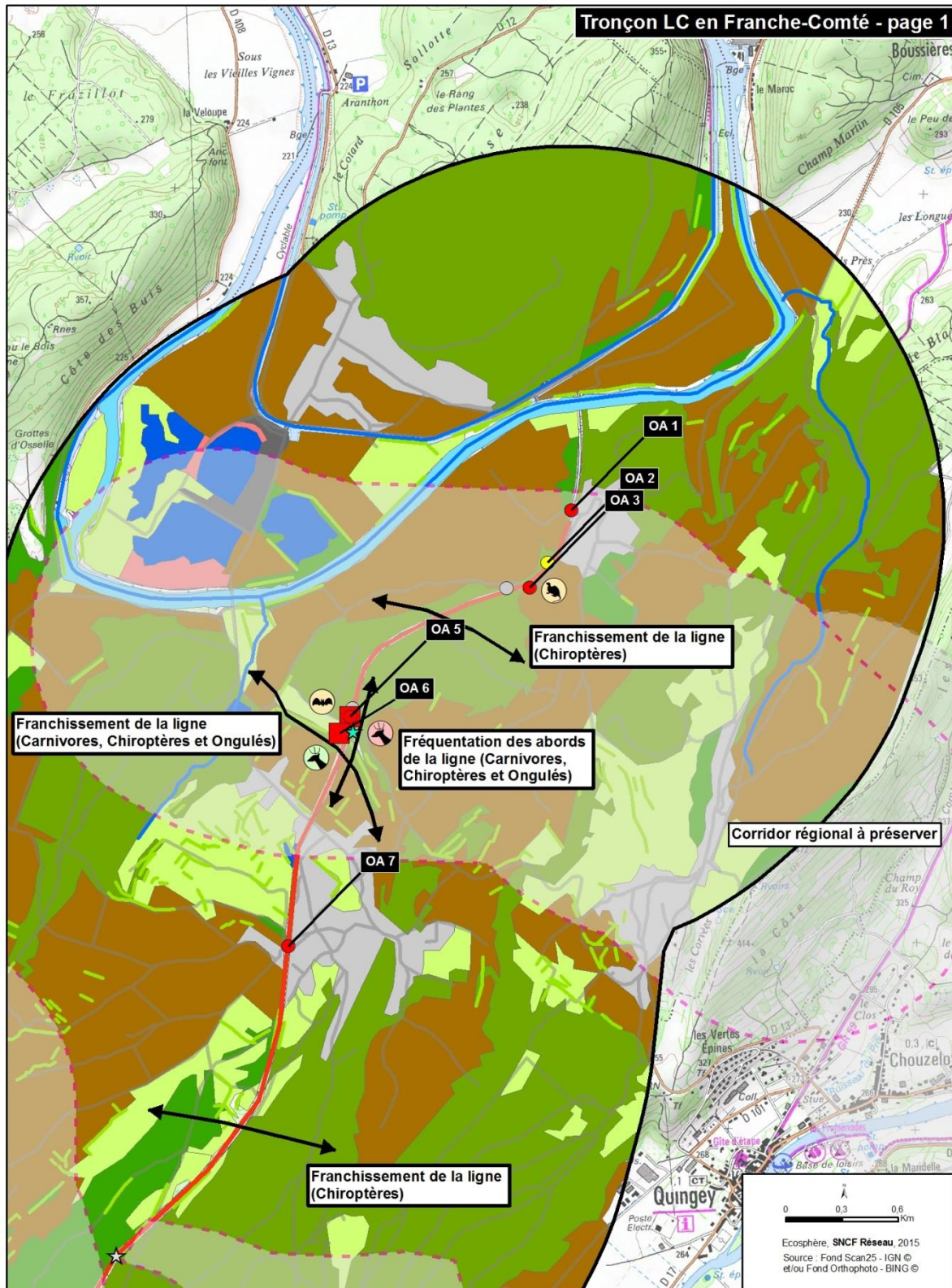
- Carnivores
- Ongulés
- Indéterminées

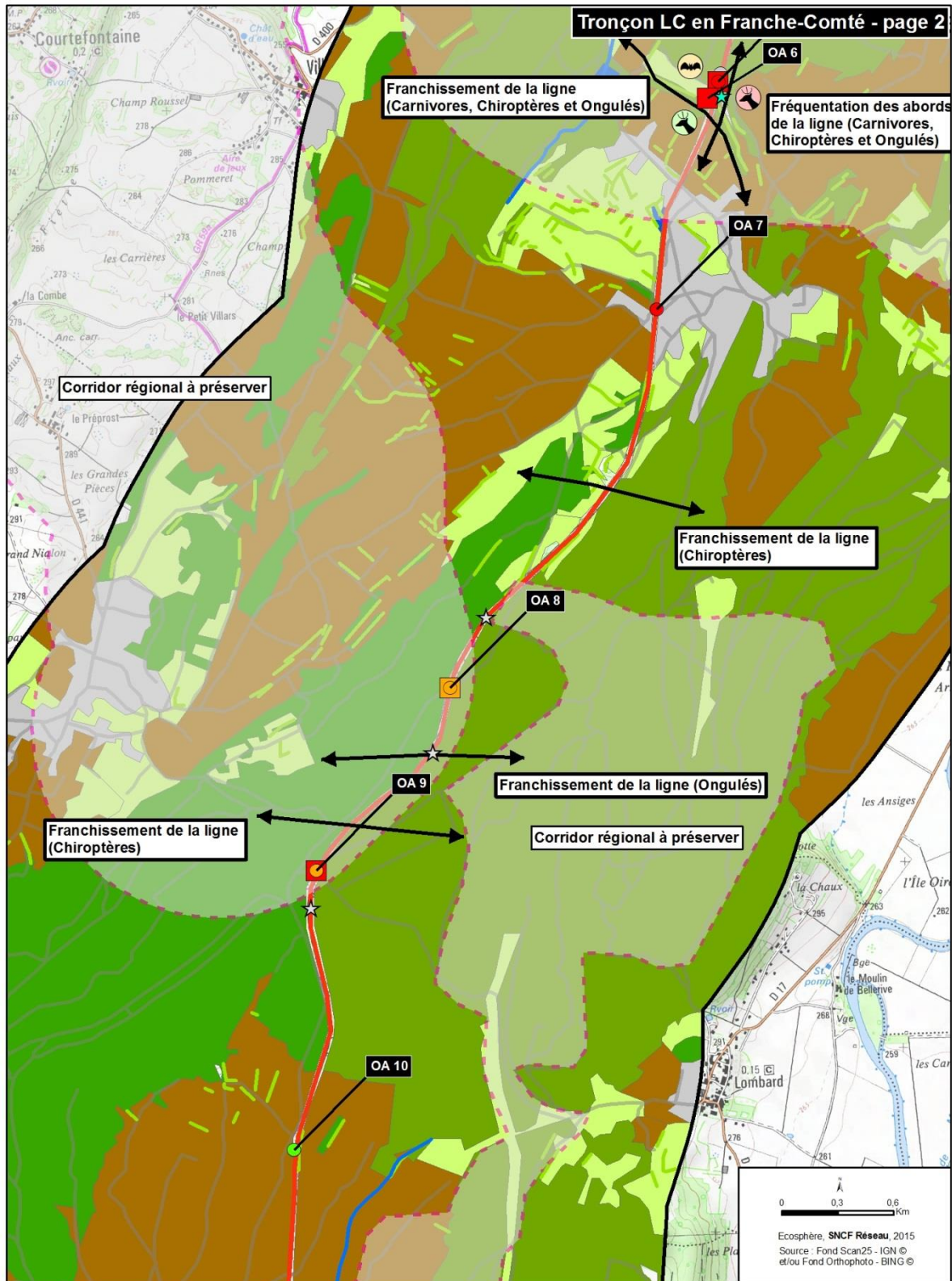
Données issues du SRCE

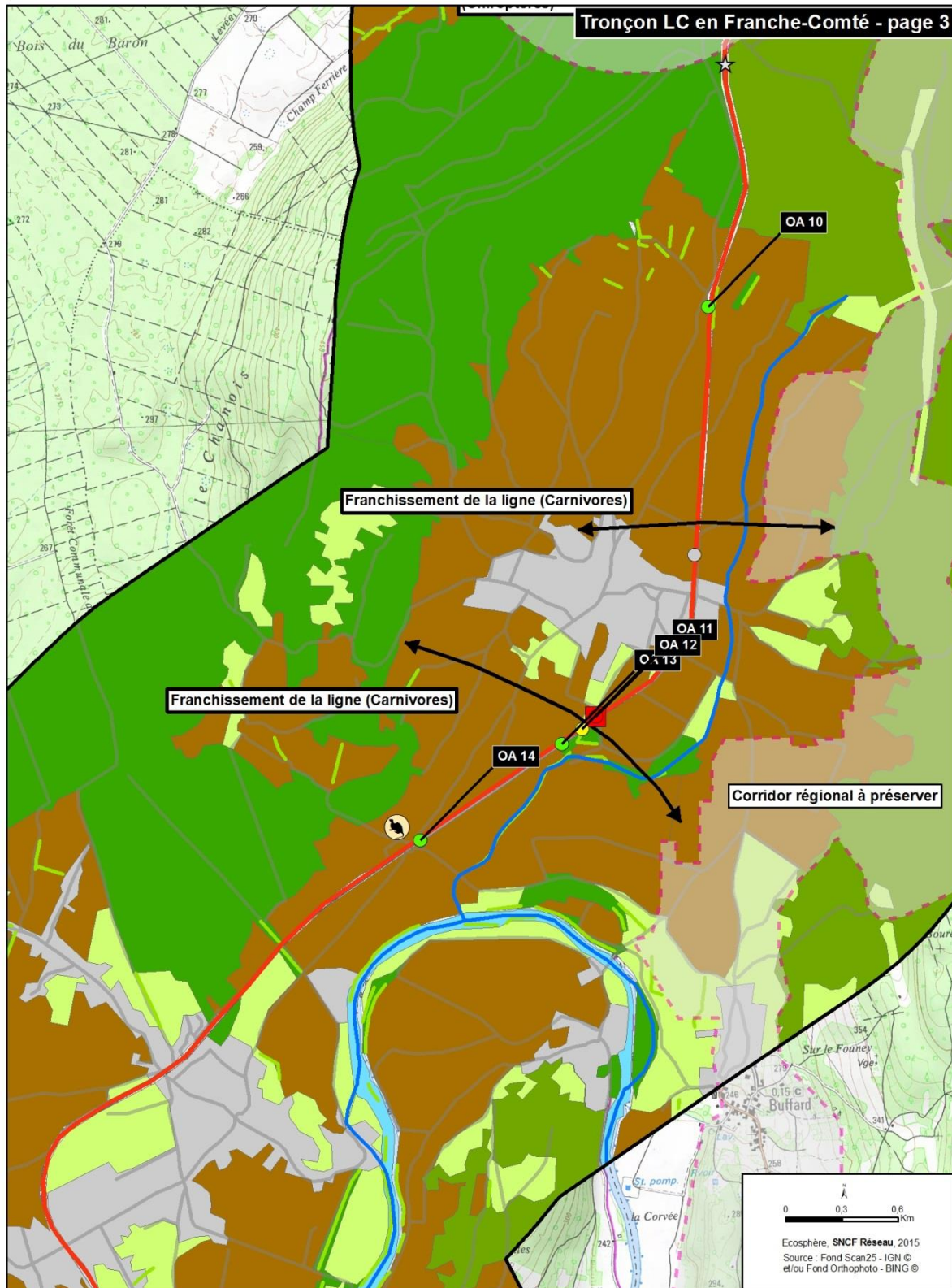
- Corridors écologiques à préserver
- Corridors écologiques à restaurer ou à remettre en bon état

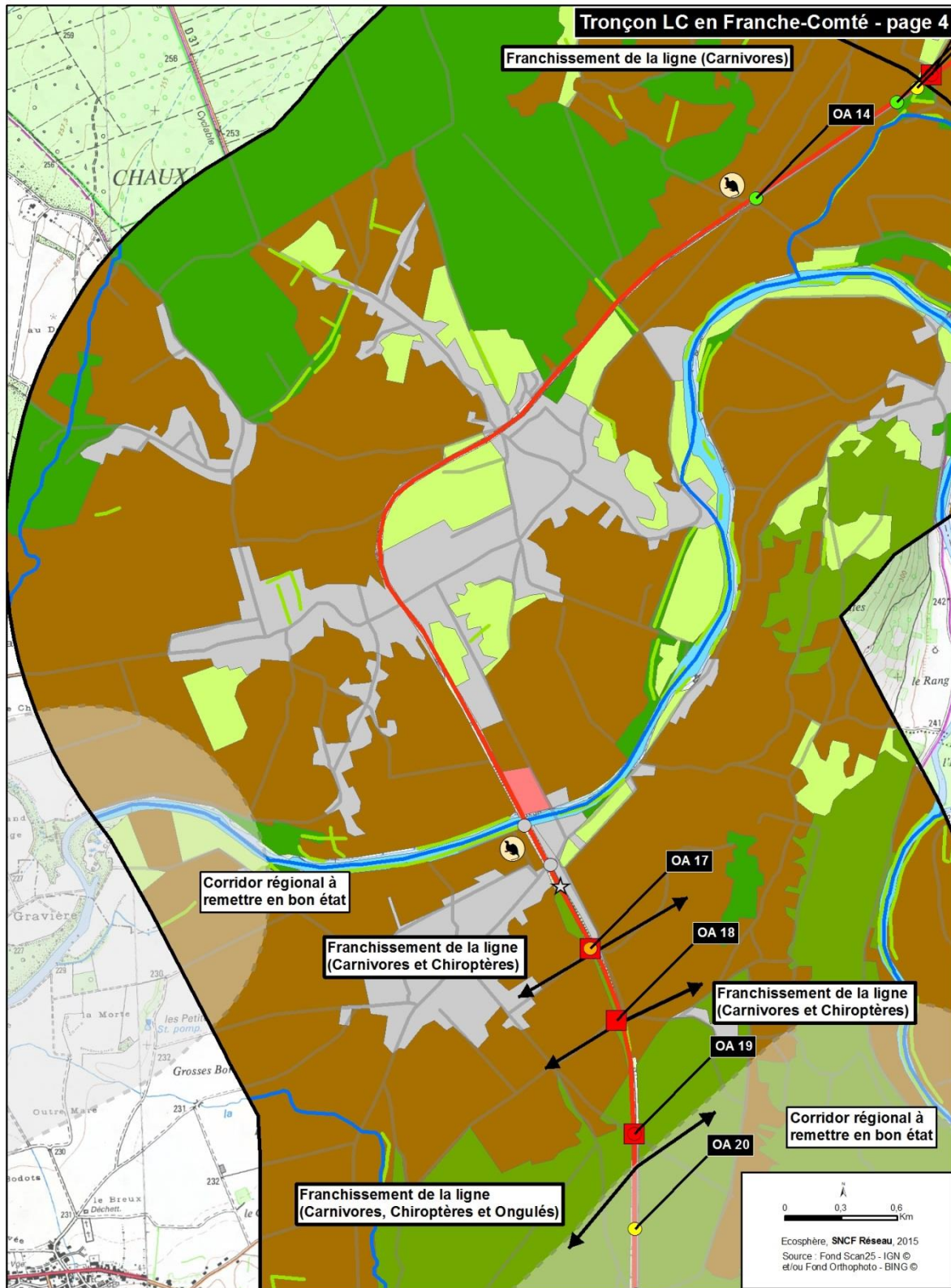
Autres éléments

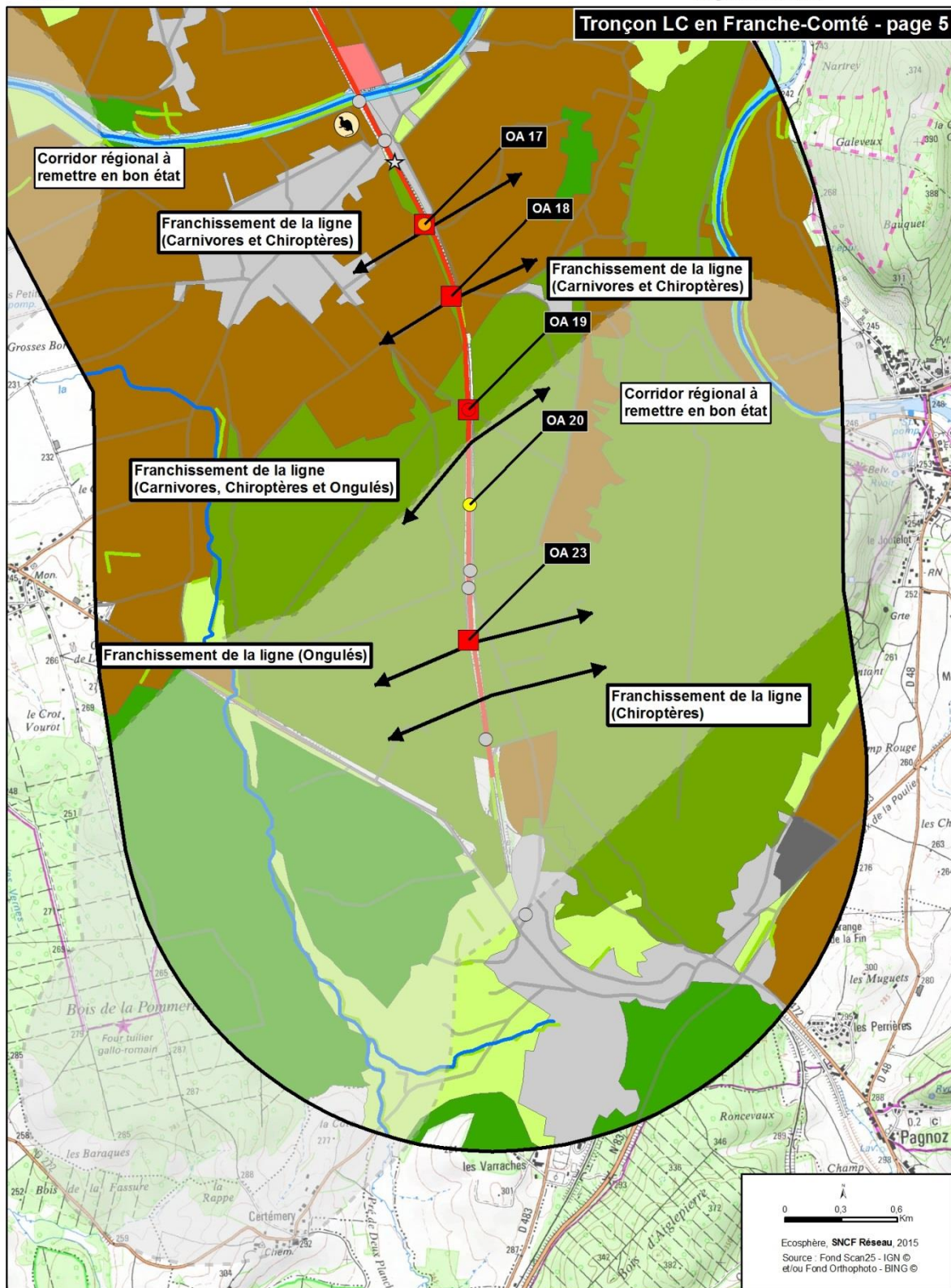
- Ouvrages identifiés
- Linéaire suivi
- Fuseau d'étude de 4 km











4.2.3.2. La ligne classique Rhône-Alpes

Ce secteur, situé entre l’A39 et la D1083 dans une région de plaine, est donc caractérisé en premier lieu par une présence notable du bâti (densité de petits villages - 2.47% de l’occupation du sol – cf. figure 88). Les milieux ouverts (cultures, prairies) sont dominants dans cette région de la bordure jurassienne et de la Bresse Comtoise avec une plus faible présence de milieux boisés (forêt de feuillus, de résineux -28.9 %). Les infrastructures (routes, réseau ferré) représente 4.05 % de la zone d’étude avec un maillage routier conséquent lié à la présence de nombreux villages.

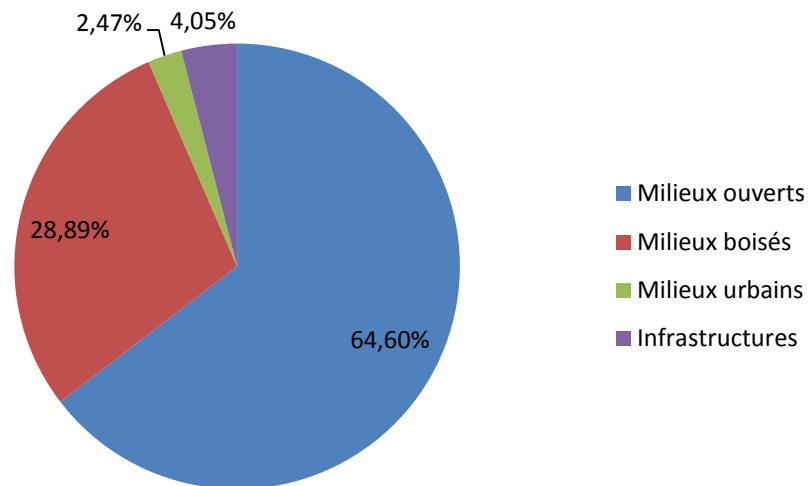


Figure 88: Répartition de l’occupation du sol sur la ligne classique Rhône-Alpes

Globalement, la fréquentation des ouvrages non dédiés (cf. tableau 58) est moyenne à forte pour les mammifères terrestres et faible à forte pour les chiroptères.

Plusieurs ouvrages suivis sont situés au sein d’un réservoir biologique de la sous-trame des milieux forestiers du SRCE de Franche-Comté et au niveau de deux fuseaux d’importance régionale à remettre en bon état mentionnés dans le SRCE de Rhône-Alpes.

Sur le réservoir biologique de la sous-trame des milieux forestiers du Bois de Fougemagne (cf. figure 7), 3 ouvrages (n°7, 10 et 11) ont été suivis donnant une fréquentation forte pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores et lagomorphes) et faible à forte pour les chiroptères. La présence d’ongulés sur l’ouvrage n°11 (passage supérieur avec enrobé – photo ci-contre) est liée à un chemin communal permettant ainsi un franchissement par les ongulés de la ligne classique Rhône-Alpes. Avec un trafic nocturne assez important (28,5 trains/jour soit un train toutes les 16 minutes en moyenne), les risques de collisions sont les plus importants des lignes étudiées pour ces grands mammifères.



L'ouvrage n°10 (dalot inférieur à 2 m) possède une fréquentation faible. L'ouvrage est utilisé par quelques rhinolophes (Petit rhinolophe, Rhinolophe euryale) de manière irrégulière sur les 3 passages.

En bordure du premier corridor régional à restaurer sur les communes de Chalfoux et de Les Mailliers, 3 ouvrages (n°34, 35, 39) ont été suivis donnant une fréquentation moyenne pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores et lagomorphes – lièvre majoritairement) et faible à forte pour les chiroptères.

L'absence d'ongulés est liée à plusieurs phénomènes :

- L'ouvrage n°35 est un portique de moins de 4 mètres de hauteur sur une route communal avec un enrobé, il apparaît peu favorable à la fréquentation des ongulés ;
- entre ces deux ouvrages, la plateforme ferroviaire peut être franchie aisément par des ongulés grâce à un profil favorable (niveau du terrain naturel) ;
- le contexte éco-paysager est situé en milieu ouvert avec de petits boisements moins favorable aux ongulés.



Concernant les chiroptères, l'ouvrage n°34 (dalot inférieur à 1 m) possède une fréquentation moyenne principalement lié à son faible dimensionnement moins favorable aux pipistrelles et aux murins sp. Sur l'ouvrage n°35, la fréquentation est plus importante en raison d'un dimensionnement nettement plus favorable (passage inférieur d'une hauteur de 4 m) permettant une activité forte de Pipistrelles et la présence de Murins sp. et de Barbastelles d'Europe.

Sur et en bordure du deuxième corridor régional à restaurer sur la commune de Bechance, 3 ouvrages (n°45, 48 et 49) ont été suivis donnant une fréquentation faible pour les chiroptères. L'absence d'ouvrages suivis pour les mammifères terrestres ne peut permettre d'évaluer la fréquentation de ce secteur pour ce groupe faunistique.

Les 3 ouvrages (dalots inférieurs entre 0.8 et 2 m) possèdent des fréquentations faibles pour les chiroptères en lien avec leurs faibles dimensionnements. L'ouvrage n°49 est fréquenté par le Petit rhinolophe de manière irrégulière.

En dehors de ces corridors, certains passages sont fortement fréquentés par les carnivores et/ou les lagomorphes (notamment le lièvre et le lapin) confirmant une utilisation régulière de ces ouvrages pour franchir la ligne classique même à proximité de hameaux (comme l'ouvrage n°13) ou sur un passage supérieur de la D28 (ouvrage n°32 – photo ci-contre).

Cette ligne ferroviaire est identifiée parmi les infrastructures de transport à perméabilité moyenne fragmentant les couloirs de déplacement potentiel des espèces dans le SRCE. L'étude Trans-fer répond à







l'objectif 7.3 du SRCE concernant la vigilance à assurer sur le corridor de Bresse-Revermont-Dombes vis-à-vis du maintien et/ou de la remise en bon état des continuités écologiques. Elle démontre une fréquentation régulière par les carnivores, les lagomorphes et les chiroptères. Les ongulés franchissent certainement la ligne classique en dehors de ces ouvrages.





La transparence écologique de cette ligne classique pourrait cependant être améliorée sur certains ouvrages en relation avec l'orientation n°2 de ce SRCE afin d' «Améliorer la transparence des infrastructures et ouvrages vis-à-vis de la Trame verte et bleue» (cf. [chapitre 5.2.2](#)).

LC Rhône-Alpes N° ouvrage	Suivi Faune	Suivi Chiroptères	Evaluation fréquentation pour les mammifères	Evaluation fréquentation pour les chiroptères	Traces faune
3	X	X	Assez Forte	Assez Forte	
5	X	X	Faible	Faible	Oui
6		X		Faible	
7	X	X	Forte	Forte	
10		X		Faible	Oui
11	X	X	Forte	Forte	
13	X	X	Forte	Moyenne	
15		X		Assez Forte	
16		X		Forte	
18		X		Faible	
19	X	X	Forte	Forte	
20	X	X	Assez Forte	Faible	
24	X		Moyenne		Oui
29	X	X	Faible	Faible	
32	X		Moyenne		
34		X		Moyenne	
35	X	X	Moyenne	Forte	
39		X		Faible	
40		X		Forte	
44		X		Forte	
45		X		Faible	
48		X		Faible	
49		X		Faible	

Tableau 58 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne classique Rhône-Alpes

Suivi de la fréquentation des ouvrages

-  Suivi Chiroptères
-  Suivi Mammifères terrestres
-  Suivi Chiroptères et Mammifères terrestres
-  Franchissement ou fréquentation aux abords

-  Forte fréquentation
-  Assez forte fréquentation
-  Moyenne fréquentation
-  Faible fréquentation


Occupation du sol

-  Réseau hydrographique
-  Haies
-  Réseau routier
-  Eaux stagnantes
-  Eaux courantes
-  Prairies mésophiles extensives
-  Forêts caducifoliées
-  Forêts mixtes
-  Friches et zones rudérales
-  Landes et fourrés
-  Végétation de ceinture des bords des eaux
-  Cultures
-  Parcs urbains, grands jardins, potagers
-  Zones urbanisées ou industrielles



Indices de présence

-  Carnivores
-  Chiroptères
-  Ongulés
-  Sanglier
-  Chevreuil et Sanglier
-  Chevreuil
-  Cerf et Chevreuil
-  Cerf
-  Ragondin




Coulées

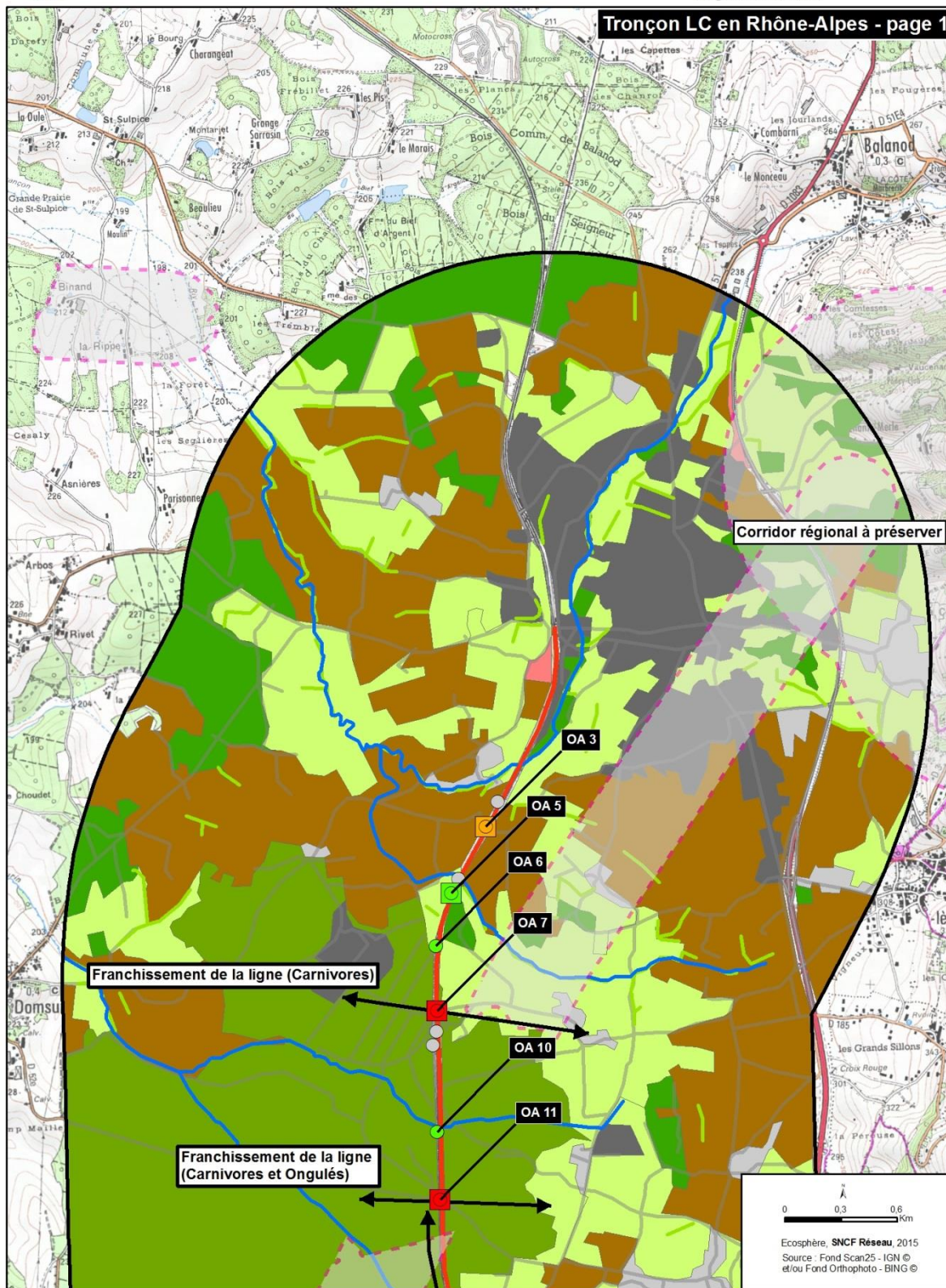
-  Carnivores
-  Ongulés
-  Indéterminées

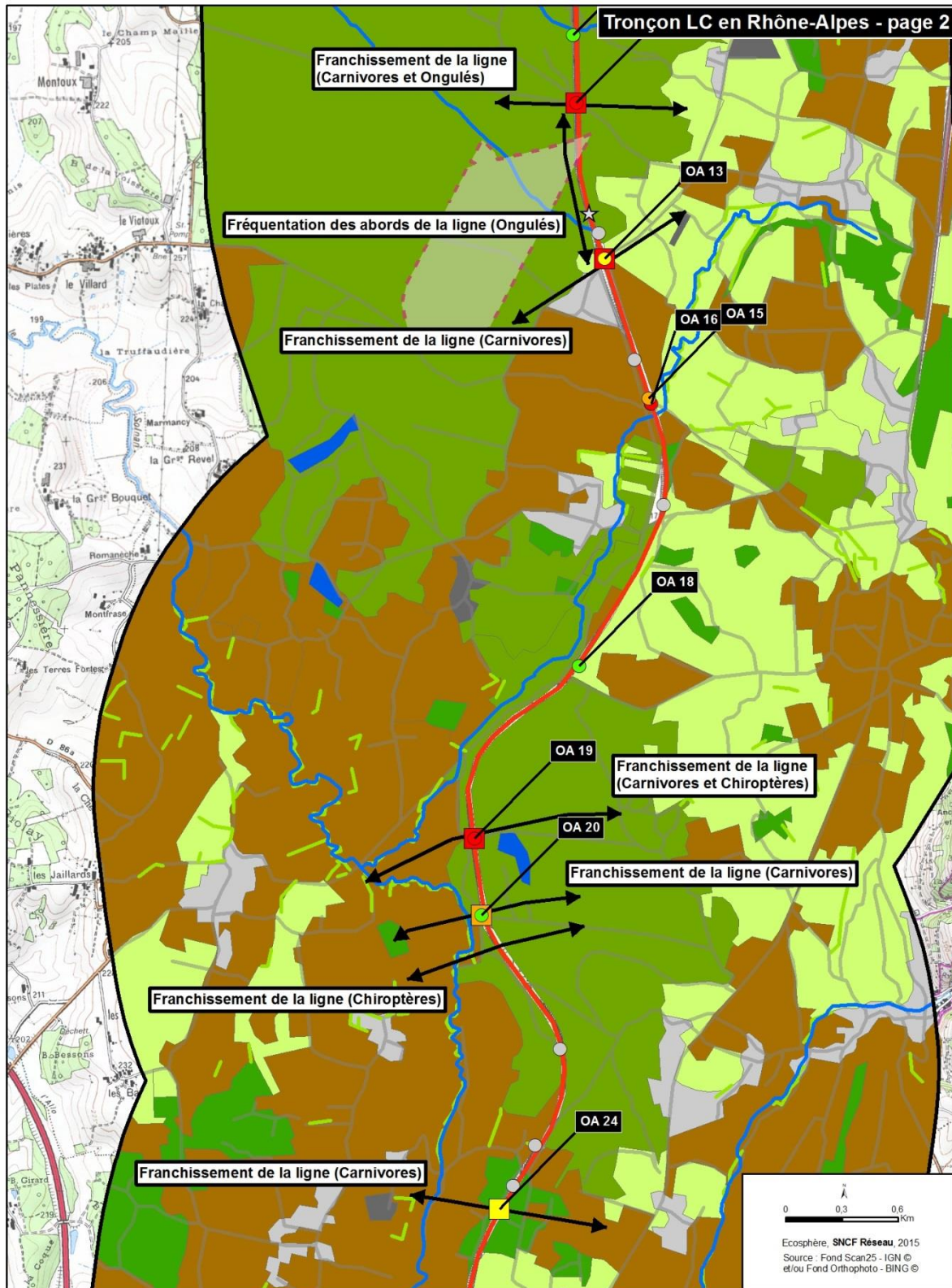
Données issues du SRCE

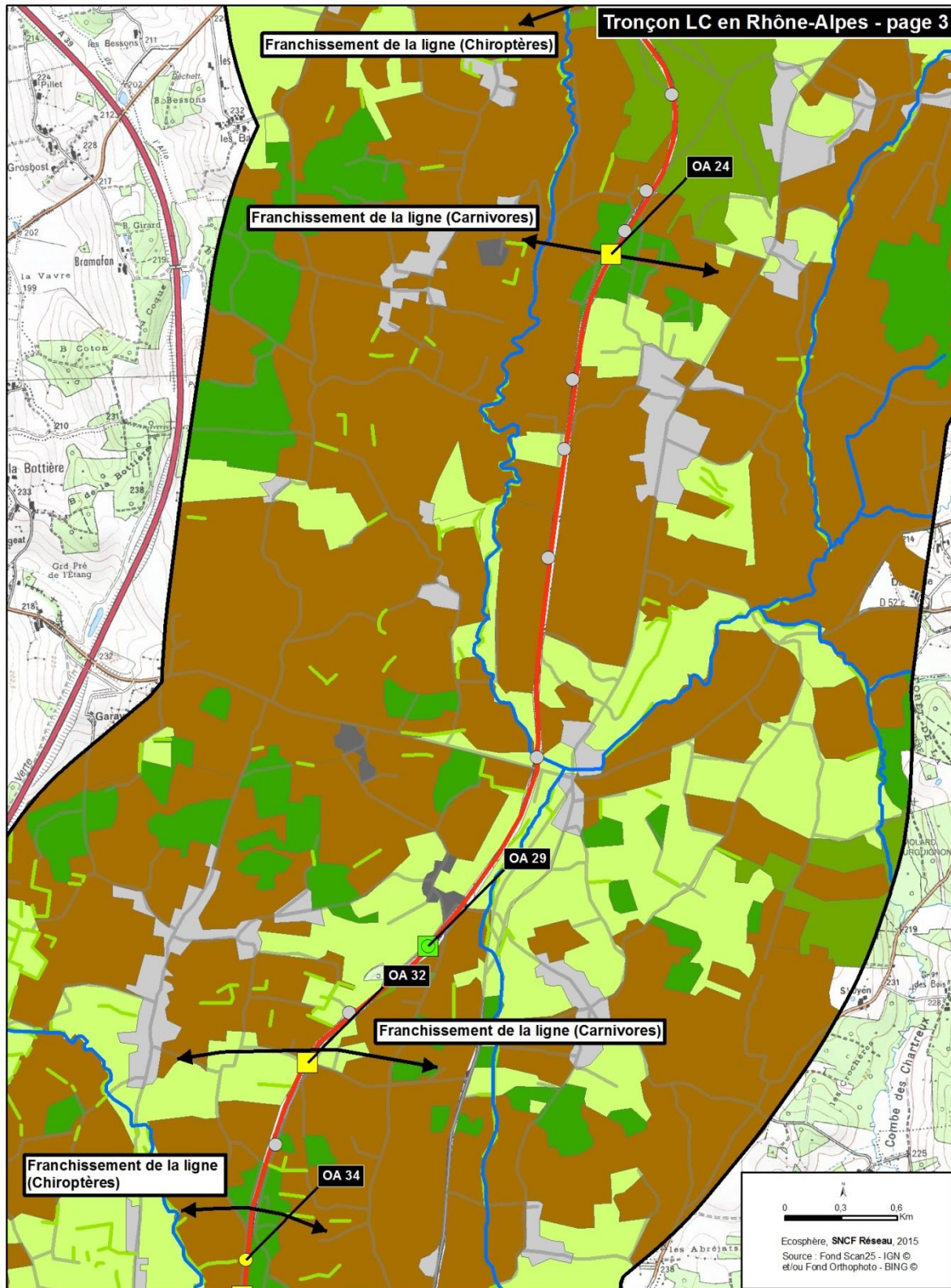
-  Corridors écologiques à préserver
-  Corridors écologiques à restaurer ou à remettre en bon état

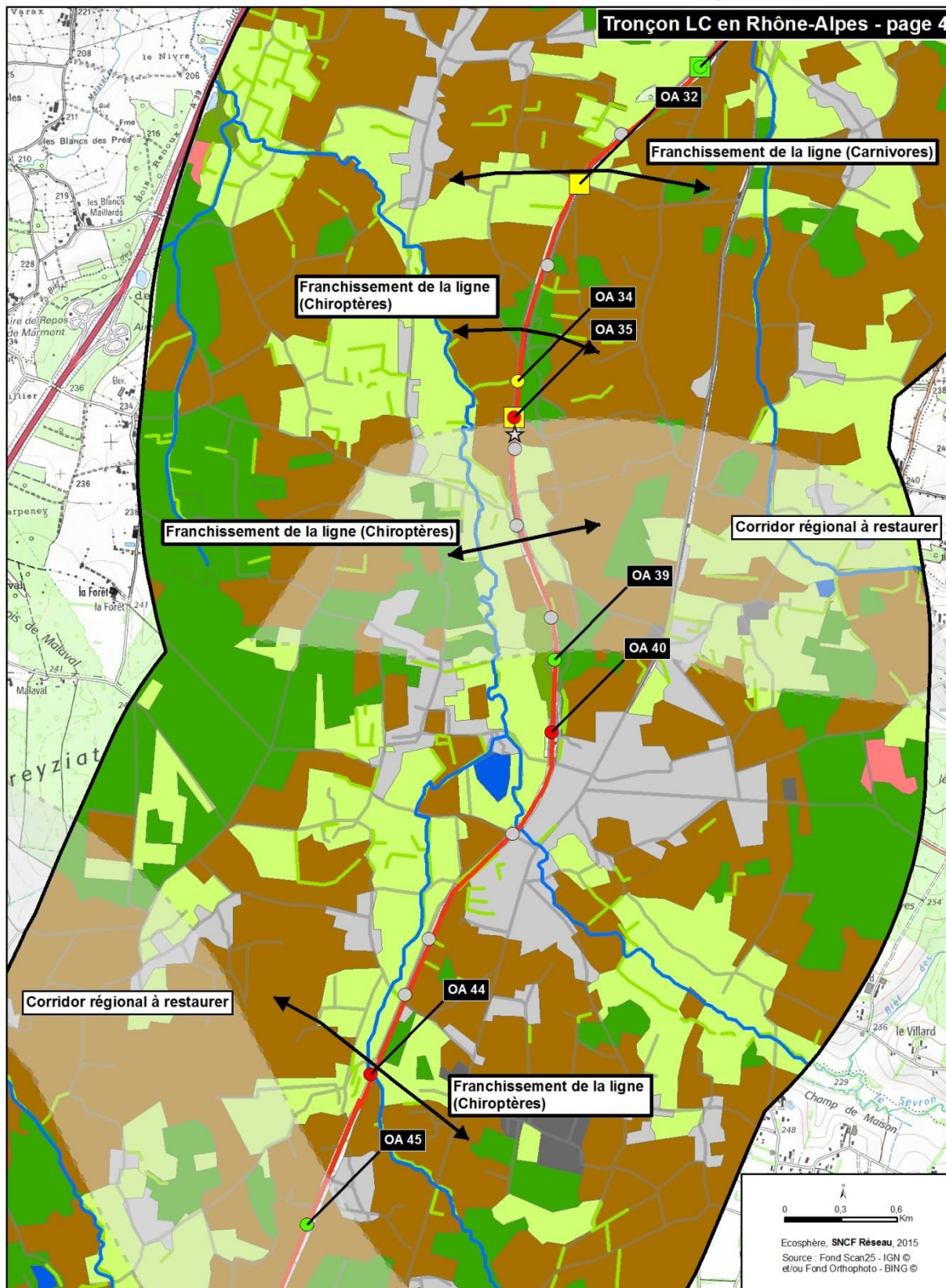
Autres éléments

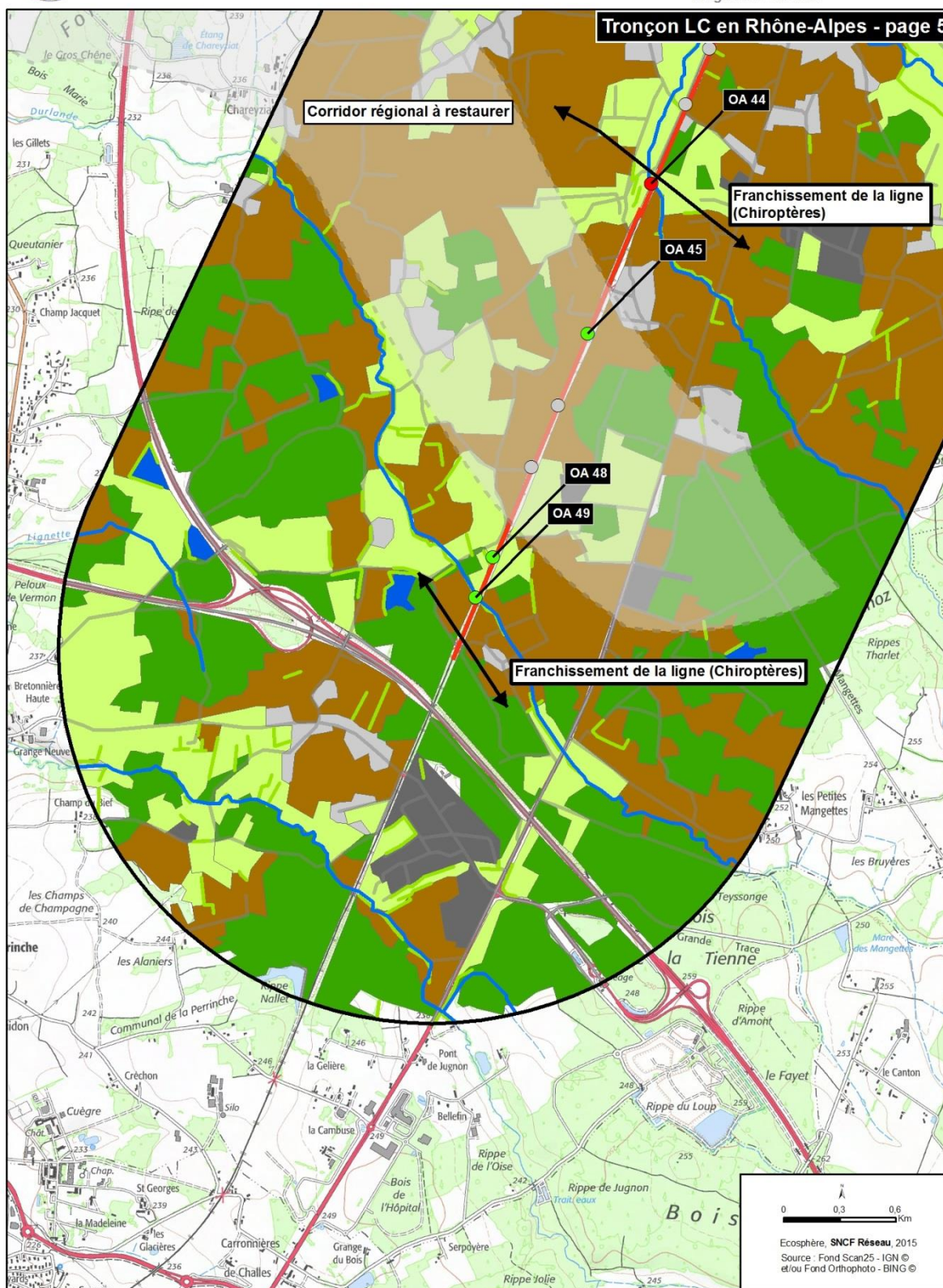
-  Ouvrages identifiés
-  Linéaire suivi
-  Fuseau d'étude de 4 km











4.2.3.3. La ligne nouvelle LGV Est Européenne en Lorraine

Ce secteur, au sud-ouest de Metz, à cheval sur les départements de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle, à proximité du Lac de Madine, est donc caractérisé en premier lieu par une faible présence du bâti (les milieux urbains représentent 0.99% de l'occupation du sol – cf. figure 89). La répartition entre milieux ouverts (cultures, prairies) et milieux boisés (forêt de feuillus, de résineux) est assez équilibrée sur l'ensemble du tronçon étudié. Les infrastructures (routes, réseau ferré) représentent 3.36 % de la surface soit une surface relativement modeste mais impliquant un maillage routier finalement assez dense sur l'ensemble du secteur étudié.

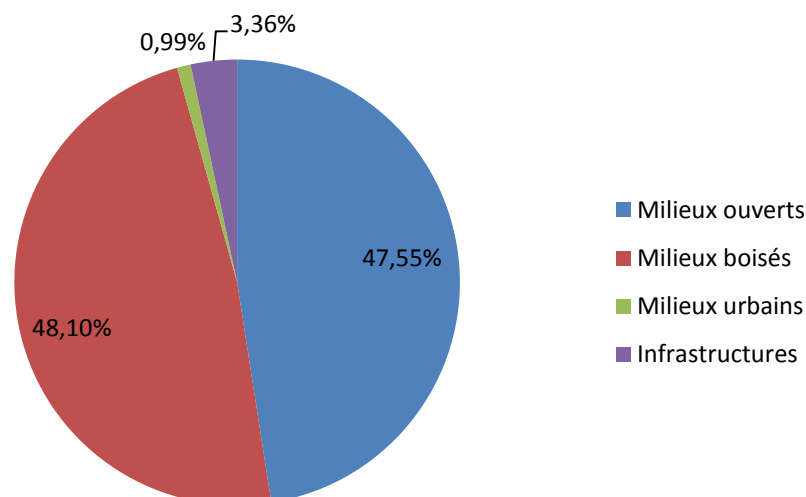


Figure 89: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

La fréquentation des ouvrages non dédiés (cf. tableau 59) est moyenne à forte pour les mammifères terrestres et de faible à forte pour les chiroptères.

Plusieurs ouvrages suivis sont situés sur des corridors régionaux, mentionnés dans le SRCE de Lorraine, intersectés par la ligne nouvelle LGV étudiée.

Sur le premier corridor forestier, situé à l'Est sur la commune de Prény (cf. figure 9), 1 ouvrage non dédié (n°6) a été suivi donnant une fréquentation faible pour les chiroptères. En bordure de ce secteur, le suivi ponctuel du seul passage spécifique Grande Faune démontre son intérêt pour la faune terrestre. Le nombre de traversées/jour est important avec 3.72 individus/jour. Au sein du groupe des ongulés, 3 espèces utilisent ce passage avec une majorité de Chevreuil (70%) et de Sanglier (29%). Le Cerf d'Europe a été observé une seule fois (sur 56 jours de suivis) ce qui constitue la 1^{ère} observation de l'espèce depuis la mise en œuvre de ce passage et des suivis de l'efficacité (RFF, 2011).

Pour les autres espèces, les données concernent le Lièvre d'Europe et divers Carnivores (Renard et au Blaireau avec 42% des carnivores chacun et le Chat forestier 10%).



L'ouvrage n°6 (pont supérieur) possède une fréquentation faible en lien avec l'absence de guidage aux abords de ce passage (photo ci-contre).

Sur le second corridor (thermophile, forestier et alluvial), situé sur les communes de Thiaucourt, aucun ouvrage n'a été suivi en raison du franchissement en viaduc du Bois de Feys (cours d'eau du Rupt de Mad – cf. photographie ci-dessous) permettant ainsi une fréquentation par les mammifères terrestres et les chiroptères et donc un franchissement sécurisé de la ligne nouvelle.



Sur les trois derniers corridors situés de part et d'autre du secteur forestier du Bois de Vigneulles (cf. figure 8), 10 ouvrages (41, 43, 48, 51, 52, 55, 65, 66, 67, 68) ont été suivis donnant une fréquentation moyenne à forte pour les mammifères terrestres et faible à forte pour les chiroptères. L'absence de sangliers au sein des ongulés (alors qu'il a été observé à plusieurs reprises en fréquentation des abords de cette ligne) est toujours liée à des ouvrages peu favorables au franchissement par l'espèce.

Les fréquentations les plus fortes sont liées à des buses (n°51 et 67 - dimensions à 0.8 m) utilisées par des carnivores (Blaireau, Renard roux et Chat forestier) permettant ainsi un franchissement de la LGV en toute sécurité. Le passage inférieur (n°66 – hauteur de 4 mètres) possède une fréquentation assez forte avec la présence des carnivores, lagomorphes et surtout d'ongulés tels que le Chevreuil ou le Cerf.

Pour les chiroptères, les faibles niveaux de fréquentation de 4 ouvrages (41, 55, 67 et 68 - buses de dimension entre 0.8 et 1,2 m) sont liés à leur dimensionnement insuffisant. Les autres ouvrages (43, 48, 58, 65 et 66) sont principalement des ouvrages inférieurs d'une hauteur de 4 mètres à l'exception de l'ouvrage n°65 (buse dimension 1,2 m) fréquentés majoritairement par des pipistrelles, des murins sp. et des rhinolophes (Petit et Grand rhinolophe). La fréquentation de ces ouvrages, situés en contexte forestier, par **ces espèces démontrent l'intérêt de ces ouvrages pour franchir la LGV.**

En dehors de ces corridors, certains passages inférieurs sont fortement fréquentés par les carnivores et/ou les lagomorphes (notamment le lièvre) confirmant une utilisation régulière de ces ouvrages pour franchir la ligne nouvelle (comme l'ouvrage n°36).

Certains passages supérieurs avec des revêtements stabilisés (tel que l'ouvrage n°1 – cf. photo ci-contre) montre également une fréquentation forte pour les carnivores et les lagomorphes.



Cette ligne ferroviaire est considérée comme très impactante par le SRCE de Lorraine en raison de son engrillagement fragmentant ainsi les couloirs de déplacement potentiel des espèces. L'étude Trans-fer répond à l'orientation 5.1 du SRCE « *Evaluer la transparence écologique des réseaux de transport* ». Elle démontre une fréquentation régulière par les carnivores, les lagomorphes et les chiroptères.

Les ongulés franchissent cette ligne nouvelle régulièrement sur le passage supérieur spécifique Grande Faune. Sur ce tronçon étudié, 3 passages Grande Faune (incluant le passage étudié et un viaduc, franchissant le ruisseau du Mad, sont présents soit 1 franchissement possible tous les 4 kms en moyenne pour les ongulés tels que le Cerf. Mais ponctuellement, des franchissements sont constatés sur des ouvrages non dédiés comme l'ouvrage n°66 (passage inférieur avec revêtement en terre) aux abords du Bois de Vigneulles.



Les connaissances acquises dans le cadre de Trans-fer permettront d'alimenter la future base de données collaborative sur la franchissabilité des ouvrages (actions de l'orientation 5.1 du SRCE).

La transparence écologique de cette ligne nouvelle pourrait cependant être améliorée sur certains ouvrages dans le cadre de l'orientation 5.2 de ce SRCE afin d' «Améliorer la transparence écologique des réseaux de transport» (cf. [chapitre 5.2.3](#)).

LGV Lorraine N° ouvrage	Suivi Faune	Suivi Chiroptères	Evaluation fréquentation pour les mammifères	Evaluation fréquentation pour les chiroptères	Traces faune
1	X		Forte		Oui
2		X		Forte	Oui
3	X		Assez Forte		
4		X		Assez Forte	Oui
6		X		Faible	Oui
7		X		Forte	Oui
9		X		Forte	Oui
13		X		Forte	Oui
17		X		Faible	Oui
18	X	X	Assez Forte	Assez Forte	Oui
22	X		Moyenne		
23		X		Forte	
24		X		Forte	Oui
28		X		Forte	Oui
31		X		Faible	Oui
33		X		Forte	Oui
36	X		Forte		
41		X		Faible	
43		X		Forte	Oui
48	X	X	Moyenne	Forte	Oui
51	X		Forte		Oui
52		X		Assez Forte	Oui
55		X		Faible	Oui
58		X		Forte	Oui
65		X		Forte	
66	X	X	Assez Forte	Forte	Oui
67	X	X	Forte	Faible	Oui
68		X		Faible	Oui
72	X		Moyenne		Oui

Tableau 59 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

Suivi de la fréquentation des ouvrages

- Suivi Chiroptères
- Suivi Mammifères terrestres
- Suivi Chiroptères et Mammifères terrestres
- Franchissement ou fréquentation aux abords

- Forte fréquentation
- Assez forte fréquentation
- Moyenne fréquentation
- Faible fréquentation

Occupation du sol

- Réseau hydrographique
- Haies
- Réseau routier
- Eaux stagnantes
- Eaux courantes
- Prairies mésophiles extensives
- Forêts caducifoliées
- Forêts mixtes
- Friches et zones rudérales
- Landes et fourrés
- Végétation de ceinture des bords des eaux
- Cultures
- Parcs urbains, grands jardins, potagers
- Zones urbanisées ou industrielles

Indices de présence

- Carnivores
- Chiroptères
- Ongulés
- Sanglier
- Chevreuil et Sanglier
- Chevreuil
- Cerf et Chevreuil
- Cerf
- Ragondin

Coulées

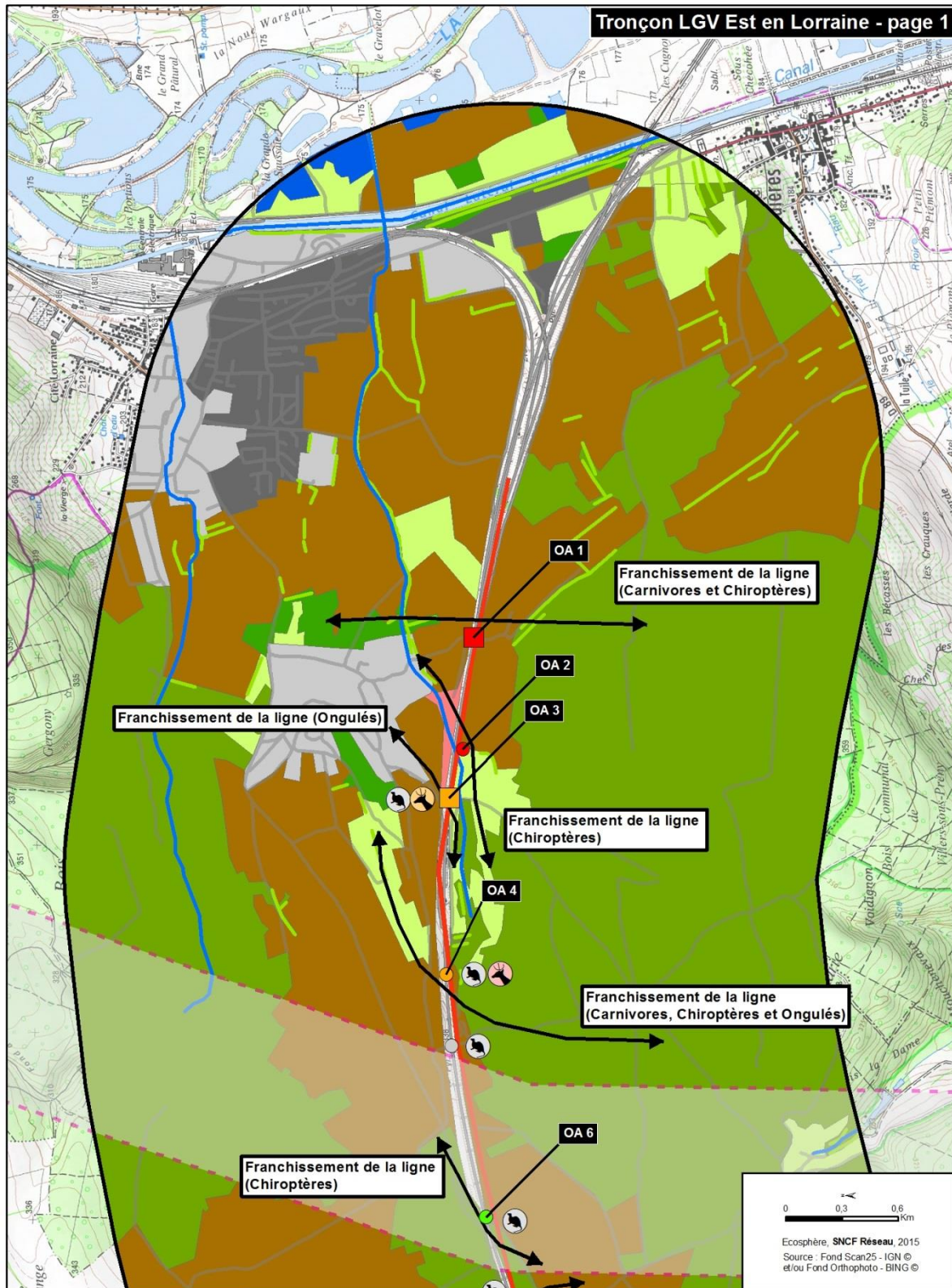
- Carnivores
- Ongulés
- Indéterminées

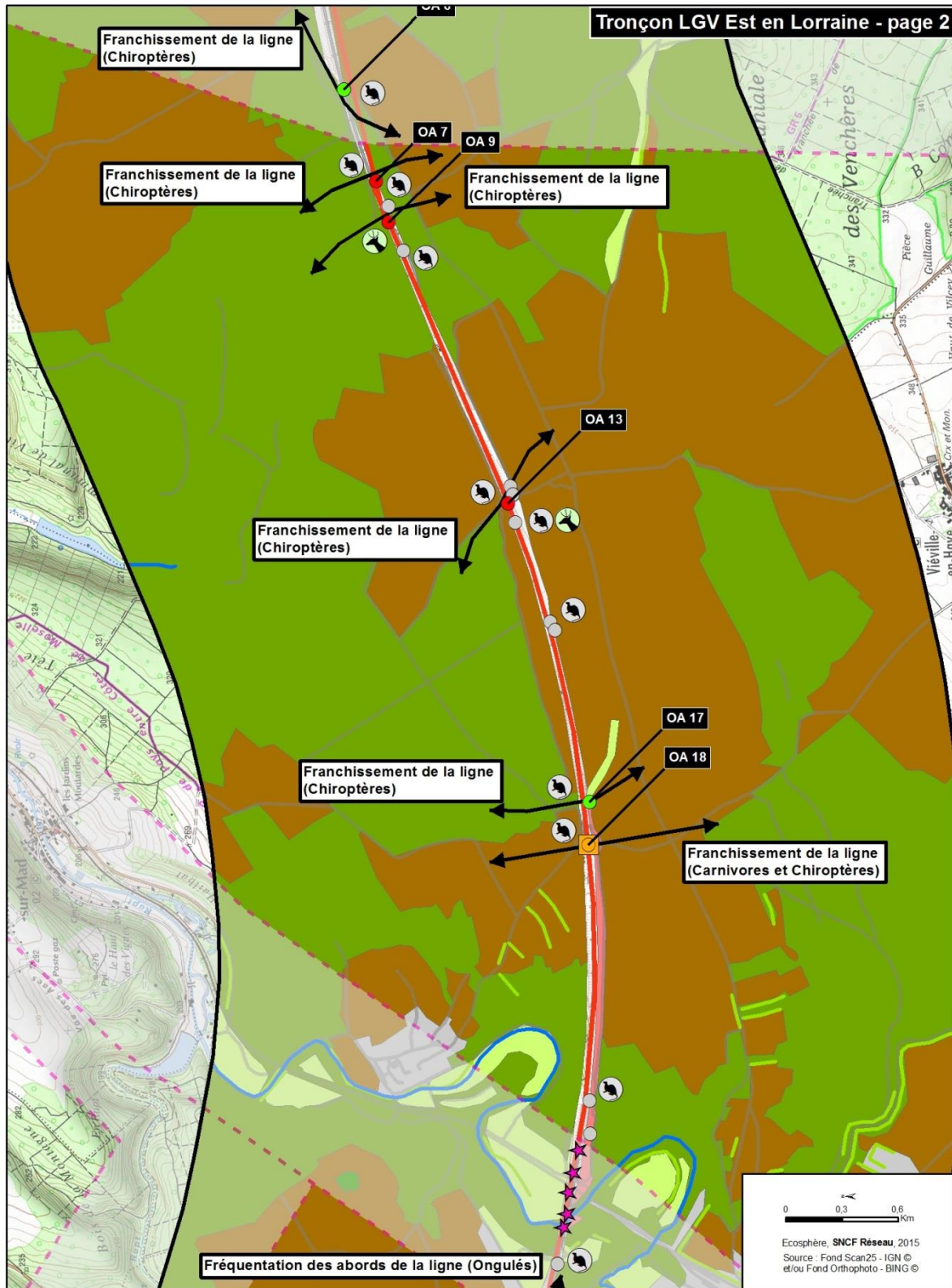
Données issues du SRCE

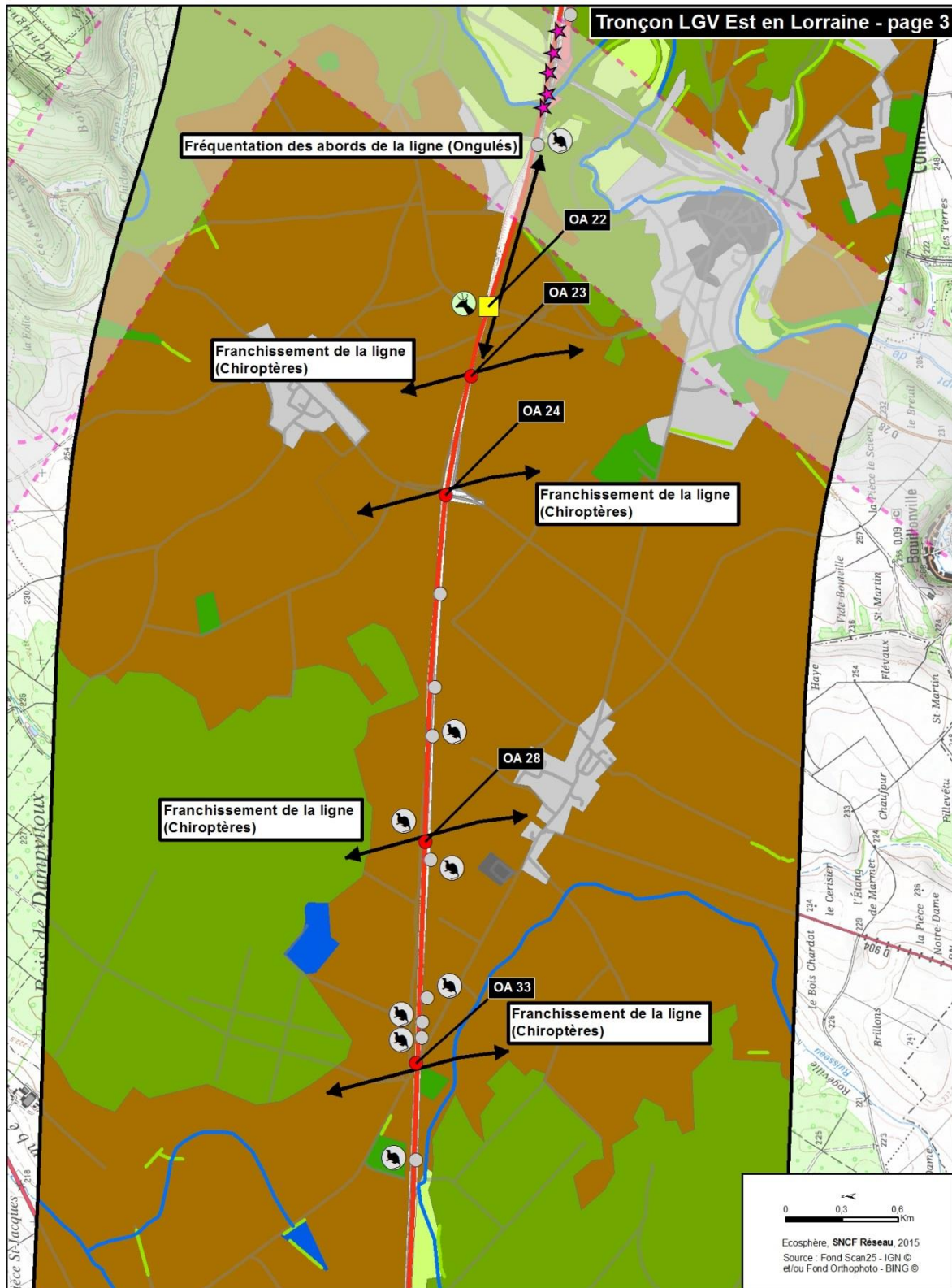
- Corridors écologiques à préserver
- Corridors écologiques à restaurer ou à remettre en bon état

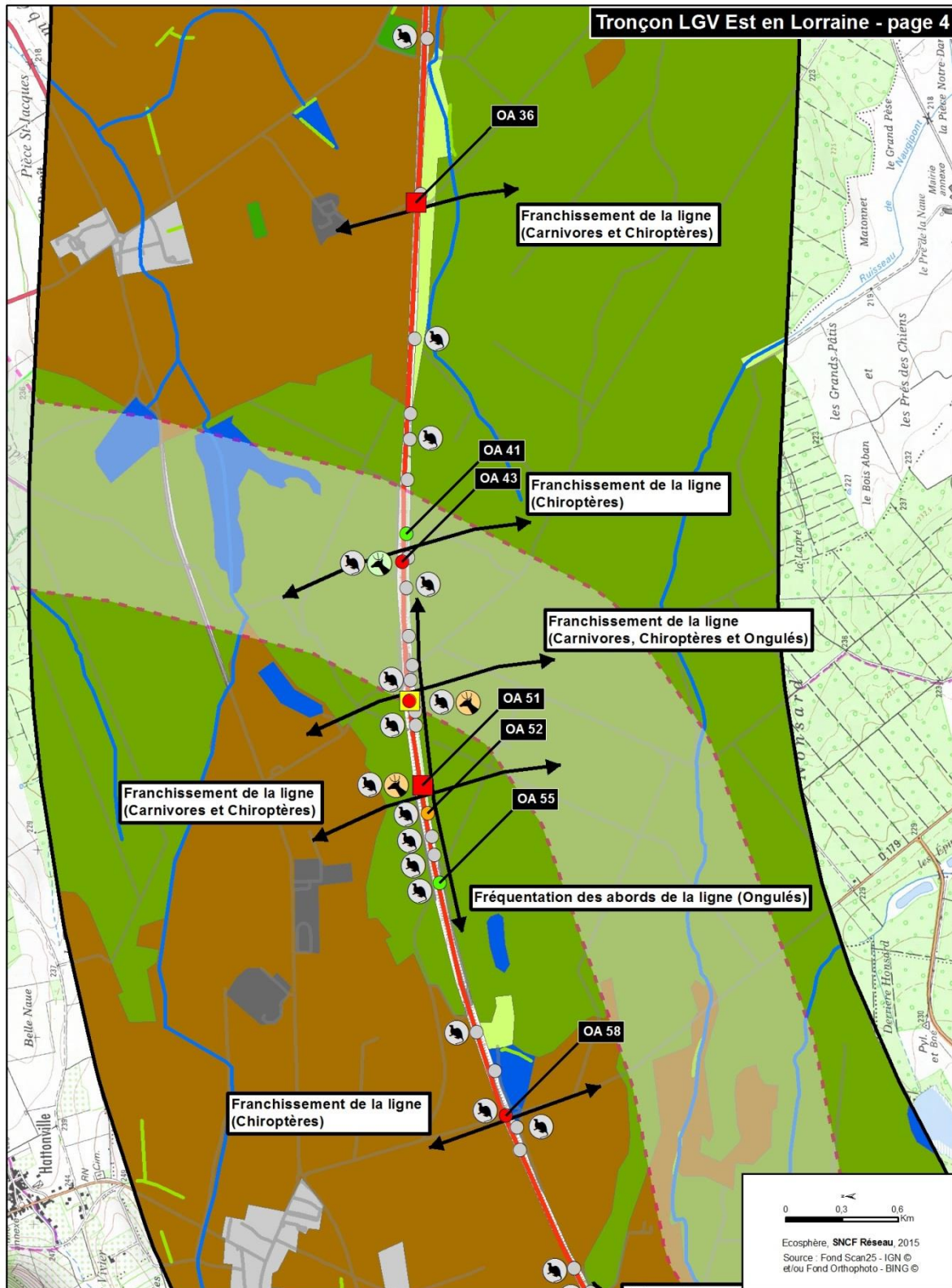
Autres éléments

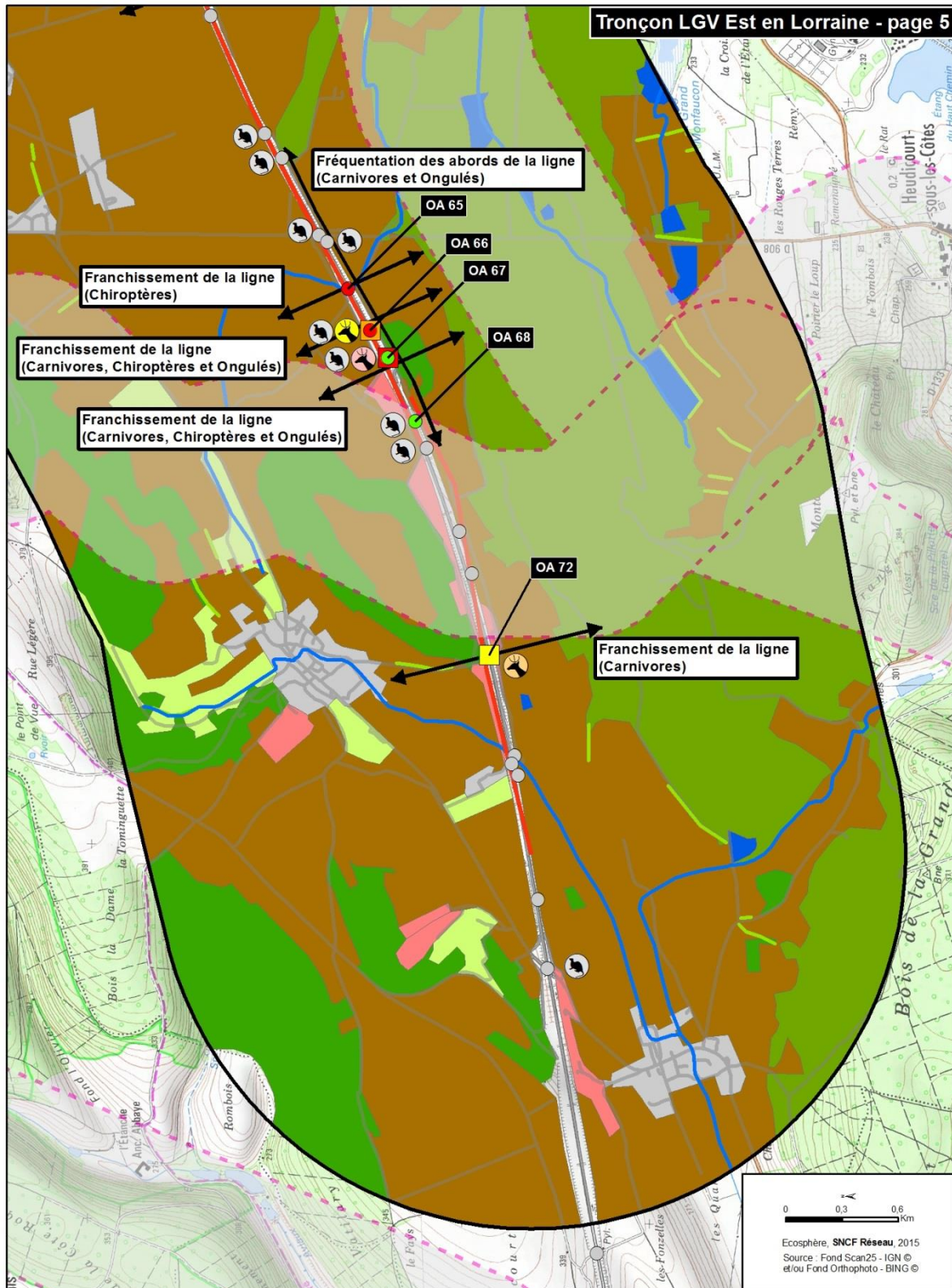
- Ouvrages identifiés
- Linéaire suivi
- Fuseau d'étude de 4 km











4.2.3.4. La ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

Ce secteur, à l'ouest de Saulieu en Côte d'Or, traverse le Parc Naturel Régional du Morvan entre les départementales D70 (ouest de Précý-sous-Thil) et D906 (sud-est de Saulieu). Il est donc caractérisé en premier lieu par une faible présence du bâti (les milieux urbains représentent 0.36% de l'occupation du sol – cf. figure 90). La répartition entre milieux ouverts (cultures, prairies) et milieux boisés (forêt de feuillus, de résineux) est assez équilibrée sur l'ensemble du tronçon étudié. Les infrastructures (routes, réseau ferré) représente 3.05 % de la surface impliquant un maillage routier sur l'ensemble du secteur étudié.

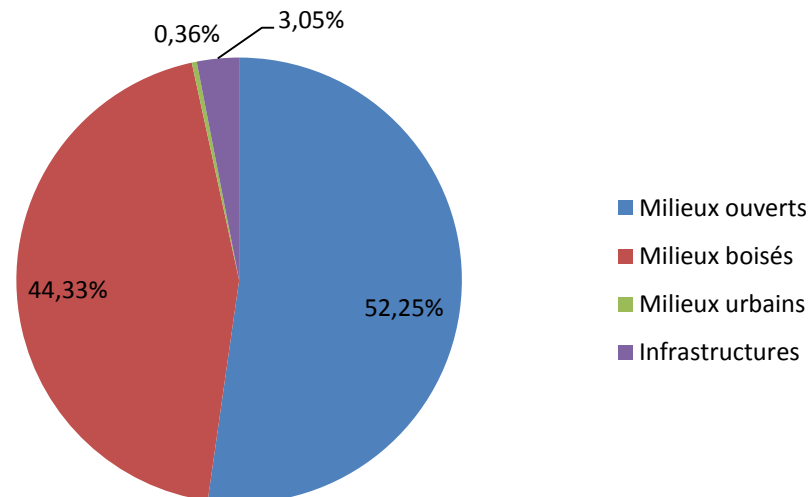


Figure 90: Répartition de l'occupation du sol sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

La fréquentation des ouvrages non dédiés (cf. tableau 60) est moyenne à forte pour les mammifères terrestres et de faible à forte pour les chiroptères.

Plusieurs ouvrages suivis sont situés sur des corridors régionaux, mentionnés dans le SRCE de Bourgogne, intersectés par la LGV.

Sur les premiers corridors forestiers traversant le réservoir de biodiversité forestier, situé sur les communes Lacour d'Arcenay et de Montley-en-Auxois (cf. figure 10), six ouvrages non dédiés (n°10, 11, 12, 14, 15 et 17) ont été suivis donnant une fréquentation moyenne à forte pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores) et de faible à forte pour les chiroptères. La présence d'ongulés sur l'ouvrage n°17 (passage inférieur avec sol en stabilisé) est liée au rétablissement d'un chemin communal favorable au franchissement par les chevreuils. Sur ce secteur, la fréquentation des abords par le chevreuil a été constatée à plusieurs reprises (pièges photographiques, coulées, animal retrouvé mort dans le grillage) démontrant une pression importante de ce groupe d'ongulés cherchant à franchir la ligne.



Chevreuil mort coincé dans une clôture de la LGV

Concernant les autres corridors forestiers, prairiaux ou liés aux zones

humides, situé sur les communes de Villargoix et de Thoisy la Berchère (cf. figures 10 à 12), quatre ouvrages non dédiés (n°25, 26, 29, 31) ont été suivis donnant une fréquentation forte pour les mammifères terrestres (principalement des carnivores) et pour les chiroptères.

La présence d'ongulés (Chevreuil) sur les ouvrages n°26 (passage inférieur avec sol stabilisé) et n°31 (passage supérieur avec sol en enrobé – cf. photographie ci-contre) est liée au rétablissement de chemins ou de routes communales. Sur ce secteur (Forêt de Thoisy), la fréquentation des abords par les ongulés (Chevreuils et Sangliers) a été constatée à plusieurs reprises (pièges photographiques, coulées...) démontrant une pression importante des animaux cherchant à franchir la ligne. L'absence de données de franchissement des sangliers est liée au manque d'ouvrage favorable à l'espèce. Cependant, sur ce même secteur, un viaduc, situé sur la commune de Villargoix entre les ouvrages 24 et 25 (cf. photographie ci-dessous), permet un franchissement sécurisé de la LGV par tous les mammifères terrestres et les chiroptères.



Pour les chiroptères, l'ouvrage (n° 35 – portique d'une dimension entre 2 à 4 m) possède une fréquentation la plus faible de tous les ouvrages suivis sur la ligne nouvelle. Néanmoins, sa localisation en forêt reste intéressante pour permettre à des espèces forestières, comme le Petit rhinolophe dont des colonies de mise bas sont connues dans les villages proches (Dreal Bourgogne, 2010), de franchir la LGV (12 contacts en une seule nuit en août 2012). D'autres ouvrages (n°26 et 29) ont également été fréquentés par des pipistrelles, des murins sp. et des rhinolophes (Petit et Grand rhinolophe) ce qui démontre leur intérêt pour les chiroptères (cf. photo ci-dessous du contexte paysager de ce secteur).



Cette ligne ferroviaire est considérée comme très impactante par le SRCE de Bourgogne en raison de son engorgement fragmentant ainsi les couloirs de déplacement potentiel des espèces. L'étude Trans-fer répond à l'orientation stratégique n°2 du SRCE « Favoriser la transparence écologique des infrastructures de transport, des ouvrages hydrauliques et de production d'énergie ». Elle démontre une fréquentation régulière par les carnivores, les lagomorphes et les chiroptères.





Les ongulés franchissent difficilement cette ligne nouvelle en raison de son engorgement et de l'absence de passage dédié. Avec un trafic nocturne assez important (13,5 trains circulant la nuit/jour soit un train toutes les 35 minutes en moyenne), les risques de collisions sont importants sur le secteur étudié au regard de la pression exercée par les ongulés (Sanglier et Chevreuil) pour franchir la ligne. Les ongulés et les autres espèces suivent les abords de la ligne ce qui constitue de nouveaux corridors participant ainsi au remaillage des réseaux écologiques.





La transparence écologique de cette ligne nouvelle pourrait cependant être améliorée sur certains ouvrages dans le cadre de l'objectif 2.2 du SRCE visant à «Assurer la perméabilité, au niveau des corridors stratégiques, des infrastructures linéaires de transport nouvelles et existantes difficilement franchissables» et de l'objectif 2.3 du SRCE « Développer une gestion écologique des bordures et des dépendances vertes des infrastructures de transport afin d'en conforter le caractère de corridor écologique pour certaines espèces » (cf. [chapitre 5.2.4](#)).

LGV Bourgogne N° ouvrage	Suivi Faune	Suivi Chiroptères	Evaluation fréquentation pour les mammifères	Evaluation fréquentation pour les chiroptères	Traces faune
2	X	X	Forte	Faible	Oui
3		X		Assez Forte	Oui
9		X		Forte	
10		X		Forte	
11		X		Forte	Oui
12	X	X	Moyenne	Assez Forte	Oui
14	X	X	Forte	Forte	
15	X	X	Moyenne	Faible	
17	X	X	Moyenne	Forte	Oui
20	X		Moyenne		
22		X		Forte	
23	X	X	Faible	Forte	
24		X		Faible	
25		X		Forte	
26	X	X	Forte	Forte	Oui
29		X		Forte	
31	X	X	Forte	Forte	
34	X	X	Assez Forte	Assez Forte	Oui
35	X	X	Assez Forte	Faible	Oui
43		X		Assez Forte	
50		X		Faible	Oui

Tableau 60 : Ouvrages suivis et évaluation de la fréquentation pour la faune terrestre et les chiroptères de la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

Suivi de la fréquentation des ouvrages

-  Suivi Chiroptères
-  Suivi Mammifères terrestres
-  Suivi Chiroptères et Mammifères terrestres
-  Franchissement ou fréquentation aux abords

-  Forte fréquentation
-  Assez forte fréquentation
-  Moyenne fréquentation
-  Faible fréquentation

Occupation du sol

-  Réseau hydrographique
-  Haies
-  Réseau routier
-  Eaux stagnantes
-  Eaux courantes
-  Prairies mésophiles extensives
-  Forêts caducifoliées
-  Forêts mixtes
-  Friches et zones rudérales
-  Landes et fourrés
-  Végétation de ceinture des bords des eaux
-  Cultures
-  Parcs urbains, grands jardins, potagers
-  Zones urbanisées ou industrielles



Indices de présence

-  Carnivores
-  Chiroptères
-  Ongulés
-  Sanglier
-  Chevreuil et Sanglier
-  Chevreuil
-  Cerf et Chevreuil
-  Cerf
-  Ragondin




Coulées

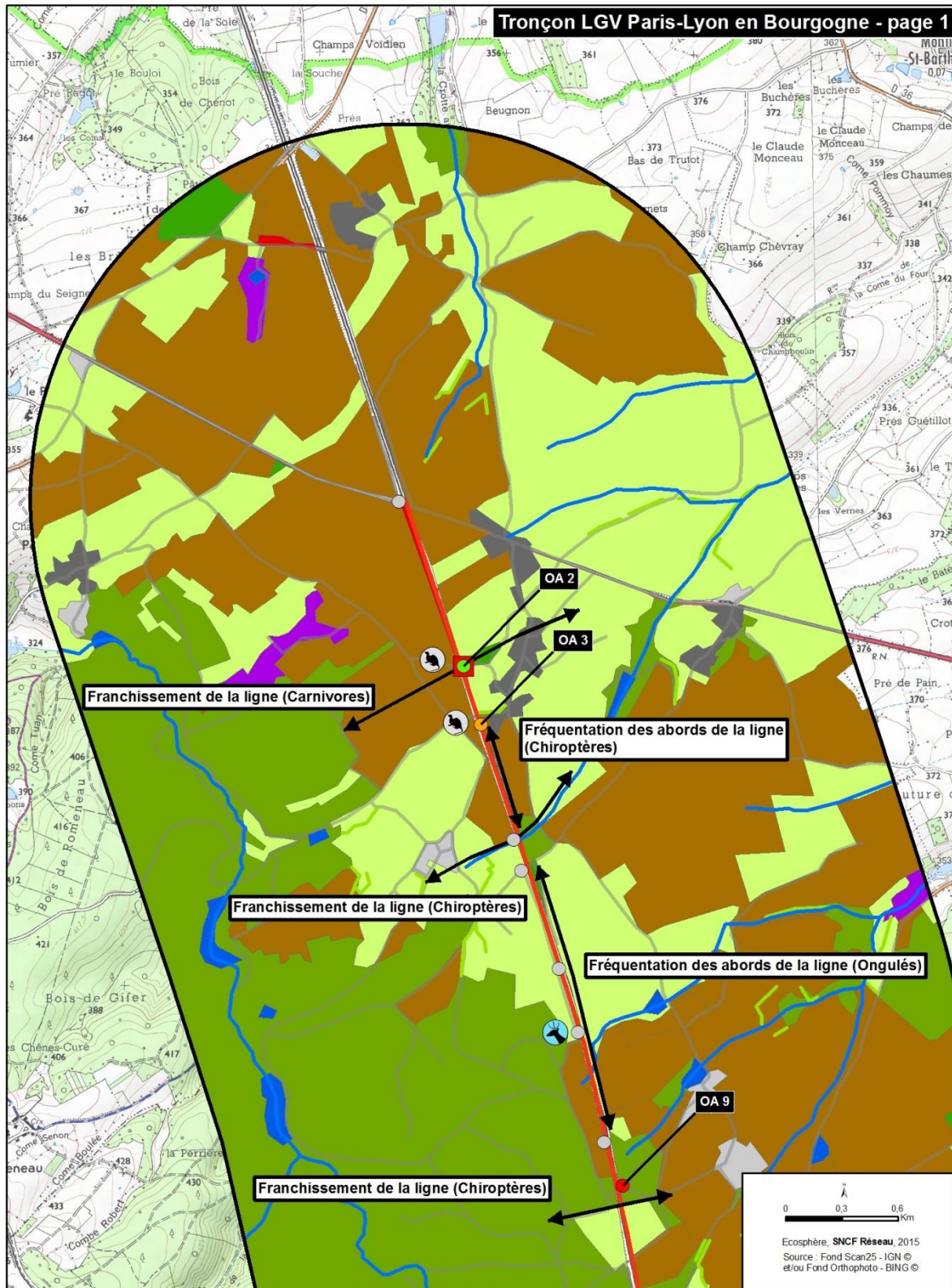
-  Carnivores
-  Ongulés
-  Indéterminées

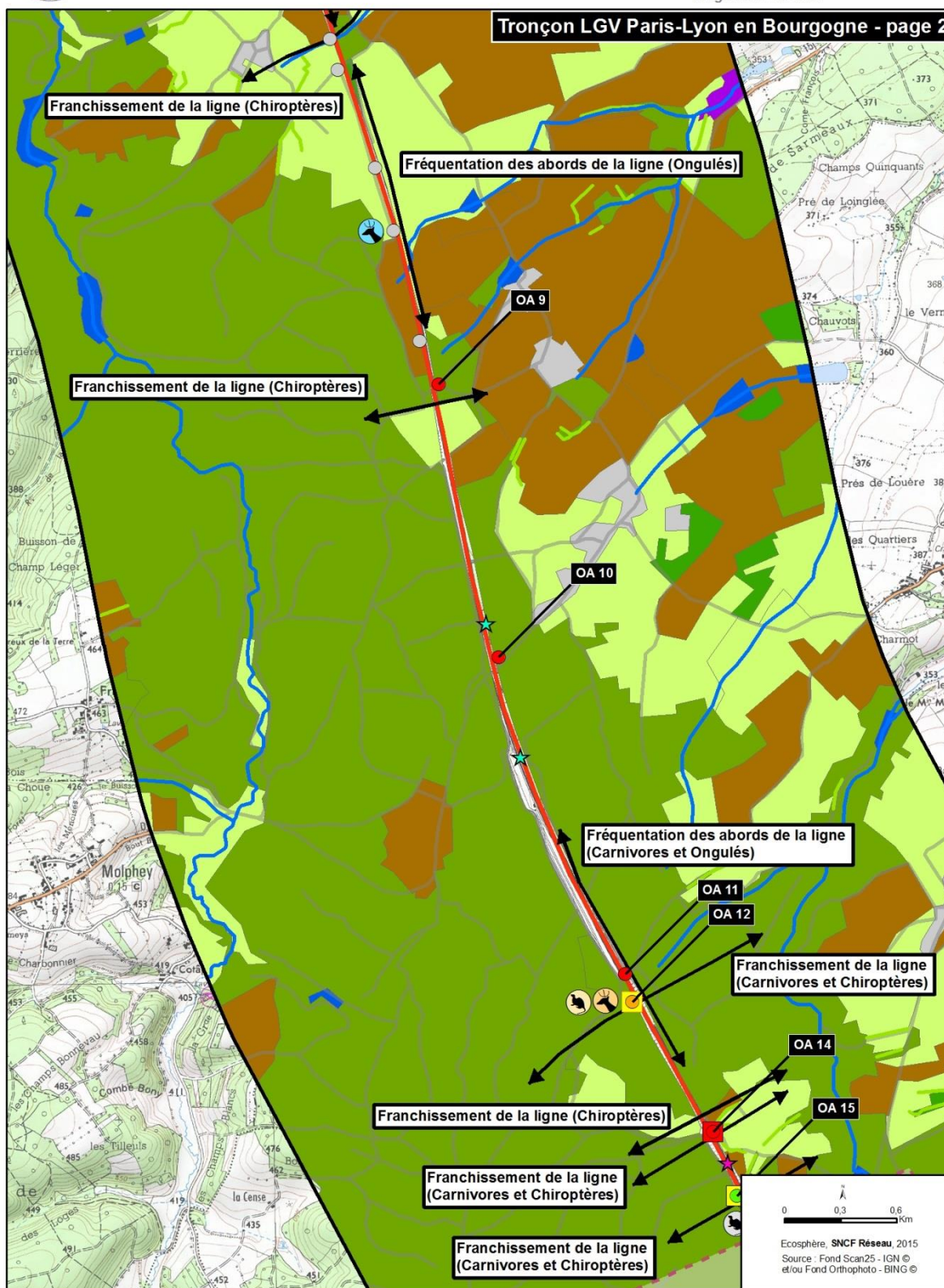
Données issues du SRCE

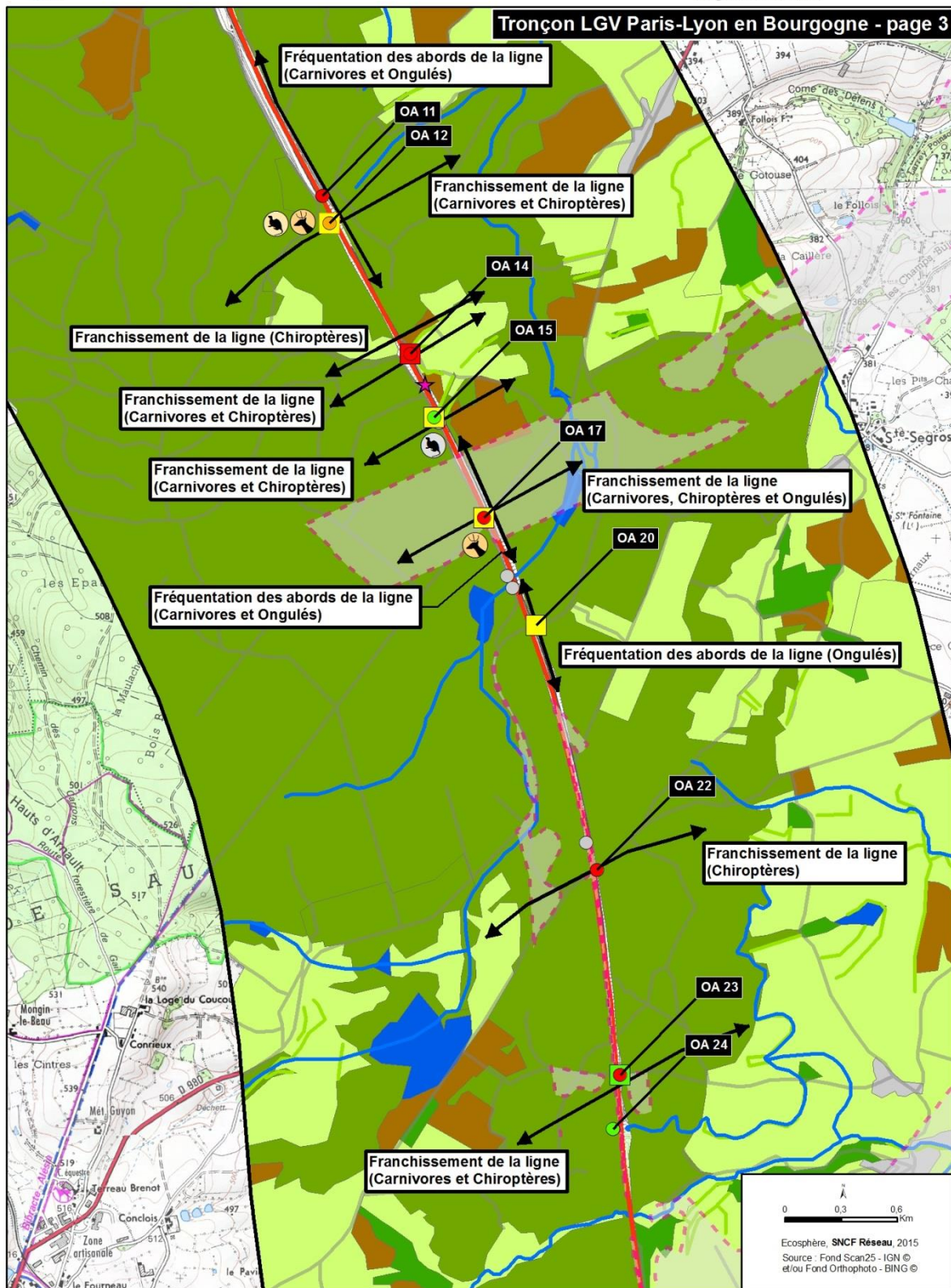
-  Corridors écologiques à préserver
-  Corridors écologiques à restaurer ou à remettre en bon état

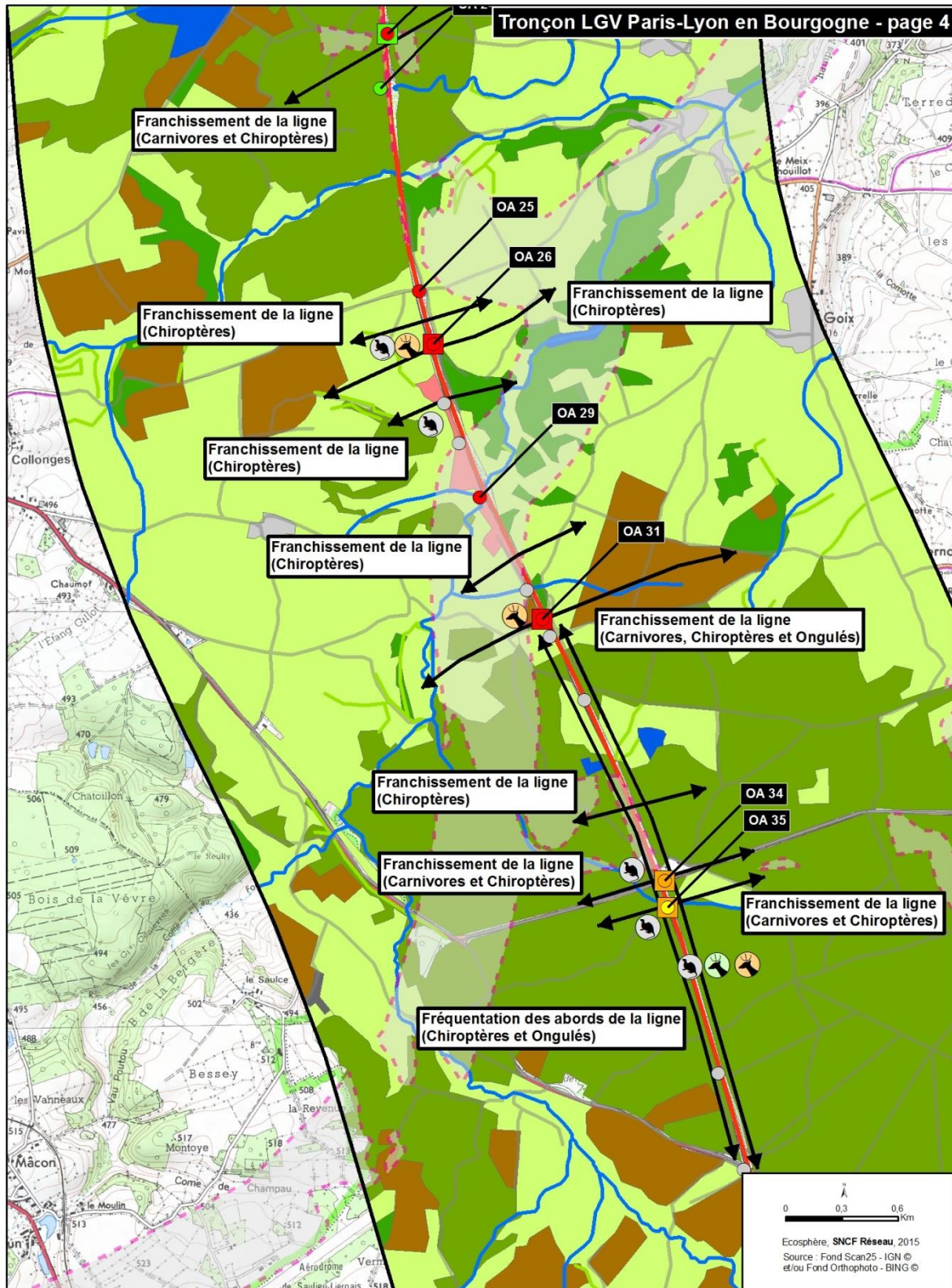
Autres éléments

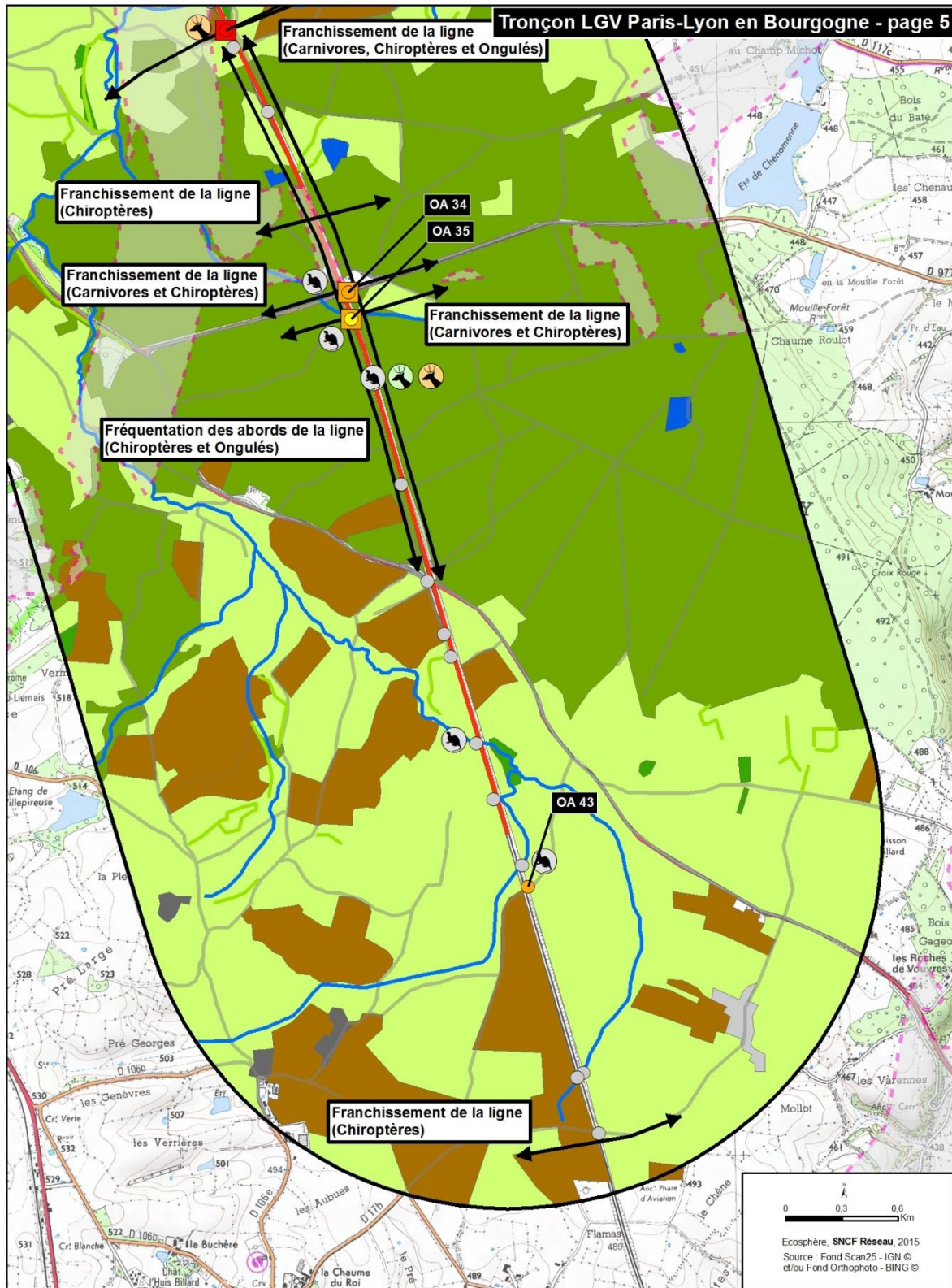
-  Ouvrages identifiés
-  Linéaire suivi
-  Fuseau d'étude de 4 km











Synthèse et Chiffres clefs : Résultats des suivis par technique génétique

L'utilisation de la génétique du paysage fournit des informations utiles quant à la présence d'éléments paysagers influençant la structure génétique des populations. Une des 4 espèces recherchées dans le cadre de l'expertise génétique, le **Carabe des bois** (coléoptère) a dû être abandonnée de nos analyses car elle s'est avérée insuffisamment abondante sur certains tronçons pour permettre des traitements statistiquement fiables.

Au final, 2 220 échantillons ont été récoltés sur les 3 espèces modèles exploitables :

- **Salamandre tachetée (amphibien)** : la présence d'une structuration des populations a été constatée dans trois régions sur quatre. Les analyses réalisées ont pu mettre en évidence un effet significatif de la distance entre les populations sur leur différenciation génétique mais aucun effet de barrière lié à une infrastructure n'a été constaté ;
- **Myrtil (papillon diurne)** : espèce la plus mobile des trois, les résultats sont plus hétérogènes. La présence d'une structuration génétique a été constatée en Rhône-Alpes et en Lorraine. En Rhône-Alpes, cette structure peut provenir d'un isolement par la forêt et/ou d'un effet de fondation après dispersion à grande distance. D'autres tests statistiques (tests de Mante) indiquent la possibilité d'un effet barrière de la voie ferrée, qui n'est cependant pas confirmé par les modèles linéaires généralisés (GLM). En Lorraine, la structuration pourrait être liée à une dispersion à longue distance entre les sites suivis les plus éloignés et/ou à l'isolement d'un des sites par la nouvelle ligne ferroviaire ;
- **Féronie noire (coléoptère)**, aucune structuration des populations n'a été constatée. Des tests complémentaires indiquent l'existence d'une différenciation par la distance en Lorraine, ce qui montre que malgré la faible diversité génétique, un effet des structures paysagères peut être détecté chez cette espèce à cette échelle.

Synthèse et Chiffres clefs : Résultats des suivis photographiques

477 941 photographies ont été prises par les appareils photo automatiques dont 21% (environ 100000) liées à la faune sauvage :

- *Le nombre de traversées/jour de mammifères terrestres sur les **ouvrages non dédiés** (rétablissements routiers ou agricoles, ouvrages hydrauliques) varie de 0.33 à 0.61 individus/j (surtout des carnivores, des lagomorphes mais très peu d'ongulés). On note que la fréquentation est moins importante sur les passages supérieurs que sur les passages inférieurs, ainsi que sur les passages goudronnés par rapport aux passages en terre stabilisé qui s'avèrent plus favorables lorsque la fréquentation humaine est limitée. Si les carnivores passent dans tous les types de passage inférieurs, en revanche les lagomorphes (lièvres...) et surtout les ongulés fréquentent peu les passages inférieurs à 2 m de haut ;*
- *en comparaison, le suivi sur le seul **passage spécifique Grande Faune** étudié sur notre secteur donne 3.72 individus/j soit 5 à 10 fois plus que pour les passages non dédiés. Les chiffres sont relativement comparables aux ouvrages non dédiés concernant les carnivores (Renard, Blaireau, Chat forestier...) mais sont supérieurs pour les lagomorphes et surtout pour les ongulés (Sanglier, Chevreuil et même Cerf), qui représentent 54% du total ;*
- *Le nombre de traversées/jour sur les **sections courantes** est en moyenne comparable à ce que l'on observe sur les ouvrages non dédiés les moins contraignants (passages inférieurs les plus tranquilles avec sol en terre battue). Cependant, ce chiffre varie fortement d'un secteur à l'autre, allant d'aucune traversée à 1,18 traversée sur une seule coulée de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne suivi durant 4 saisons. Sur le plan méthodologique, il est à noter que la détection des espèces sur les sections courantes est plus difficile, les animaux n'étant pas canalisés par les ouvrages, ce qui fait que les décomptes sont probablement sous-estimés par rapport aux passages supérieurs ou inférieurs ;*
- *une faible **fréquentation des abords** est observée le long des sections courantes des lignes classiques ou des lignes nouvelles (0,23 à 0.34 fréquentation/jour). Là encore pour les mêmes raisons méthodologiques que précédemment, les chiffres sont probablement sous-estimés. Le Sanglier et le Blaireau sont à toutes les saisons les espèces les plus fréquentes aux abords des deux LGV (27% chacun). Concernant le Sanglier, on constate que ce dernier utilise rarement les ouvrages non dédiés pour traverser ce qui montre l'effet de coupure généré par la voie ferrée. En revanche, pour les lignes ordinaires, l'absence de clôture permet certainement aux ongulés de traverser sans contrainte majeure ;*
- ***En conclusion**, l'étude montre que la plupart des carnivores sont capables de traverser en section courante ou d'utiliser les ouvrages non dédiés, y compris ceux de taille relativement modeste (< à 2 m). Par contre, elle confirme l'absence de franchissement de certains ongulés, notamment du Sanglier et du Cerf, sur des ouvrages non dédiés à la faune. La fréquentation des abords des LGV totalement grillagées par ces mêmes animaux et l'importance des franchissements constatés sur le seul site spécifique Grande Faune que nous avons étudié confirment l'importance des ouvrages spécifiques pour la grande faune terrestre.*

Synthèse et Chiffres clefs : Résultats des suivis acoustiques et considérations générales sur les SRCE

68 128 séquences de chiroptères ont été enregistrées sur les 250 nuits dont 77% de Pipistrelle commune, 17% pour diverses espèces de Murins et 6% d'autres espèces :

- *En comparaison avec d'autres références bibliographiques, la **fréquentation constatée sur les ouvrages** s'avère dans l'ensemble plus élevée que ce qui a été noté ailleurs sans que l'on puisse avancer d'explications claires (variabilité de la richesse des territoires ?). Les données collectées dans le cadre de Trans-fer montrent que les chauves-souris fréquentent tous les types d'ouvrages non dédiés à ce groupe avec une préférence pour les ouvrages d'une hauteur supérieure à 2 mètres (diversité et abondance plus élevées). Certaines espèces comme le Minioptère de Schreibers sont plus exigeantes en préférant emprunter des ouvrages d'une hauteur supérieure à 4 mètres. D'autres comme les Oreillards et la Barbastelle d'Europe ont besoin d'au moins 2 mètres et ne traversent pas au sein d'ouvrages inférieurs à 2 m. Les autres espèces sont moins exigeantes et fréquentent tous les types d'ouvrage (Pipistrelles sp., Murins sp., Rhinolophes) mais avec des effectifs plus faibles dans les petits ouvrages ;*
- ***La fréquentation moyenne des sections courantes** est supérieure à celle des ouvrages < à 2 mètres de haut, mais notablement inférieure à celle des ouvrages > à 2 mètres de haut ou aux passages supérieurs. Cela tendrait à démontrer le rôle positif des grands passages inférieurs (> à 2 m de haut) et dans une moindre mesure des passages supérieurs pour les chiroptères. En revanche, les passages inférieurs de petite dimension (< à 2 mètres de haut) présentent un intérêt limité sauf pour les rhinolophes qui peuvent les utiliser de façon préférentielle, ce qui est d'autant plus intéressant que ce sont des espèces assez sensibles aux risques de collisions et à la fragmentation des paysages en raison de leur faible hauteur de vol.*

Les lignes ferroviaires, et en particulier les LGV, sont souvent considérées comme très impactantes dans les SRCE en raison de l'engrillagement des emprises fragmentant les couloirs de déplacement potentiel des espèces.

L'étude Trans-fer démontre une fréquentation régulière des ouvrages non dédiés à la faune par les carnivores, les lagomorphes et les chiroptères. Si les ongulés sur les lignes classiques franchissent en dehors des ouvrages, ils se concentrent sur les LGV clôturées sur les passages à faune spécifiquement aménagés ou à défaut sur des ouvrages non dédiés mais suffisamment dimensionnés (> à 2 m de haut). Par ailleurs, il faut noter que les ongulés et les autres espèces suivent régulièrement les abords des voies ferrées qui constituent de nouveaux corridors participant ainsi au remailage des réseaux écologiques.

5. RECOMMANDATIONS



5. Recommandations

Les lignes ferroviaires diffèrent du réseau routier par leurs dimensions, leur typologie et le trafic qui leur est associé.

Ces impacts peuvent être temporaires (perturbation lors de travaux) ou permanents (liés à l'infrastructure, au trafic...). En phase de fonctionnement d'une ligne ferroviaire, plusieurs risques peuvent apparaître :

- Isolement des populations en cas de clôtures de l'infrastructure limitant ainsi les échanges génétiques ;
- Surmortalité liée à des déplacements trop risqués notamment par rapport à des trains à grande vitesse ;
- Disparition de certaines espèces du fait du fractionnement des habitats.

Le domaine ferroviaire suscite néanmoins depuis une quinzaine d'année les mêmes interrogations que pour le réseau routier (Plakhotnik et al. 2005 ; Ginot et al., 2010 ; Penone et al., 2012).

Le projet «Trans-fer» montre que même des ouvrages non dédiés et a priori les moins favorables à la faune, tels que certains rétablissements routiers ou ouvrages hydrauliques de diamètre relativement restreints, sont susceptibles d'être fréquentés par diverses espèces (carnivores, chiroptères) de manière plus ou moins régulière, sous réserve d'être convenablement connectés à la trame paysagère. Il est même possible d'affirmer dans une certaine mesure que la diversité des ouvrages favorise la transparence écologique des infrastructures ferroviaires, en répondant aux diverses exigences des espèces terrestres ou volantes. **Cependant, les caractéristiques des ouvrages peuvent être notablement améliorées afin d'augmenter la transparence écologique générale des infrastructures.**

Il nous semble intéressant de replacer les résultats de « Trans-fer » dans un contexte historique, dans la mesure où les résultats obtenus confirment certaines interrogations anciennes sur l'efficacité des passages pour certains groupes faunistiques et semblent inversement infirmer certaines inquiétudes plus récentes.

En effet, dans les années 1960, les mesures de restauration des continuités écologiques étaient essentiellement ciblées sur les passages dit « à gibier », devenus des « passages à grande faune », au titre des mesures compensatoires à vocation cynégétique. A l'époque, l'intérêt était peu porté sur les « petites espèces ». De plus, on parlait du principe que l'effet de coupure était plus accentué pour les grands animaux que pour les petits et que ces derniers pouvaient directement bénéficier des aménagements pour la grande faune. Les préoccupations ont ensuite évoluées pour s'intéresser progressivement, entre les années 1980 et 2000, aux différents groupes faunistiques (faune aquatique, amphibiens, petits mammifères, chiroptères et plus récemment insectes et autres invertébrés). Des aménagements spécifiques ont été préconisés (crapauducs, aménagement des ouvrages hydrauliques pour les mammifères semi-aquatiques...).

Les techniques d'évaluation de la transparence des ouvrages ont également évoluées avec la généralisation de l'usage des appareils photo-automatiques et des enregistreurs d'ultrasons, puis plus récemment l'apparition puis la démocratisation des méthodes de génétique des populations et des paysages qui ont permis de mieux quantifier l'impact sur le brassage génétique des populations.

Dans ce contexte, les passages ont évolué vers des dispositifs aménagés pour permettre la circulation des espèces terrestres, aquatiques, voire volantes comme les chiroptères, dans un esprit de conservation et de restauration des corridors biologiques (CARSIGNOL, 2006).

Les passages dénivelés (supérieurs ou inférieurs) facilitent les rétablissements des connectivités spatiales et fonctionnelles des espèces principalement terrestres afin de franchir les installations linéaires de transport. Ils permettent de répondre à plusieurs objectifs :

- Limiter la fragmentation des habitats et des populations animales ;
- Agir sur le fonctionnement des espèces en métapopulation et donc ainsi sur la dynamique des populations ;
- Rétablir de nouveaux corridors essentiels à la survie des espèces en association avec la pose de clôtures le long des infrastructures linéaires pour réduire la mortalité animale due à la circulation.

L'efficacité de ces passages, spécifiques ou non, repose principalement sur l'insertion, l'attractivité et l'accessibilité :

- le positionnement du passage au sein de la matrice paysagère. Il s'agit de favoriser l'insertion de l'ouvrage dans le paysage afin de guider la faune tout en assurant sa gestion et son entretien notamment sur la « fermeture » des milieux ou le remplissage d'une buse ;
- l'installation d'une végétation attractive aux abords pour la Grande Faune. Outre répondre à des besoins particuliers de guidance pour la faune, l'aménagement doit prévoir l'atténuation des perturbations liées à la circulation voire à la lumière produite par les véhicules ;
- l'absence d'obstacles naturels ou anthropiques aux extrémités.

Même si des préférences existent et que globalement les passages inférieurs sont, à taille équivalente, plus efficaces ou préférés par de nombreuses espèces que les passages supérieurs, la décision de créer des passages pour la faune répond à des critères :

- **biologiques** : espèce ou groupes d'espèces, types de déplacements (occasionnels, journaliers, saisonniers, locaux, régionaux, ...), caractéristiques des échanges (dispersés sur une grande largeur ou concentrés sur un corridor, etc.)
- **techniques** : possibilité de franchissement (supérieur ou inférieur) en fonction du profil en long de l'infrastructure, complémentarité entre les ouvrages spécialisés ou non. Dans un projet, il est préférable de prévoir plusieurs types de passages et de profiter des complémentarités.

Par exemple, les chiroptères ont l'avantage d'avoir une capacité d'adaptation aux modifications et s'approprient plutôt facilement et rapidement les aménagements lorsqu'ils sont correctement conçus et leur sont favorables.

Enfin, tous ces passages n'offrent pas le même intérêt en fonction de leurs positions dans le paysage, de leurs tailles (ou diamètres pour un passage inférieur) et des caractéristiques biologiques des espèces visées (en privilégiant l'espèce la plus exigeante en terme de franchissement).

Pour une ligne ferroviaire, la largeur moyenne d'une plateforme ferroviaire est d'environ 15 m soit la moitié de la largeur moyenne des plateformes autoroutières. Cette plus faible largeur des lignes ferroviaires améliore sensiblement l'effet barrière pour autant que le rapport largeur / longueur des ouvrages de transparence soit supérieur à 0,5 (pour les passages supérieurs).

Enfin, en fonction des projets, la mise en œuvre de clôtures adaptées ou de structures de guidage (haies, arbres d'alignement) est une mesure complémentaire pour guider les espèces sensibles aux collisions notamment sur les infrastructures à grande vitesse.

Les murets ou bordures peuvent également guider des espèces patrimoniales (vison, loutre, amphibiens, etc.) en remplacement des clôtures.

Enfin, l'utilisation des haies comme dispositif de guidage est parfois préconisé le long des emprises afin de guider les espèces utilisant ces structures (chauves-souris, petits mammifères, insectes, etc.).

Dans ce cas, ces plantations doivent être :

- continues et denses à leur base pour éviter que les chauves-souris quittent la structure en empruntant les trouées et se dirigent vers l'infrastructure. Des études ont montré que 20 % des individus ont tendance à utiliser ces trouées (ARTHUR & LEMAIRE, 2009) ;
- éloignées d'au moins 20 m par rapport à l'infrastructure (du bord de chaussée) ;
- raccordée aux ouvrages de franchissement.

Une structure constituée d'une double haie renforce l'efficacité de ce guide parallèle (ARTHUR & LEMAIRE, 1999). La première haie discontinue sert à concentrer les chauves-souris dans l'allée et la deuxième haie continue est utilisée comme barrière les dissuadant de traverser (cf. figure 93).

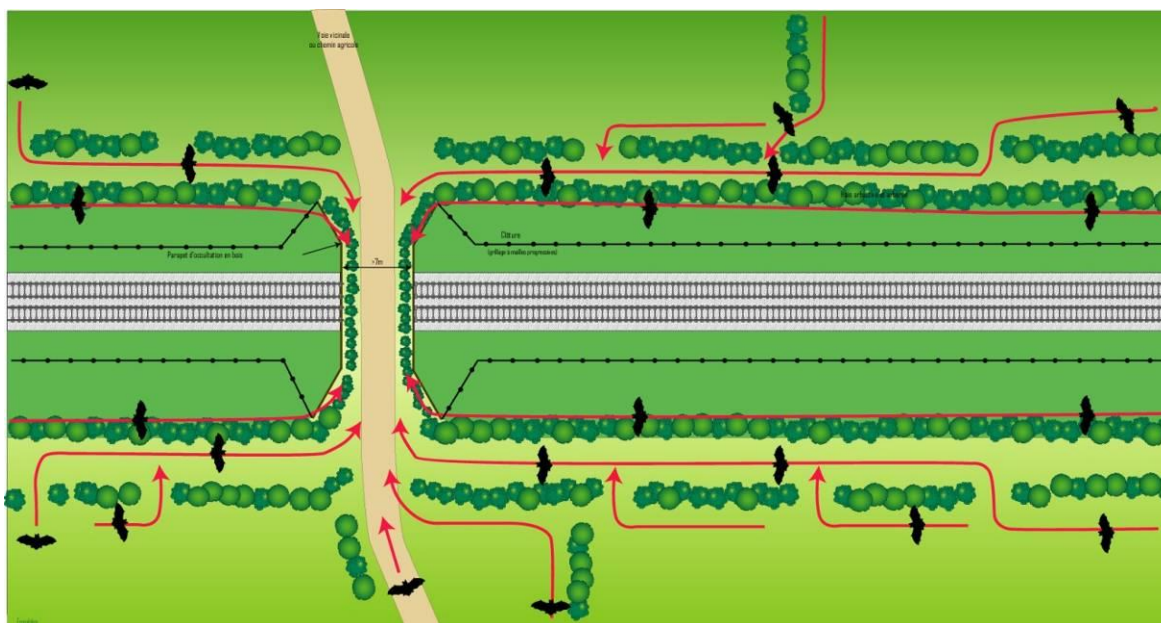


Figure 91: Aménagement d'un guidage vers un passage supérieur mixte (schéma Ecosphère)

Enfin, Les dépendances vertes représentent plus de 500 000 ha pour l'ensemble des infrastructures linéaires de transport en France, soit près de 1% du territoire national. Milieu de transition entre l'infrastructure et le paysage environnant, ces dépendances constituent des espaces de refuges et de circulations pour la petite et moyenne faune. Ils sont d'autant plus importants qu'ils constituent des linéaires interconnectés dans toutes les directions sur de grandes distances. Ils forment une vaste trame verte herbacée ou parfois arbustives et arborées interconnectés à d'autres types de milieux (prairies, boisements, espaces verts urbains et périurbains...). Ils présentent par contre l'inconvénient majeur d'avoir une largeur limitée et d'être soumis à différents types de perturbations (circulation de véhicules aux abords immédiats entraînant des risques de collision, bruit, pollution atmosphérique pour les routes, gestion régulière, fréquentation humaine...).

Les abords d'infrastructures sont souvent exploités par de nombreuses espèces tout au long de leur cycle annuel.

Outre la présence d'une flore parfois originale, les dépendances vertes peuvent par exemple être utilisées comme sites de nourrissage par certains insectes pollinisateurs (papillons notamment). Néanmoins, l'importance de ces abords ne sera pas le même en fonction du paysage dans lequel l'infrastructure linéaire de transport (ILT) s'insère :

- En milieu forestier, l'ILT constitue un effet barrière pour de nombreuses espèces forestières mais les abords favorisent de nouveaux corridors longitudinaux. La végétalisation des abords des routes peut créer de nouveaux terrains de chasse et de nouvelles routes de vol (Bickmore & Wyatt, 2003 & 2006 ; Ecoconseil & CPEPESC Franche-Comté, 2004 ; Highway Agency, 1999) à condition que la configuration de la route ne favorise pas les collisions.
- En secteurs de grandes cultures intensives, les abords et aménagements (bassins, fossés) des ILT constituent des réservoirs de biodiversité pour des espèces généralistes mais également des corridors biologiques longitudinaux qui peuvent ainsi fonctionner en pas japonais pour de nombreuses espèces permettant la dispersion des individus voire même leurs reproduction ;
- Enfin, dans des zones d'habitats naturels ouverts ou en zones sensibles ou protégées, les ILT constituent plutôt des zones de perturbations affectant ainsi ces régions naturelles. L'amélioration des connectivités entre ces milieux dépend de la fréquence des passages possibles et de leurs caractéristiques.

L'abondante littérature montre le bénéfice d'une gestion extensive des dépendances vertes sur les habitats, les espèces floristiques, les oiseaux et les petits mammifères (Dasnias et al., 1997 ; Meunier et al., 1998 ; 1999a ; 1999b ; 2000 ; Nord Nature Chico Mendès, 2009).

5.1. Recommandations générales

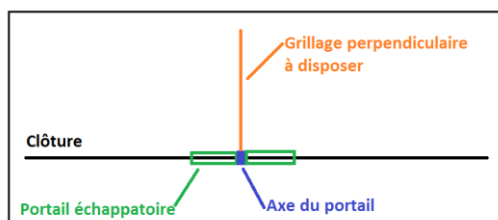
Compte tenu de la nature des expertises réalisées sur les amphibiens et les insectes (expertises génétiques) il ne sera pas possible pour ces groupes de proposer des mesures adaptées aux 4 tronçons ferroviaires étudiés. **Les propositions qui suivent portent donc exclusivement sur les mammifères terrestres et les chiroptères.** Nous aborderons dans un premier temps les mesures génériques susceptibles d'être mises en œuvre avant de faire des propositions adaptées à chaque ligne.

5.1.1. Positionnement des clôtures



Sur ces lignes nouvelles, le déplacement du périmètre grillagé permettrait de rendre plus facilement à la faune terrestre l'accès à certaines buses ou dalots inaccessibles (cf. photo ci-contre) permettant à la faune terrestre de franchir l'infrastructure ferroviaire.

De la même façon, la mise en œuvre de portails de dispositifs de sortie adaptés (échappatoires – cf. photographie ci-contre) pour la faune (notamment ongulés type chevreuil ou sanglier) permettrait à la faune piégée à l'intérieur de sortir selon le schéma ci-dessous.



5.1.2. Aménagement des passages routiers supérieurs non dédiés à la faune

Les passages supérieurs avec voies de circulation revêtues (béton, enrobé) sont les ouvrages les moins fréquentés par la faune terrestre. Pour ces passages supérieurs, la requalification des ouvrages à revêtement bitumé apparaît une des actions principales à entreprendre afin d'augmenter la transparence générale de la ligne. Compte tenu des impératifs de circulation, les ouvrages à réhabiliter correspondent à des rétablissements de chemins forestiers ou éventuellement de petites routes communales comme le cas de l'ouvrage n° 31 de la LGV Paris-Lyon en Bourgogne (cf. ci-contre), de l'ouvrage n°1 de la ligne classique en Franche-Comté (cf. ci-après) ou de l'ouvrage n°11 de la ligne classique Rhône-Alpes.



Sur ce type d'ouvrage, la requalification devrait comporter principalement la réfection de la chaussée (suppression des trottoirs s'ils existent) avec pose d'un revêtement en terre (stabilisé) et de palissades en bois raccordés aux glissières en place afin de servir au franchissement de la faune terrestre et des chiroptères (cf. image ci-dessus).

Sur la ligne classique en Rhône-Alpes, la création d'un passage supérieur spécifique serait à envisager sur le secteur du Bois de Verne (corridor identifié à restaurer dans le SRCE au nord du village de

Saint-Etienne du Bois). En effet, ce passage permettrait de sécuriser le franchissement des ongulés dans ce secteur entre les zones boisées situées de part et d'autre de la ligne ferroviaire.

Les aménagements proposés devront bénéficier d'études précises avant toute mise en œuvre. Ces dernières devront être menées en concertation avec les exploitants de la ligne, afin de prendre en compte l'ensemble des paramètres techniques, fonciers, réglementaires, biologiques (recueil des collisions éventuelles, localisation précise de l'ouvrage, dimensionnement, risques de dégâts aux cultures...) en partenariat avec les structures locales (collectivités, riverains, DREAL, Fédération des chasseurs, ONCFS, Associations naturalistes...).

5.1.3. Aménagement des passages routiers inférieurs non dédiés à la faune

Les résultats de Trans-fer montrent que la majorité des carnivores (Renard, Chat forestier, mutélidés) et une partie des chiroptères sont capables de passer dans tous les types d'ouvrage avec cependant des effectifs plus faibles au niveau des ouvrages les moins hauts. Les mammifères terrestres recherchent les ouvrages avec des sols en terre, si possible d'un gabarit supérieurs à 2 mètres pour les ongulés. La plupart des chiroptères préfèrent les ouvrages avec des hauteurs supérieurs à 4 m, et dans une moindre mesure, les passages supérieurs et les ouvrages entre 2 à 4 m de hauteur.

Comme pour les passages supérieurs, le remplacement des revêtements bitumés par de la terre et la suppression des trottoirs constituent des actions prioritaires afin d'augmenter la fréquentation de ces ouvrages. Les ouvrages à réhabiliter correspondent aux rétablissements de chemins forestiers ou éventuellement de petites routes communales comme l'ouvrage n°3 de la ligne classique Franche-Comté (cf. photo ci-après).



Des aménagements plus importants seraient également à mener sur les deux lignes classiques étudiées avec des élargissements des passages inférieurs sur les ouvrages n°11 de la ligne classique Franche-Comté et n°19 de la ligne classique Rhône-Alpes. En effet, ces deux ouvrages possèdent des largeurs d'ouverture assez faibles (entre 2,5 et 3,5 m) limitantes pour le franchissement d'ongulés (notamment chevreuil et sanglier).

5.1.4. Aménagement des passages hydrauliques

Les petits ouvrages inférieurs (busés ou de type dalot) s'avèrent franchis même en journée par la faune terrestre notamment en période estivale et printanière (principalement par des carnivores). En revanche, les passages inférieurs de petite dimension (< à 2 mètres de haut) présentent un intérêt limité pour les chiroptères à l'exception des rhinolophes.

Pour ces petits passages inférieurs, l'aménagement de banquettes est l'action la plus importante à entreprendre afin de maintenir la fréquentation de ces ouvrages par les carnivores lors de leurs mises en eau. Néanmoins, la mise en œuvre de ce type d'aménagements nécessite de prendre en compte la transparence hydraulique destinée à garantir l'écoulement des eaux provenant de l'amont de l'infrastructure (cf. photo ci-contre de l'ouvrage n°18 de la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne).



Ces aménagements doivent préalablement bénéficier d'études précises, menée en concertation avec les exploitants de la ligne, les services de l'ONEMA et des DREAL, les collectivités locales, les riverains, les Fédérations des pêcheurs et des chasseurs, les associations naturalistes... afin de prendre en compte ces différents paramètres (aspects techniques, débit, réglementation) avant engagement des mesures.

Comme de nombreux auteurs le mentionnent, la position de ces ouvrages ou passages est un élément déterminant pour de nombreuses espèces. La prise en compte du paysage et des éléments structurants (haies, lisières, cours d'eau, voies routières, etc.) doit donc être réfléchi afin de garantir à long terme la fréquentation de ces ouvrages et éviter d'engendrer des phénomènes de surmortalité.

5.2. Recommandations concernant les 4 tronçons étudiés

A partir des données collectées sur le terrain, de l'analyse des caractéristiques des ouvrages, des différents SRCE et de l'éco-paysage sur les 4 tronçons lors du programme « Trans-fer », différentes propositions peuvent être formulées afin d'améliorer l'efficacité des ouvrages et la transparence globale de ces tronçons ferroviaires.

5.2.1. Ligne classique en Franche-Comté

Les principales actions proposées concernent le remplacement du revêtement d'ouvrages supérieurs avec la mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune et la création de banquettes au niveau des petits ouvrages inférieurs. Un élargissement d'ouvrage est proposé afin d'augmenter les fréquences de franchissement de cet ouvrage par la faune (notamment pour les ongulés). Des nettoyages d'ouvrage sont également proposés afin d'améliorer la fonctionnalité de ces ouvrages.

N° ouvrage	Commune	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
1	Abbans-Dessous	PS	4,85		Enrobé	Remplacement du revêtement (stabilisé) + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
2		PI	0,7	1	Pierre	
3	Abbans-Dessous	PI	4	5	Stabilisé	suppression des trottoirs sous l'ouvrage
4		PI	0,7	1	Pierre	
5	Byans-Sur-Doubs	PI	2,6	4	Stabilisé	
6		PI	1	1,2	pierre	Aménagements banquette
7	Byans-Sur-Doubs	PS	8		Enrobé	
8	Byans-Sur-Doubs	PS	7,8		Enrobé	
9	Liesle	PS	7		Enrobé	Mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
10		PI	0,75	1,1	Béton	
11	Liesle	PI	3,45	3,5	Terre battue	Elargissement de l'ouverture (5 m) de l'ouvrage pour faciliter le franchissement Grande Faune
12		PI	1	1,2	Pierre	création d'une banquette
13		PI	0,75	1,2	Béton	
14		PI	0,5	0,5	Béton	
15	Cramans	PI	75	5	Terre battue	
16	Cramans	PI	5	4,6	Enrobé	

N° ouvrage	Commune	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
17	Cramans	PI	4	4,8	Stabilisé	
18	Cramans	PI	5	3,7	Enrobé	
19	Cramans	PS	4,6		Stabilisé	Mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
20		PI	0,65	0,65	Béton	Nettoyage de l'ouvrage
21		PI	1	1,2	Pierre	
22	Cramans	PI	5	3,9	Enrobé	
23		PI	1	1,3	Pierre	Nettoyage de l'ouvrage
24		PI	1	0,95	Pierre	Nettoyage de l'ouvrage
25	Mouchard	PS	5		Enrobé	

Tableau 61 : Ouvrages recensés de la ligne classique Franche-Comté avec les aménagements envisagés

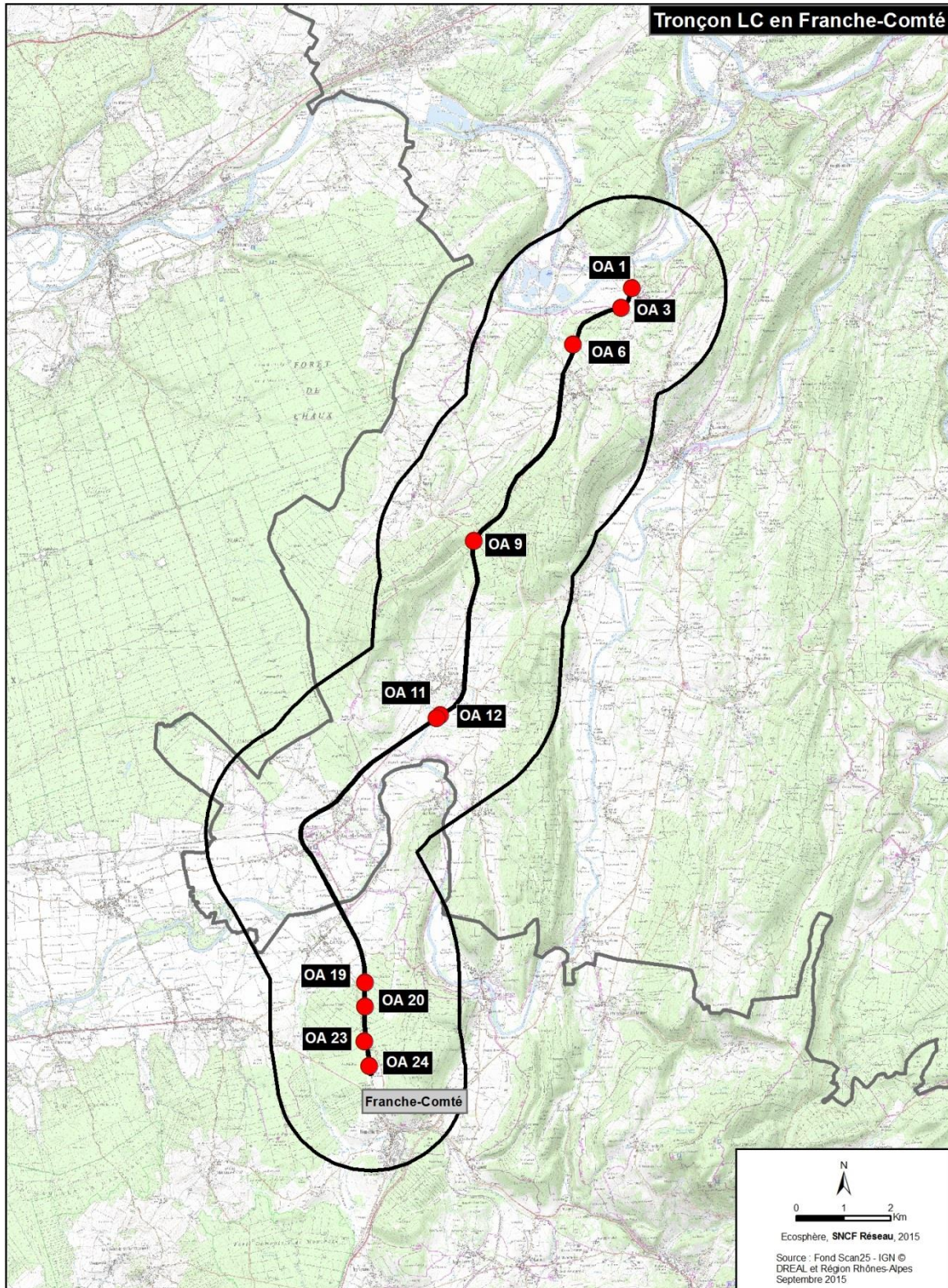


Figure 92: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne classique Franche-Comté

5.2.2. Ligne classique en Rhône-Alpes

Les principales actions proposées concernent le remplacement du revêtement d'ouvrages supérieurs avec la mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune et la création de banquettes au niveau des petits ouvrages inférieurs. Un élargissement d'ouvrage est proposé afin d'augmenter les fréquences de franchissement de cet ouvrage par la faune (notamment pour les ongulés).

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
1	Saint-Amour	Portique	PI	10	2	lit de la rivière	
2		buse	PI	/	/	béton	
3	Saint-Amour	Portique	PI	4,1	4,3	enrobé	
4		buse	PI	0,5	0,5	béton	
5	Le Vernay	Portique	PI	3	2,5	terre battue	
6		Buse	PI	0,4	0,4	béton	
7	Saint-Amour	Pont	PS	3,5		enrobé	
8		conduit	PI	0,3	0,3	béton	
9		Dalot	PI	1	1,2	béton	
10	Chazelles	Dalot	PI	2	2	vase	création d'une banquette
11	Chazelles	Pont	PS	3		enrobé	Remplacement du revêtement (stabilisé) + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
12		Dalot	PI	0,8	1,2	béton	
13	Chazelles	Pont	PS	3		enrobé	
14		Dalot	PI	1,5	2	béton	création d'une banquette
15	La Ville sous Charmoux	Portique	PI	5	4	enrobé	
16	La Ville sous Charmoux	Dalot	PI	3	2		création d'une banquette
17		Buse	PI	0,5	0,5	béton	
18		Dalot	PI	1	2	béton	
19	Pirajoux	Portique	PI	2,5	2,5	terre battue	Elargissement de l'ouverture (5 m) de l'ouvrage pour faciliter le franchissement Grande Faune

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
20		dalot	PI	0,8	1	béton	
21		conduit	PI	0,6	0,6	béton	
22		dalot	PI	1	1,8	vase	création d'une banquette
23		Buse	PI	0,4	0,4	béton	
24		Buse	PI	0,6	0,6	béton	
25		Buse	PI	0,6	0,6	béton	
26		Dalot	PI	0,8	0,8	béton	
27		Dalot	PI	0,8	1,2	béton	
28	Moulin des Ponts	Portique	PS	8	4		
29	Aussiat	Dalot	PI	1,5	2,5	vase	création d'une banquette
30		Buse	PI	0,6	0,6	béton	
31	Beny	Portique	PI	3,8	3,6	terre battue	
32	Les manillers	Pont	PS	4		enrobé	
33		Buse	PI	0,5	0,5	béton	
34	Les manillers	Dalot	OH	1	1	béton + vase	création d'une banquette
35	Chalfoux	Portique	PI	4	3	enrobé	
36		Buse	PI	0,6	0,6	béton	
37		Double buse	PI	0,6	0,6	béton	
38		Dalot	PI	1,2	2	Béton	création d'une banquette – obstacle au corridor écologique surfacique du SRCE Rhône-Alpes
39		Dalot	PI	0,8	1	Béton	
40	St Etienne du Bois	Portique	PI	10	8	inondé	
41	St Etienne du Bois	Portique	PI	4	4	enrobé	
42		Dalot	PI	0,75	1,1	béton	
43		Buse	PI	0,6	0,6	béton	
44	Montaplan	Dalot	PI	3	2,5	inondé	création d'une banquette
45	Bechanne	Dalot	PI	0,8	1	béton sec	
46		Buse	PI	0,6	0,6	béton	

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
47	Bechanne	Buse	PI	0,5		béton	
48	Bechanne	Dalot	PI	1,5	1,5	béton	création d'une banquette
49	Bechanne	Portique	OH	2	2,8	pierres	

Tableau 62 : Ouvrages recensés de la ligne classique Rhône-Alpes avec les aménagements envisagés

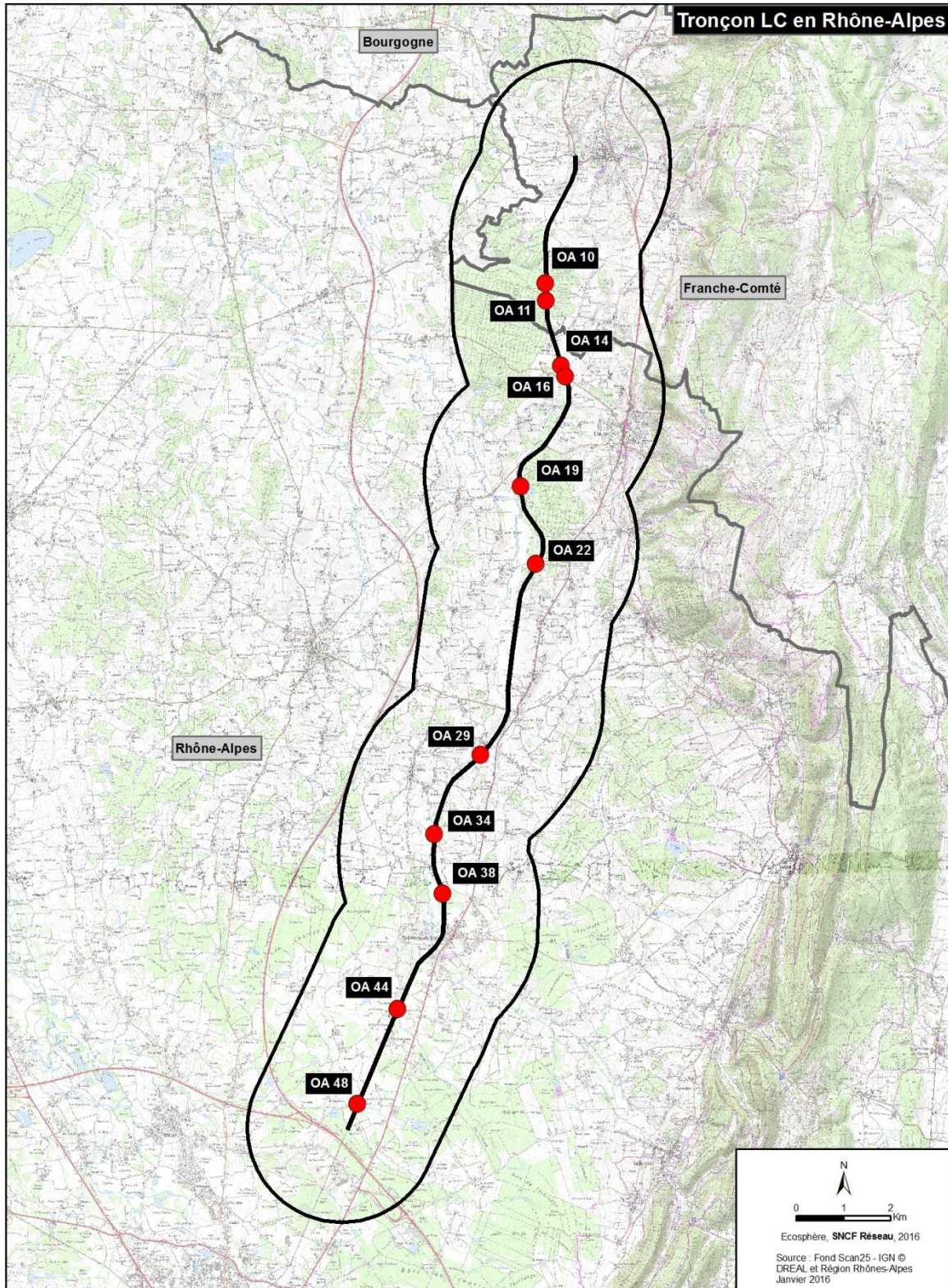


Figure 93: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne classique Rhône-Alpes

5.2.3. Ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine

Sur cette ligne nouvelle, 4 ouvrages de franchissement spécifique ou mixte Grande Faune ont été créés, soit 1 franchissement tous les 5 km. Néanmoins, afin d'améliorer la transparence, il serait intéressant de réaménager les buses situées dans l'emprise afin que les accès restent accessibles à la faune terrestre et de remplacer le revêtement d'ouvrages inférieurs et supérieurs avec la mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
1	Prény	Pont	PS	4,35		Enrobé	Remplacement du revêtement par du stabilisé + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
2	Prény	Portique	PI	4,76	3,5	Béton	
3	Prény	Portique	PI	9	5	Enrobé	
4	Prény	Pont	PS	11		Terre battue	
5	Prény	Pont	PS	8		Enrobé	
6	Prény	Pont	PS	33,7		Enrobé, herbe	
7		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
8	Prény	Buse	PI	1,14	1	Béton	
9		Portique	PI	8	5	Terre battue	
10		Buse	PI	1	1	Béton	
11		Buse dans emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
12		Buse dans emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
13		Portique	PI	7,5	4,5	Enrobé	
14		Buse	PI	1	0,8	Béton	
15		Buse		1	0,8	Béton	
16		Buse dans emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
17		Buse	PI	1,8	1,8	Béton	
18		Pont	PS	7,55		Enrobé	
19		Buse	PI	1	1	Béton	
20		Buse	PI	2	2	Béton	
21		Buse	PI	1	1	Béton	
22		Pont	PS	10		Enrobé	
23		Buse	PI	1	1	Béton	
24		Pont	PS	8,5		Enrobé	
25		Buse dans emprises	PI	1	1	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
26		Buse	PI	1,2	1,2	Béton	
27		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
28		Portique	PI	3	3,6	Terre battue	
29		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	Enlever la grille placée sur la buse pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
30		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
31		Buse	PI	1	1	Béton	
32		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
33		Viaduc	PI	28	6,5	Enrobé	
34		Buse	PI	1	1	Béton	
35		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
36		Portique	PI	5	4,8	Terre battue	
37		Buse	PI	1	1	Béton	
38		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
39		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
40		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
41		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
42		Buse dans emprises	PI	0,6	0,6	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
43		Portique	PI	8	4	Terre battue	
44		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
45		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
46		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
47		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
48		Portique	PI	5	4,5	Enrobé	Ouvrage situé sur un corridor forestier du SRCE Remplacer l'enrobé par du stabilisé et élargissement de l'ouverture de l'ouvrage (7 m) pour faciliter le franchissement Grande Faune
49		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
50		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
51		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
52		Buse	PI	1	1	Béton	
53		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
54		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
55		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
56		Buse	PI	1	1	Béton	
57		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
58		Viaduc	PI	14,8	7,7	Enrobé	
59		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
60		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
61		Buse	PI	1	1	Béton	
62		Buse	PI	1	1	Béton	
63		Viaduc	PI	13	4,3	Enrobé	

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
64		Buse	PI	1,2	1,2	Béton	
65		Buse					
66		Portique	PI	4	4	Terre battue	
67		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
68		Buse	PI	1,2	1,2	Béton	
69		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
70		Buse dans emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
71		Buse dans emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
72		pont	PS	8		Enrobé	Remplacement du revêtement par du stabilisé + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
73		Dalot	PI	2	1,2	Béton	
74		Portique	PI	5	5	Terre battue	
75		Buse	PI	1	1	Béton	
76		Buse	PI	1,8	1,8	Béton	
77		Viaduc	PI	49,5	8,3	Enrobé	
78		Portique	PS	9		Enrobé	Remplacement du revêtement par du stabilisé + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
79		Portique	PS	7,44		Enrobé	
80		Dalot	PI	5,88	5,75	Béton	
81		Pont	PS	30		Enrobé	
82		Buse	PI	1	1	Béton	

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements envisagés
83		Pont	PS	8,4		Enrobé	
84		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
85		Dalot	PI	10	7	Béton	
86		Portique	PI	9,7	6		
87		Portique	PI	8	5	Enrobé	
88		Portique	PI	7,5	12,5	Stabilisé	

Tableau 63 : Ouvrages recensés de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine avec les aménagements envisagés

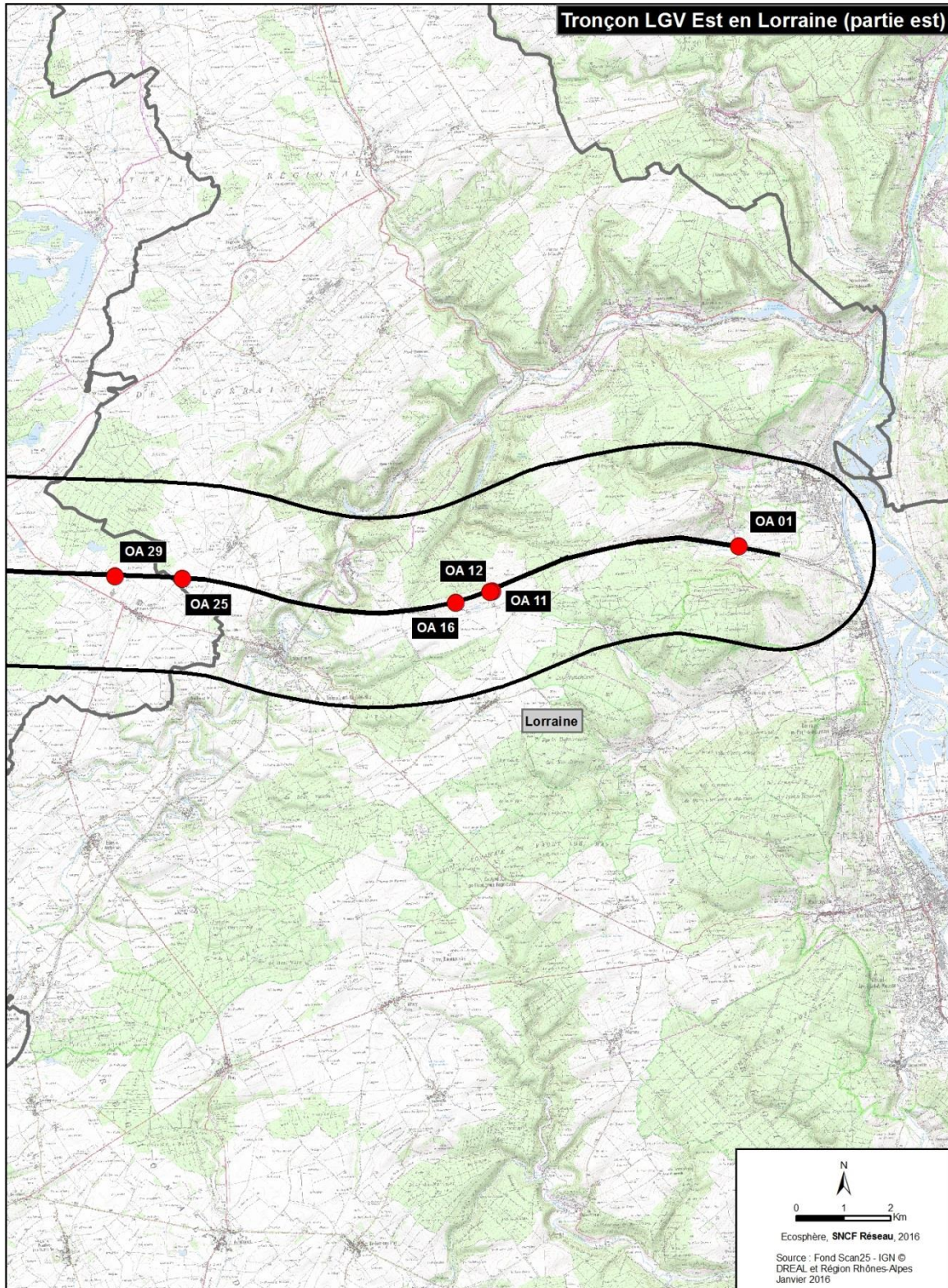


Figure 94: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine (partie est)

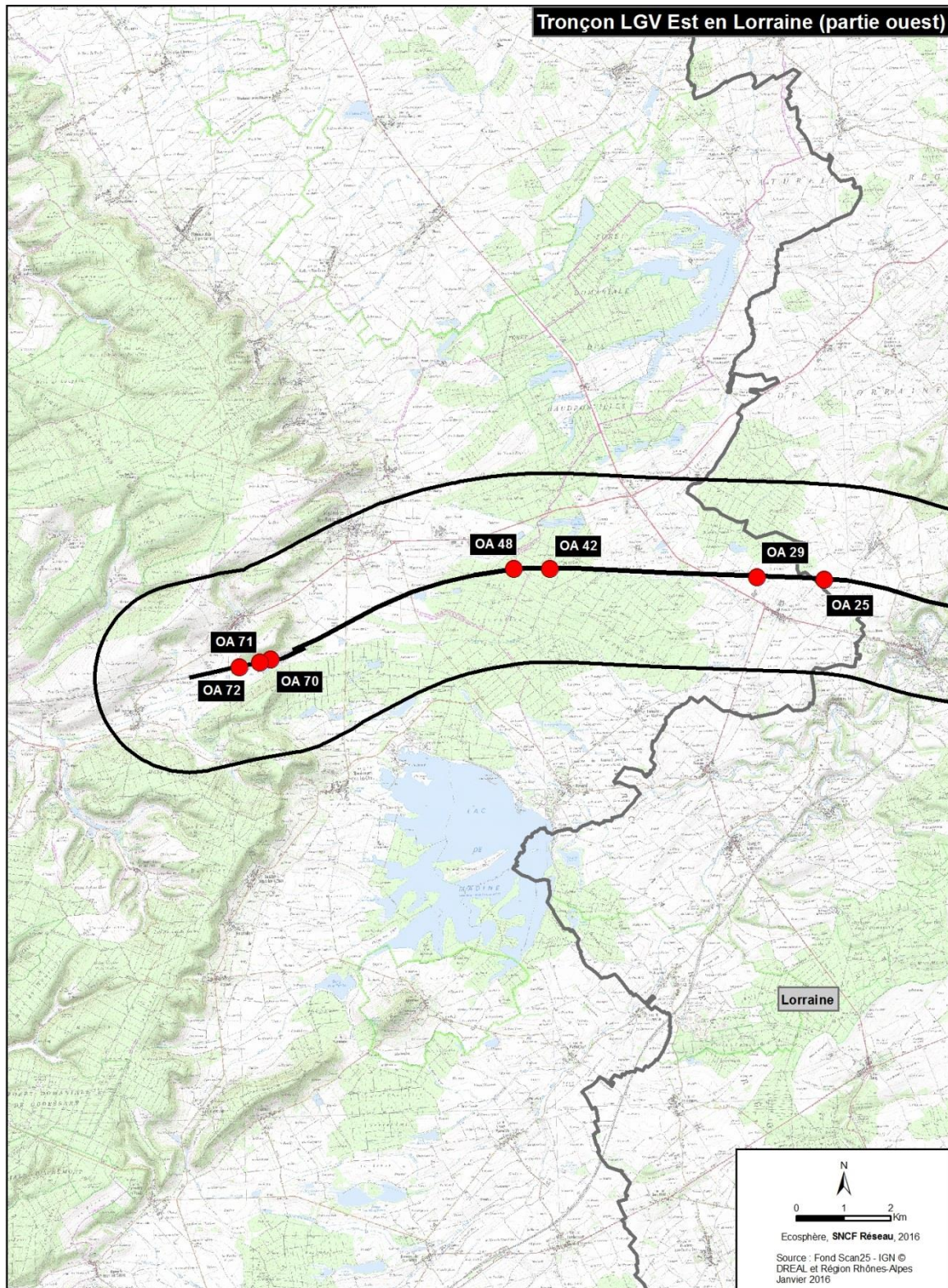


Figure 95: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne nouvelle LGV Est-Européenne en Lorraine (partie ouest)

5.2.4. Ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

Afin d'améliorer la transparence de cette ligne nouvelle, il serait intéressant de réaménager les buses situées dans l'emprise afin que les accès soient accessibles à la faune terrestre. Il serait également nécessaire de remplacer le revêtement d'ouvrages inférieurs et supérieurs avec la mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune et de créer des banquettes dans certains petits ouvrages. Un élargissement d'ouvrage est proposé afin d'augmenter les fréquences de franchissement par la faune (notamment pour les ongulés).

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements
1		pont	PS	20		enrobé	
2		Dalot	PI	2,5	2,5	béton	
3		pont	PS	7		enrobé	
4		Buse dans les emprises	PI	1	1	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
5	Dompierre	pont	PS	7		enrobé	
6		Dalot	PI			béton	
7		Buse dans les emprises	PI	1,8	1,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
8		Buse dans les emprises	PI	1	1	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
9	Arcenay	portique	PI	5,5	4,5	stabilisé	Amélioration du revêtement (par du stabilisé) et élargissement de l'ouverture de l'ouvrage (7 m) pour faciliter le franchissement Grande Faune
10	Lacour d'Arcenay	portique	PI	8,8	4,5	enrobé	
11		portique	PI	3	3,7	terre battue	
12		Dalot	PI	2	2	Béton	
13		Buse dans les emprises	PI	1	1	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
14		pont	PS	6		enrobé	Remplacement du revêtement (par du stabilisé) + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères)
15		Buse	PI	1,5	1,5	Béton	
16		Buse dans les emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements
17	Montley-en-Auxois	portique	PI	4,5	3,5	stabilisé	Élargissement de l'ouverture de l'ouvrage (7 m) pour faciliter le franchissement Grande Faune - Ouvrage situé sur un corridor forestier du SRCE
18		Dalot	PI	3	3	Béton	création d'une banquette
19		Buse	PI	0,8	0,8	Béton	
20		pont	PS	10		enrobé	
21		Buse dans les emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
22	Villargoix	portique	PI			enrobé	
23		pont	PS	10		enrobé	
24		Dalot	PI	1,5	1,5	Béton	
25		pont	PS	10		enrobé	
26		portique	PI	2,5	2,5	terre battue	
27		Dalot dans les emprises	PI	1,5	1,5	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
28		Buse dans les emprises	PI	0,6	0,6	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
29		portique	PI	10	10	lit de la rivière	
30		Buse dans les emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
31		pont	PS	6		enrobé	Remplacement du revêtement (par du stabilisé) + mise en place de panneaux (favorisant guidage ongulés & chiroptères) Ouvrage situé sur un corridor forestier du SRCE
32		Buse dans les emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
33		portique	PI	3	3	terre battue	
34		pont	PS	10		enrobé	
35		Dalot	PI	2,5	2,5	Béton	
36		Dalot dans les emprises	PI	1,5	1,5	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
37		pont	PS	15		enrobé	

N° ouvrage	Commune	Type	PS/PI	Largeur (m)	Hauteur (m)	Revêtement	Aménagements
38		Buse dans les emprises	PI	0,6	0,6	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
39		Buse dans les emprises	PI	0,6	0,6	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
40		Portique	PI	5	3	Béton	
41		Buse dans les emprises	PI	0,6	0,6	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
42		buses	PI		1	terre	
43		pont	PS	8		enrobé	
44		Buse dans les emprises	PI	0,8	0,8	Béton	Déplacement du périmètre grillagé pour permettre l'accès à la buse et/ou au dalot
45		buse	PI		1	terre	
46		pont	PS	8		enrobé	
47		portique	PI	8,5		enrobé	
48		pont	PS	6		stabilisé	
49		portique	PI	10		enrobé	
50		pont	PS	10		enrobé	
51		Dalot	PI	3,5	3,5	béton	
52		portique	PI	3	3,5	terre battue	
53		pont	PS	10		enrobé	
54		portique	PI	9,5	4,5	enrobé	

Tableau 64 : Ouvrages recensés de la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne avec les aménagements envisagés

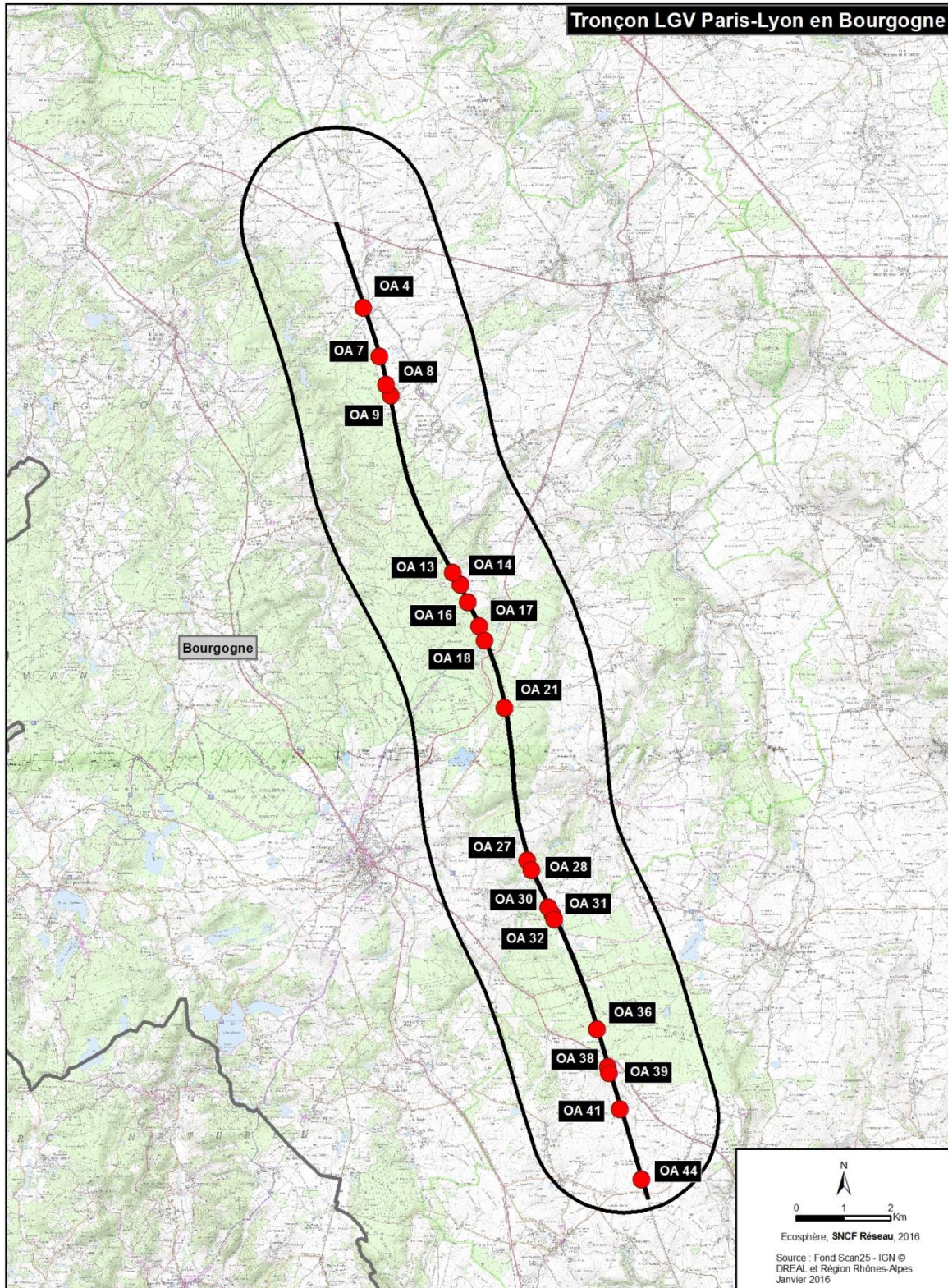


Figure 96: Localisation des ouvrages avec des aménagements envisagés sur la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon en Bourgogne

En synthèse

Les recommandations sont issues de :

- données collectées sur le programme Transfer en matière de franchissement et/ou de fréquentations des abords par la faune terrestre et volante étudiée ;
- l'analyse des caractéristiques des ouvrages (hauteur, largeur, revêtement, ...);
- l'analyse des différents Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique ;
- et enfin l'analyse éco-paysagère des tronçons des lignes ferroviaires étudiées.

Ces propositions élaborées sur la base de ces recommandations vont d'éventuelles créations à l'amélioration d'ouvrages pour chaque ligne étudiée :

- **la ligne classique Franche-Comté** : remplacement du revêtement sur un ouvrage supérieur, mise en place de panneaux sur 3 ouvrages supérieurs pour favoriser le franchissement par la faune, suppression de trottoirs sur un ouvrage inférieur, aménagements de banquettes sur 2 ouvrages, élargissement d'un ouvrage et enfin des nettoyages d'ouvrages afin d'améliorer leurs fonctionnalités ;
- **la ligne classique Rhône-Alpes** : remplacement du revêtement sur un ouvrage supérieur avec mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune, aménagements de banquettes sur 9 ouvrages, élargissement d'un ouvrage et enfin la création d'un ouvrage spécifique sur un corridor à restaurer (Bois de Verne à Saint-Etienne du Bois) ;
- **la ligne nouvelle LGV Est-Européenne** en Lorraine: remplacement du revêtement sur 3 ouvrages supérieurs avec mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune, remplacement de l'enrobé et élargissement d'un ouvrage inférieur, enlèvements de grille sur buse et enfin des déplacements du périmètre grillagé pour permettre l'accès de la faune terrestre aux buses et/ou dalots;
- **la ligne nouvelle LGV Paris-Lyon** en Bourgogne : remplacement du revêtement sur 2 ouvrages supérieurs avec mise en place de panneaux pour favoriser le franchissement par la faune, aménagements de banquettes sur un ouvrage, remplacement de l'enrobé et élargissement de 2 ouvrages inférieurs et enfin des déplacements du périmètre grillagé pour permettre l'accès de la faune terrestre aux buses et/ou dalots;

Les aménagements proposés devront bénéficier d'études précises avant toute mise en œuvre. Ces dernières devront être menées en concertation avec les exploitants de la ligne, afin de prendre en compte l'ensemble des paramètres techniques, fonciers, réglementaires, biologiques (recueil des collisions éventuelles, localisation précise de l'ouvrage, dimensionnement, risques de dégâts aux cultures...) en partenariat avec les structures locales (collectivités, riverains, DREAL, ONEMA, ONCFS, Fédération des chasseurs et des pêcheurs, Associations naturalistes...).

6. CONCLUSIONS



6. Conclusions

SNCF Réseau est un des principaux gestionnaires d'infrastructure de transport en France et en Europe. Il a notamment en charge la gestion des 30 000 km de voies ferrées nationales et assure le développement du réseau dans le cadre notamment du plan de modernisation engagé par l'Etat.

Dans le contexte du Grenelle et de la mise en œuvre de la Trame Verte et Bleue (TVB), les infrastructures de transports terrestres sont identifiées comme une des principales causes de la fragmentation des continuités écologiques. D'une manière générale, nous savons que les espèces possèdent des sensibilités différentes, notamment en fonction :

- de leurs **perceptions de l'ouvrage** : certaines espèces supportent difficilement la plupart des nuisances liées à la circulation des véhicules (pollutions sonores, olfactives ou visuelles, vibrations, écrasement). D'autres au contraire rencontrent localement des conditions idéales pour assurer leur mobilité (ouvrages transversaux ou corridors longitudinaux), voire leurs fonctions vitales (croissance, survie, reproduction au niveau des ouvrages latéraux, etc.), faisant ainsi preuve d'une grande plasticité comportementale ;
- de leurs **degrés de spécialisation** : des espèces généralistes adaptent leur domaine vital et leur patron de dispersion à tout nouvel aménagement, tandis que des espèces spécialistes, dépendant d'éléments paysagers bien spécifiques (boisements anciens, haies, mares, etc.), semblent plus directement confrontées à un possible effet de coupure des infrastructures selon leur localisation ;
- de leurs **comportements de dispersion** : selon le contexte paysager local, les espèces présentent des comportements de déplacements très différents, modulant dès lors l'impact potentiel d'un aménagement sur le fonctionnement des populations.

Pour cet appel à projets « Trans-fer », les méthodologies retenues sur les 4 tronçons ferroviaires ont fait appel à différentes techniques complémentaires :

- le relevé d'indices de présences (avec des pièges photographiques et des enregistreurs d'ultrasons) a permis d'estimer la perméabilité des ouvrages de franchissement pour plusieurs espèces de mammifères terrestres et de chiroptères. Les données quantitatives ont permis de fournir des informations fiables quant à la mobilité régulière des individus de part et d'autre des infrastructures ferroviaires ;
- La génétique du paysage constitue un complément idéal afin d'étudier d'autres taxons plus petits et moins mobiles (amphibiens, coléoptères et lépidoptères) et d'apprécier les effets à long terme sur les populations. La mesure de la distance génétique entre populations situées de part et d'autres des tronçons ferroviaires a permis un diagnostic de perméabilité rigoureux en s'intéressant spécifiquement à la connectivité fonctionnelle par intégration des effets du contexte paysager de l'infrastructure.

Quelles que soient les techniques d'études, les résultats obtenus dans le cadre de ce projet indiquent que les lignes ferroviaires **n'engendrent pas un effet barrière impossible à franchir** pour les espèces étudiées mais jouent un rôle de **filtre avec par exemple localement des difficultés pour les ongulés lorsque les voies sont clôturées**. Ces résultats sont concordants avec les autres études internationales portant sur l'impact des infrastructures linéaires de transport. Ainsi, des publications récentes sur la génétique du paysage montrent également que le réseau ferroviaire n'est pas une barrière à la dispersion de certaines espèces, telles que les salamandres (PICARD *et al.*, 2012).

Les ouvrages d'arts (supérieurs ou inférieurs) non conçus pour la faune s'avèrent fréquentés par des espèces généralistes, telles que le Renard roux, mais aussi par des espèces plus rares et menacées, comme le Chat forestier. Pour les ongulés, les résultats démontrent globalement une très faible fréquentation de ces ouvrages non spécifiques. L'absence de franchissement de certains ongulés, notamment le Sanglier et le Cerf, sur des ouvrages non dédiés à la faune, la fréquentation des abords des lignes nouvelles totalement grillagées par ce mêmes animaux et l'importance des franchissements constatés sur le seul passage spécifique Grande Faune étudié dans le cadre de ce projet confirment bien l'intérêt pour la grande faune terrestre de ce type d'ouvrage spécifique.

Pour les chiroptères, sur l'ensemble des ouvrages étudiés, la fréquentation s'avère régulière (toutes espèces confondues sur les trois périodes étudiées) avec une préférence pour les ouvrages d'une hauteur supérieur à 2 mètres, voire supérieur à 4 m (diversité et abondance plus élevées). La fréquentation constatée s'avère plus élevée en moyenne avec plus de 100 contacts/nuit par rapport aux autres références bibliographiques. Certaines espèces comme le Minoptère de Schreibers sont plus exigeantes en préférant emprunter des ouvrages avec des hauteurs supérieurs à 4 mètres. En revanche, les passages inférieurs de petite dimension (< à 2 mètres de haut) présentent un intérêt limité pour les chiroptères à l'exception des rhinolophes (regroupant des espèces assez sensibles aux risques de collisions et à la fragmentation en raison de leur vol rasant et bas).

Enfin, pour les taxons étudiés par la génétique du paysage, le réseau ferré considéré n'entraîne pas d'isolement des populations pour les 3 espèces suivies (Salamandre tachetée, Myrtil, Féronie noire). Pour le papillon Myrtil, la légère structuration génétique constatée, indiquant une différenciation peu marquée des populations, pourrait être liée à d'autres facteurs que l'infrastructure ferroviaire (dispersion de populations, évolution du paysage, etc.).

Sur les sections courantes, le nombre de traversées/jour de la faune terrestre et des chiroptères semble comparable à ce que l'on observe sur les ouvrages non dédiés les plus favorables. Cependant, ce chiffre varie fortement pour la faune terrestre d'un secteur à un autre allant d'aucune traversée à 1,18 traversée sur une seule coulée de la ligne nouvelle LGV Est-Européenne. Pour les chiroptères, le rôle positif des grands passages inférieurs (> à 2 m de haut) et dans une moindre mesure des passages supérieurs semble confirmée par les résultats de «Trans-fer».

A partir des données collectées sur le terrain, de l'analyse des caractéristiques des ouvrages, des différents SRCE et de l'éco-paysage sur les 4 tronçons lors du programme « Trans-fer », **différentes propositions ont été formulées afin d'améliorer l'efficacité des ouvrages et la transparence globale de ces tronçons ferroviaires étudiés allant des améliorations d'ouvrages ou d'accès (aménagement de banquettes, nettoyage, suppression de trottoirs, mise en place de panneaux sur des ouvrages supérieurs, remplacement du revêtement sur des ouvrages supérieurs et/ou inférieurs, déplacements du périmètre grillagé pour permettre l'accès de la faune terrestre aux buses et/ou dalots etc.) à d'éventuelles créations d'ouvrages (élargissement d'ouvrages, ouvrage spécifique supérieur sur la ligne classique Rhône-Alpes).**

Ces propositions doivent faire l'objet d'études techniques avant toutes mises en œuvre, menées en concertation avec les exploitants, afin de prendre en compte différents paramètres (techniques, fonciers, réglementaires).

Au vu de l'ensemble des résultats acquis dans le cadre de ce programme « Trans-fer » et afin de poursuivre les recherches sur la compréhension de l'effet de coupure généré par les infrastructures linéaires de transport, l'utilisation conjointe des méthodes génétiques et visuelles devrait permettre de répondre à certaines questions concernant par exemple :

- **Les ongulés** : en effet, les résultats collectés démontrent une faible fréquentation des ouvrages d'arts non conçus spécifiquement par ce groupe taxonomique. Sur le principe, le passage d'un petit nombre d'individus par génération pourrait suffire à maintenir une bonne variabilité génétique de part et d'autre des infrastructures. Cependant, des évaluations récentes de populations de cervidés dans le sud-ouest (FOURNIER *et al.*, 2013) ont permis de montrer l'effet de barrière de l'A63 (Autoroute de Bordeaux à Bayonne), infrastructure routière construite à la fin des années 60, par rapport aux populations situées de part et d'autre ;
- **Le Chat forestier** : les individus situés aux abords des ouvrages pourraient par leurs marquages olfactifs créer un effet barrière pour d'autres individus, dissuadés alors de traverser ;
- **par ailleurs, on constate l'absence presque complète de données sur les collisions des mammifères terrestres et des chiroptères avec le matériel ferroviaire. Il serait utile de mener un programme de recherche sur ce thème afin de mieux apprécier l'effet des collisions sur la taille des populations, d'identifier les espèces et les tronçons à risque.**

RÉFÉRENCES ET LEXIQUES



REFERENCES

I.1. Bibliographie

- ALLAG-DHUISME F., BARTHOD C., BIELSA S., BROUARD-MASSON J., GRAFFIN V., VANPEENE S. (COORD), CHAMOUTON S., DESSARPS P.-M., LANSIART M. & ORSINI A. (2010). *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques pour les grandes infrastructures linéaires de l'état et de ses établissements publics – troisième document en appui à la mise en œuvre de la trame verte et bleue en France*. proposition issue du comité opérationnel trame verte et bleue, meeddm, juillet 2010.
- ARNOLD N. & OVENDEN D. (2007). *Le guide herpéto*. édition delachaux et niestle. paris. 288 pages.
- BACH, L., P. BURKHARDT & H.J.G.A. LIMPENS. (2004). Tunnels as a possibility to connect bat habitats. *Mammalia* 68 (4) : 411-420
- BAILLIE J.-E.-M., HILTON-TAYLOR C. & STUART S.-N. (2004). *IUCN red list of threatened species. a global species assessment*. iucn, gland, switzerland and cambridge, uk. 191 pages.
- BARAUD J. (1992). *Coléoptères scarabaeoidea d'Europe*. faune de France. numéro 78. fédération française des sociétés de sciences naturelles, société linéenne de Lyon.
- BARTOSZEK J. & GREENWALD K.R. (2009). A population divided: railroad tracks as barriers to gene flow in an isolated population of marbled salamanders (*Ambystoma opacum*). *Herpetological Conservation and Biology*, 4, 191-197.
- BELLENOUE S., TERNOIS V., BRYSELBOUT C. & JOLY P. (2006). Phénologie et facteurs climatiques de déclenchement de la migration de la salamandre tachetée *salamandra s. terrestris*. *bulletin de la société herpétologique de France*. numéro 118. pages 75-96.
- BERGES L., ROCHE P. & AVON C. (2010). Corridors écologiques et conservation de la biodiversité intérêts et limites pour la mise en place de la trame verte et bleue. *science, eaux et territoires*. numéro 3. pages 28-33.
- BOONMAN, M. (2011). Factors determining the use of culverts underneath highways and railway tracks by bats in lowland areas. *Lutra* 51(1) : 3-16
- BOUGET C. & NAGELEISEN L.-M. (2009). L'étude des insectes en forêt : méthodes et techniques, éléments essentiels pour une standardisation. synthèse de réflexions menées par le groupe de travail « inventaires entomologiques en forêt » (inv.ent.for). *les dossiers forestiers*. numéro 19. 144 pages.
- BROQUET T., BERSET-BRAENDLI L., EMARESI G. & FUMAGALLI L. (2007). Buccal swabs allow efficient and reliable microsatellite genotyping in amphibians. *conservation genetics*. numéro 8. pages 509-511.
- BROUAT C., SENNEDOT F., AUDIOT P., LEBLOIS R. & RASPLUS J.-Y. (2003). Fine-scale genetic structure of two carabid species with contrasted levels of habitat specialization. *molecular ecology*. numéro 12. pages 1731-1745.
- CARSIGNOL J. (2006). *Routes et passages à faune, 40 ans d'évolution. bilan d'expériences*. services d'études techniques des routes et autoroutes (setra). 57 pages.
- CEBALLOS, G. (2002). Mammal population losses and the extinction crisis. *Science* 296, 904–907.
- CHARRIER S., PETIT S. & BUREL F. (1997). Mouvements of *abax parallelepipedus* (coleoptera, carabidae) in woody habitats of a hedgerow network landscape : a radio-tracing study, *agriculture, ecosystems and environment*. numéro 61. pages 133-144.
- CLARK, R.W., BROWN, W.S., STECHERT, R. & ZAMUDIO, K.S. (2010). Roads, interrupted dispersal, and genetic diversity in timber rattlesnakes. *Conservation Biology*, 24, 1059–1069.
- CLEVENGER A.-P., CHRUSZCZ B. & GUNSON K. (2001). Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *wildlife society bulletin*. numéro 29. pages 646-653.

- CLEVENGER A.-P., CHRUSZCZ B. & GUNSON K. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *biological conservation*. numéro 109. pages 5-26.
- COFFIN A.-W. (2007). From roadkill to road ecology : a review of ecological effects of roads. *journal of transport geography*. numéro 15. pages 396-406.
- CUSHMAN S.-A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *biological conservation*. numero 128. pages 231-240.
- DASNIAS P, GAULTIER C ET LE BLOCH F, (1997). Resultats et analyses des inventaires floristiques. programme de recherche sur les dependances vertes des autoroutes françaises : biodiversite vegetale, entretien et aménagement. *ecosphère*, 63 p.
- DECALUWE S. (2014). Bilan environnemental de la RN 59. Suivi comparatif de 4 ouvrages par piégeage photographique : tronçon entre Flin et Azerailles (54). Rapport CEREMA, Metz, 41 pp.
- DEICHSEL R. (2007). Variations habitat fragmentation in the urban landscape (doctoral dissertation).
- DELATTRE T. (2010). *Influence de la structure du paysage et des conditions meteorologiques sur le comportement de dispersion de maniola jurtina (lepidoptera : nymphalidae, l.) dans un agroecosysteme bocager*. these universitaire en biologie. écologie de l'universite de rennes. 167 pages.
- DENOEL M. (1996). Phenologie et domaine vital de la salamandre terrestre *salamandra salamandra terrestris (amphibia, caudata)* dans un bois du pays de herve (belgique). *cahiers d'ethologie*. numero 16. pages 291-306.
- DE SAADELER N., FAUNCONNIER K.-J.-M., BERTHOUD G. & COOPER R.-J. (2003). Etudes relatives au transport et a la diversite biologique et paysagere. comite pour les activites du conseil de l'europe en matiere de diversite biologique et paysagere. *savegarde de la nature*, 132, éditions du conseil de l'europe. 134 pages.
- DU CHATENET G. (2005). *Guide des coleopteres d'europe*. éditions delachaux et niestle. lausanne, suisse. 479 pages.
- DU CHATENET G. (1986). *Guide des coleopteres d'europe*. éditions delachaux et niestle. lausanne, suisse. 479 pages.
- DUQUET R. & MELKI F. (2003). La salamandre tachetee. *in: les amphibiens de france, belgique et luxembourg*. éditions biotope. meze, france. pages 276-281.
- ELEK Z., MAGURA T. & TOTHMERESZ B. (2005). Effect of canopy closure of a young norway spruce plantation on ground beetles. *dias report*. numero 114. pages 89-97.
- EPPS C.W., PALSBOÛLL, P.J., WEHAUSEN, J.D., RODERICK, G.K., RAMEY, R.R. & MCCULLOUGH D.R. (2005). Highways block gene flow and cause a rapid decline in genetic diversity of desert bighorn sheep. *Ecology Letters* 8, 1029-1038.
- ERNEST, H.B., VICKERS, T.W., MORRISON, S.A., BUCHALSKI, M.R. & BOYCE, W.M. (2014). Fractured genetic connectivity threatens a southern California puma (*Puma concolor*) population. *Plos One* 10, e107985.
- EWERS, R.M., & DIDHAM, R.K. (2005). Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews* 81, 117-142.
- FAGAN, W.F., & HOLMES, E.E. (2005). Quantifying the extinction vortex. *Ecology Letters* 9, 51-60..
- FAHRIG, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34, 487-515.
- FICETOLA, G.F., MANENTI, R., DE BERNARDI, F., AND PADOA-SCHIOPPA, E. (2012). Can patterns of spatial autocorrelation reveal population processes? An analysis with the fire salamander. *Ecography* 35, 693-703.
- FOLEY, J.A. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.

- FORMAN R.-T.-T & ALEXANDER L.-E. (1998). Roads and their major ecological effects. *annual review of ecological and systematics*. numéro 29. pages 207-231.
- FRANTZ, A.C., BERTOUILLE, S., ELOY, M.C., LICOPPE, A., CHAUMONT, F. & FLAMAND, M.C. (2012). Comparative landscape genetic analyses show a Belgian motorway to be a gene flow barrier for red deer (*Cervus elaphus*), but not wild boars (*Sus scrofa*). *Molecular Ecology* 21, 3445–3457.
- GEISER, C., RAY, N., LEHMANN, A. & URSENBACHER, S. (2013). Unravelling landscape variables with multiple approaches to overcome scarce species knowledge: a landscape genetic study of the slow worm. *Conservation Genetics* 14, 783–794.
- GELBARD J.-L. & BELNAP J. (2003). Roads as conduits for exotic plant invasions in a semi-arid landscape. *conservation biology*. numéro 17. pages 420-432.
- GERLACH, G. & MUSOLF, K. (2000). Fragmentation of landscape as a cause for genetic subdivision in bank voles. *Conservation Biology*, 14, 1066-1074.
- GILPIN, M.E., & SOULÉ, M.E. (1986). Minimum viable populations: processes of species extinction. In : (SOULE M.E. Ed) *Conservation Biology. The Science of Scarcity and Diversity*, Sunderland, Mass: Sinauer Associates, pp. 19–34.
- GINOT A., MALLARD F., FRANCOIS D., JULLIEN A. 2010. Identification and comparison of road and railway projects effects on natural habitats, IENE 2010. In : Proceedings of the 2010 IENE International Conference on Ecology and Transportation (Folkesson L., Melin A., Lindberg G., eds), September 27-october 1er 2010, Velence, Hungary.
- GLISTA D., DE VAULT T.-L. & DE WOODY J.-A. (2007). Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *herpetological conservation and biology*. numéro 3. pages 77-87.
- GOTELLI N.-J. & COLWELL R.-K. (2001). Quantifying biodiversity : procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *ecology letters*. numero 4. pages 379-391.
- HEPENSTRICK, D., THIEL, D., HOLDEREGGER, R., GUGERLIA, F. (2012). Genetic discontinuities in roe deer (*Capreolus capreolus*) coincide with fenced transportation infrastructure. *Basic and Applied Ecology* 13, 631–638.
- HIGGINS L.-G., HARGREAVES B. & LHONORE J. (1991). *Guide des papillons d'europe et d'afrique du nord*. éditions delachaux et niestlé. glasgow. 270 pages.
- JACKSON S.-D. (2000). Overview of transportation impacts on wildlife movement and populations. in: *wildlife and highways : seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma.*, ed. by t. a. messmer et b. west. nashville: the wildlife society. pages 7-20.
- JEHLE R. & ARNTZEN J.-W. (2002). Review : microsatellite markers in amphibian conservation genetics. *herpetological journal*. numéro 12. pages 1-9.
- KELLER I. & LARGIADER C.-R. (2003). Recent habitat fragmentation caused by major roads leads to reduction of gene flow and loss of genetic variability in ground beetles. *proceedings of the royal society*. numéro 270. pages 417-423.
- KELLER, I., NENTWIG, W., & LARGIADÈR, C.R. (2004). Recent habitat fragmentation due to roads can lead to significant genetic differentiation in an abundant flightless ground beetle. *Molecular Ecology* 13, 2983–2994.
- KERTH, G., & MELBER, M. (2009). Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biological Conservation*, 142(2), 270–279.
- KUHEN, R., HINDENLANG, K.E., HOLZANG, O., SENN, J., STOECKLE, B. & SPERISEN C. (2007). Genetic effect of transportation infrastructure on roe deer populations (*Capreolus capreolus*). *Journal of Heredity* 98, 13-22.
- LAFRANCHIS T. (2000). *les papillons de jour de france, belgique et luxembourg et leurs chenilles*. collection parthenope. éditions biotope. meze, france. 448 pages.

- LAWLER, J.J., TEAR, T.H., PYKE, C., SHAW, M.R., GONZALEZ, P., KAREIVA, P., HANSEN, L., HANNAH, L., KLAUSMEYER, K., ALDOUS, A., et al. (2010). Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, 35–43.
- LIMPENS, H.J.G.A., TWISK, P. & VEENBAAS G. (2005). Bats and road construction. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Institute. Society for the Study and Conservation of Mammals. Delft. 24 pp.
- LUGON, A., Y. BILAT & S.Y. ROUE. (2004). Etude d'incidence de la LGV Rhin-Rhône sur le site Natura 2000 Mine d'Ougney. Sur mandat de Réseau Ferré de France, Mission TGV Rhin- Rhône, Besançon. Ecoconseil, La Chaux-de-Fonds, rapport non publié. 53 p.
- LUGON, A. & S.Y. ROUE. 2011. Suivi de l'utilisation des passages à chiroptères de la ligne LGV Rhin-Rhône. L'Azuré & CPEPESC Franche-Comté pour le compte de RFF. 14 pp.
- MANEL, S., & HOLDEREGGER, R. (2013). Ten years of landscape genetics. *Trends in Ecology & Evolution* 28, 614–621.
- MANEL, S., SCHWARTZ, M.K., LUIKART, G., AND TABERLET, P. (2003). Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 189–197.
- MARCUS, T., ASSMANN, T., DURKA, W., AND DREES, C. (2013). A suite of multiplexed microsatellite loci for the ground beetle *Abax parallelepipedus* (Piller and Mitterpacher, 1783) (Coleoptera, Carabidae). *Conservation Genetics Resources* 5, 1151–1156.
- MANENTI R., FICETOLA G.-F. & DE BERNARDI F. (2009). Water, stream morphology and landscape: complex habitat determinants for the fire salamander *salamandra salamandra*. *amphibia-reptilia*. numero 30. pages 7-15.
- MANIL L., LERCH A. & JULLIARD R. (2008). Phenologie et repartition par type d'habitats de rhopaloceres d'île de france, exploitation des donnees du sterf (2005-2008). lépidoptères. pages 95-109.
- MARVIN G.A. (2011). Effect of body size on tail regeneration and recovery of swimming performance after caudal autotomy in a plethodontid salamander. *amphibia-reptilia*. numero 32. pages 485-492.
- MIAUD C. & MURATET J. (2004). *Identifier les œufs et les larves des amphibiens de france*. éditions inra. 200 pages.
- MEUNIER F-D, VERHEYDEN C & JOUVENTIN P. (2000). Use of roadsides by diurnal raptors in agricultural landscapes. *biol. conserv.* 92 : 291-298
- MEUNIER F-D, CORBIN J, VERHEYDEN C & JOUVENTIN P. (1999). Effects of landscape type and extensive management on use of motorway roadsides by small mammals. *can. j. zool.* 77 : 108-117
- MEUNIER F-D, VERHEYDEN C & JOUVENTIN P. (1999). Bird communities of highway verges : influence of adjacent habitat and roadside management. *acta oecol.* 20 : 1-13
- MEUNIER F-D, GAURIAT C, VERHEYDEN C & JOUVENTIN P. (1998). Vegetation des dependances vertes autoroutieres : influences d'un mode de gestion extensif et du milieu traverse. *rev. ecol. (terre & vie)* 53 : 97-121
- MEURGEY F. & SADORGE A. (date inconnue). *Cartographie des coleopteres scarabaeoidea de loire-atlantique. inventaire et revision des collections du museum d'histoire naturelle de nantes. deuxieme partie : famille des geotrupidae.*
- MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE. 2010. *Suivi temporel des rhopaloceres de france (sterf). protocole national 2010.* 4 pages.
- NOORDIK J., PRINS D., DE JONGE M. & VERMEULEN R. (2006). Impact of road on the mouvements of two ground beetle species (*coleoptera : carabidae*). *entomologica fennica*. numéro 17. pages 276-283.
- PENONE, C., MACHON M., JULLIARD R. & I. LE VIOL. 2012. Do railway edges provide functional connectivity for plant communities in an urban context ? *Biological Conservation*, 48 : 126-133.

- PEREIRA, H.M., LEADLEY, P.W., PROENCA, V., ALKEMADE, R., SCHARLEMANN, J.P.W., FERNANDEZ-MANJARRES, J.F., ARAUJO, M.B., BALVANERA, P., BIGGS, R., CHEUNG, W.W.L., et al. (2010). Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science* 330, 1496–1501.
- PETIT S. & BUREL F. (1998). Effects of landscape dynamics on the metapopulation of a ground beetle (coleoptera, carabidae) in a hedgerow network. *agriculture, ecosystems & environment*. volume 69. numero 3. pages 243-252.
- PICARD D., GAUFFRE B., PRUNIER J., LAGARDE C., POQUET V., RENAULT N., HARRACHE I., PIDANCIER N., MIQUEL C. & MIAUD C. (2003). Buccal swabs as a non-destructive tissue sampling method for dna analysis in amphibians. *herpetological journal*. numero 13. pages 175-178.
- PICARD, D., GAUFFRE, B., PRUNIER, J., LAGARDE, C., POQUET, V., RENAULT, N., HARRACHE, I., RAKOTOZAFY, M., DELAUNAY, G. & SOURICE, S. (2012). Efficacité des écoducs sur la connectivité de populations d'amphibiens. Rapport du projet de recherche interne de l'université d'Angers, non publié.
- PIDANCIER N., MIQUEL C. & MIAUD C. (2003). Buccal swabs as non-destructive tissue sampling method for dna analysis in amphibians. *herpetological journal*. numero 13. pages 175-178.
- PIMM, S.L., & RAVEN, P. (2000). Biodiversity. Extinction by numbers. *Nature* 403, 843–845.
- PIMM, S.L., RUSSELL, G.J., GITTLEMAN, J.L., AND BROOKS, T.M. (1995). The future of biodiversity. *Science* 269, 347–350.
- PLAKHOTNIK, V.N., ONYSCHENKO J.V., YARYSCHKINA, L.A. (2005). The environmental impacts of railway transportation in the Ukraine. *Transportation Research Part D. Transport and Environment* 10(3) : 263-268.
- PRUNIER, J.G., KAUFMANN, B., LÉNA, J.P., FENET, S., POMPANON, F. & JOLY, P. (2014). A 40-year-old divided highway does not prevent gene flow in the alpine newt *Ichthyosaura alpestris*. *Conservation Genetics* 15, 453-468.
- RFF, 2011. Bilan environnemental de la LGV Est-Européenne. 1ère phase – mai 2011. 29 pp.
- RIBERON, A. & MIAUD, C. 2013. *Salamandra salamandra* (linnaeus, 1758). *in: atlas des amphibiens et reptiles de france, biotope & mnhn edn.* (ed. by j. lescure & j.-c. massary). pages 82-83.
- RICO, A., KINDMAN, P., SEDLACEK, F. (2009). Can the barrier effect of highways cause genetic subdivision in small mammals? *Acta Theriologica* 54, 297–310.
- RILEY, S.P.D., POLLINGER, J.P., SAUVAJOT, R.M., YORK, E.C., BROMLEY, C., FULLER, T.K. & WAYNE, R.K. (2006). A southern California freeway is a physical and social barrier to gene flow in carnivores. *Molecular Ecology*, 15, 1733–1741.
- RILEY, S.P.D., SERIEYS, L.E.K., POLLINGER, J.P., SIKICH, J.A., DALBECK, L., WAYNE, R.K. & ERNEST, H.B. (2014). Individual behaviors dominate the dynamics of an urban mountain lion population isolated by roads. *Current Biology*, 24, 1989-1994.
- ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, ÅAASA, CHAPIN, F.S., LAMBIN, E.F., LENTON, T.M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H.J., et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475.
- ROTHERMEL B.-B. (2004). Migratory success of juveniles: a potential constraint on connectivity for pond-breeding amphibians. *ecological applications*. numero 14. pages 1535-1546.
- ROUE, S.Y. (2011). Expertise sur les chiroptères des passages de l'A36 traversant la forêt de Chailluz (Besançon, Braillans & Marchaux - 25). CPEPESC Franche-Comté, rapport d'expertise pour CETE de l'Est : 21 pp.
- QUANTUM GIS (version 1.8.0 'lisboa'). 2012. Systeme d'information géographique, projet de l'open source geospatial foundation.
- SAVOURE-SOUBELET A., SORDELLO R., ROGEON G. & HAFFNER P. (2012). *Réflexion préliminaire concernant les impacts du réseau ferroviaire sur le lynx boreal (lynx lynx)*. museum national d'histoire naturelle - service du patrimoine naturel. 16 pages.

- SCHERER R.-D., MUTHS E., NOON B.-R. ET OYLER-MCCANCE S.-J. (2012). The genetic structure of a relict population of wood frogs. *conservation genetics*. numero 13. pages 1521-1530.
- SORDELLO R., AMSALLEM J. & DUBUS V. (2012). *Trame verte et bleue - suivi et evaluation - faisabilite d'utiliser l'outil genetique*. museum national d'histoire naturelle (mnhn) - service du patrimoine naturel (spn) & institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (irstea) - umr tetis. 34 pages.
- SORDELLO R., ROGEON G., TOUROULT J., (2011). *Contribution à la reflexion sur le suivi et l'evaluation de la trame verte et bleue - enjeux nationaux de biodiversite : propositions sur les especes et les habitats*. rapport mnhn-spn. 24 pages.
- SORDELLO, R., & CONRUYT-ROGEON, G. (2012). Programme Trans-fer - Outil génétique - Phase de terrain.
- STEINFARTZ, S., KÜSTERS, D. & TAUTZ, D. (2004). Isolation and characterization of polymorphic tetranucleotide microsatellite loci in the fire salamander *salamandra salamandra* (amphibia: caudata). *molecular ecology notes*. numéro 4. pages 626-628.
- STUART S.-N., CHANSON J.-S., COX N.-A., YOUNG B.-E., RODRIGUES A.-S.-L., FISCHMAN D.-L. & WALLER R.-W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *science*. numero 306. pages 1783-1786.
- SWIFT, T.L., & HANNON, S.J. (2010). Critical thresholds associated with habitat loss: a review of the concepts, evidence, and applications. *Biological Reviews* 85, 35–53.
- THIESMEIER B. & SCHUHMACHER H. (1990). Causes of larval drift of the fire salamanders, *salamandra salamandra terrestris*, and its effects on population dynamics. *oecologia*. numero 82. pages 259-263.
- UICN FRANCE, MNHN ET SHF (2009). *La liste rouge des especes menacees en france - chapitre : reptiles et amphibiens de france metropolitaine*. paris, france.
- VANDEVELDE J.-C., BOUHOURS A., JULIEN J.-F., COUVET D. & KERBIRIOU C. (2014). Activity of European common bats along railway verges. *Ecological Engineering* 64 : 49-56.
- VANDEVELDE J.-C., PENONE C. & JULLIARD R. (2012). High-speed railways are not barriers to pyronia tithonus butterfly movements. *journal of insect conservation*. numéro 16. volume 5. pages 801-803.
- VANDEWOESTIJNE S., POLUS E. & BAGUETTE M. (2005). Fragmentation and insects: theory and application to calcareous grasslands. *biotechnology, agronomy, society and environment*. numéro 9. pages 139-142.
- VERGON J.-P., CRANEY E., PINSTON H. & HÉROLD J.-P. (2005). *Les poissons amphibiens et reptiles de la montagne jurassienne*. éditions néo. besancon, france. 183 pages.
- VINCENZ, B. (2005). Road effects on a fire salamander opulation (*Salamandra salamandra terrestris*). (Zoological Institute of the University of Zürich, Switzerland: MSc Thesis, Department of Ecology),
- VITOUSEK, P.M. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277, 494–499.
- WAAGE B.-E. (1985). Trapping efficiency of carabid beetles in glass and plastic pitfall traps containing different solutions. *fauna norvegica serie b*. numéro 32. pages 33-36.
- YAMADA Y., SASAKI H. & HARAUCHI Y. (2010). Effects of narrow raods on the mouvement of carabid beetles (*coleoptera, carabidae*) in nopporo forest park, hokkaido. *journal of insect conservation*. numero 14. pages 151-157.

I.2. Sites internet

LOUBERE M. (2010). Atlas écologique des Coléoptères forestiers, SIE. Disponible sur : <http://www.sibnef1.eu/coleopteres/Carabidae/img10/eco10.HTM>.

MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE. 2011. Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Presentation-generale-de-la.html>

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE. Inventaire national du Patrimoine naturel. Données 2003-2013. <http://inpn.mnhn.fr>

SNCF RESEAU. Repères 2011 > Chiffres clés. Disponible sur : <http://www.rff.fr/fr/le-reseau/>

II. LISTE DES INITIALES, SIGLES ET ABBREVIATIONS

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AT : Arnaud Tanguy

BL : Benoît Legros

BO : Bourgogne

CETE : Centres d'Études Techniques de l'Équipement

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

FC : Franche-Comté

GPS : Global Positioning System

ILT : Infrastructure Linéaire de Transport

LD : Laura Drouard

LC : Ligne Classique

LC : Least Concerned (Liste UICN)

LGV : Ligne Grande Vitesse

LO : Lorraine

MV : Marianne Vargac

MEDDE : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle

RA : Rhône-Alpes

RFF : Réseau Ferré de France devenu le 1^{er} janvier 2015, SNCF Réseau

RP : Renaud Puissauve

RS : Romain Sordello

SIG : Système d'Information Géographique

SPN : Service du patrimoine naturel

SRCE : Schéma Régional de Cohérence Écologique

TVB : Trame Verte et Bleue

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

En 2011, SNCF Réseau a remporté l'appel à projet « Restauration des continuités écologiques » lancé par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie.

Porteur du projet Transfer, SNCF Réseau a souhaité étudier la perméabilité de quatre tronçons ferroviaires sur plusieurs espèces, en s'associant au bureau d'étude Ecosphère, au Service du patrimoine naturel du Muséum national d'Histoire naturelle, au CNRS de Moulis et au CEREMA.

