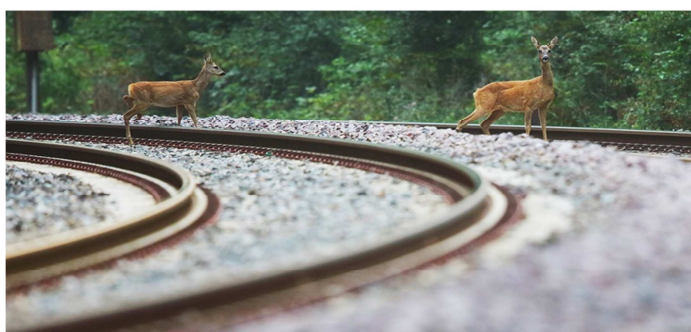




Avec le soutien de :



Projet exploratoire **ESCAPE XXL**



Etat des connaissances et retour d'expérience sur les dispositifs de sortie des clôtures pour les ongulés sauvages.

RAPPORT FINAL

Auteurs :



24 juin 2022



Auteurs : Caryl BUTON, François NOWICKI, Christine SAINT-ANDRIEUX

Avec l'assistance de : Clément SORTAIS (VETAGROSUP, stage 2020)

Photos couverture:



1 : F. Nowicki

2 : C. Buton

Date d'engagement de la subvention : 14/04/2021

Montant de la subvention accordée : 8 333 € HT (10 000 € TTC)

Pour citer ce document : BUTON C., NOWICKI F., SAINT-ANDRIEUX C., SORTAIS C., 2022, *Projet exploratoire ESCAPE XXL, Etat des connaissances et retour d'expérience sur les dispositifs de sortie des clôtures pour les ongulés sauvages, rapport final*

Mots-clés : collisions animales, clôtures, infrastructures de transport, protocoles de suivi, échappatoires

Contacts :

- C. BUTON (Cabinet X-AEQUO) : x-aequo@orange.fr
- F. NOWICKI (CEREMA) : francois.nowicki@cerema.fr
- C. SAINT-ANDRIEUX (OFB) : christine.saint-andrieux@ofb.gouv.fr

Nota :

- Les traductions ont été grandement facilitées par l'utilisation de l'outil DeepL.
- Les conversions des unités anglo-saxonnes dans le Système International ont été arrondies : nous renvoyons aux sources des données initiales pour des études détaillées.

Sommaire

Resume.....	5
Summary	6
1 Présentation du projet exploratoire.....	7
2 Méthode	8
2.1 Espèces animales ciblées par ESCAPE XXL	8
2.2 Précautions à prendre dans l'exploitation des données : éléments de discussion sur les possibilités ou limites des extrapolations entre espèces animales	8
2.3 Méthode de recueil des données	9
3 Résultats généraux – Inventaire et typologie des équipements	10
4 Présentation des différents types d'échappatoires	12
4.1 Les rampes	12
4.2 Les dispositifs mécaniques passifs	24
4.3 Les dispositifs mécaniques actifs	31
5 Les aménagements connexes communs aux différents dispositifs	33
5.1 Butoir	33
5.2 Haie de guidage	34
5.3 Accentuation de l'effet brèche	35
5.4 Attractifs	35
5.5 Seuil ou plateforme minéralisée	35
5.6 Equipements anti-intrusion de petite et moyenne faune.....	36
6 Recommandations générales rencontrées	37
6.1 Sur l'efficacité des dispositifs – « qu'est-ce qui marche ? »	37
6.2 Sur le contrôle et l'entretien.....	38
6.3 Sur le positionnement des échappatoires	39
7 Pistes d'études pour le futur.....	45
7.1 Quelles questions techniques semblent aujourd'hui peu ou non documentées ?	45
7.2 Quelques points de vigilance pour de futurs protocoles	52
8 Critique de la méthode suivie	56
Annexes.....	57
Annexe 1. Les auteurs	58
Annexe 2. Espèces d'ongulés citées dans ESCAPE XXL	59
Annexe 3. Ebauche d'inventaire des dispositifs échappatoires	60
Annexe 4. Echappatoires pour des taxons de faune hors ESCAPE XXL.....	65
Annexe 5. Rampes – exemples de recommandations de hauteur	67
Annexe 6. Exemples de conception pour le soutènement des rampes	68
Annexe 7. Etudes d'efficacité des rampes et portillons en France.....	69
Annexe 8. Etudes d'efficacité des rampes en Amérique du Nord	70
Annexe 9. Etudes d'efficacité des portillons en peignes courbes en Amérique du Nord	72
Annexe 10. Résumé et analyse des tests CERA Environnement sur trappes à barreaux indépendants :	73
Annexe 11. Suivis de trappes Sangli-pass.....	74

Annexe 12.	Exemples d'interdistances recommandées entre échappatoires.....	75
Annexe 13.	Exemples d'études d'équipements faunistiques soulignant l'existence d'une phase d'habituation	76
Annexe 14.	Références bibliographiques	77
Annexe 15.	Liste des principaux organismes contributeurs de données	81

RESUME

En France, les ongulés sauvages, et en particulier le Chevreuil et le Sanglier, sont capables d'utiliser des dispositifs de sortie (échappatoires) pour quitter des périmètres protégés par des clôtures. Ainsi certaines rampes, trappes, portillons ou sas d'extraction sont utilisés de façon ponctuelle ou plus fréquente. Le projet exploratoire ESCAPE XXL a permis de détailler et d'illustrer la typologie des échappatoires et la grande variété des réalisations. Il a aussi permis une compilation de réalisations en Europe et Amérique du nord.

L'utilisation des dispositifs mis en œuvre en France ou en Europe est avérée dans certains cas mais, à ce stade, la contextualisation et la comparaison de leur efficacité sont limitées sinon impossibles compte tenu du peu d'études protocolées disponibles et de la diversité même des modes de réalisations au sein de chaque type : dimensionnement, qualité générale, duplication d'équipements standardisés ou au contraire particuliers à un site, etc. Des données resteraient à consolider pour la France : expérience sur les sas d'extraction sur le réseau ferroviaire, résultats de suivis d'échappatoires en cours sur autoroutes, etc.

Il ressort de ce projet exploratoire que l'investissement scientifique portant sur les échappatoires a été plus important en Amérique du nord qu'en Europe. Leur efficacité et les modalités d'utilisation par des espèces de cervidés ont été étudiées pour des dispositifs de type rampe et portillon à peignes courbes mais la plupart des équipements en place n'ont pas fait l'objet d'études ou de suivis. Les approches ont visé les taux de sortie ou d'entrée à contresens d'animaux, ainsi que parfois les comportements individuels face aux équipements ou encore l'évolution de leur fréquentation dans le temps. Un accent particulier a été mis sur les analyses coûts / bénéfices dans le cadre de stratégie générale de mitigation des collisions animales. Certes, le contexte nord-américain est différent de la France en termes d'espèces concernées, de modalités d'implantation des clôtures, d'ampleur des espaces naturels et de contexte migratoire des cervidés, avec parfois des centaines d'animaux empruntant les échappatoires lors des suivis et la possibilité de tester statistiquement les hypothèses. Les questions investiguées et les protocoles suivis fournissent cependant des cadres de référence pour de futurs travaux de recherche en France et en Europe.

En dépit de leur hétérogénéité, les données récoltées dans ce projet exploratoire permettent de dresser un état des pratiques, connaissances et interrogations actuelles. Pour l'Amérique du nord, les travaux de recherche ont déjà donné lieu à plusieurs revues de littérature dans le cadre de travaux universitaires ou d'états de l'art : elles pourraient permettre des traitements systématiques. A ce stade, cela ne semble pas possible pour l'Europe compte tenu du peu de travaux formalisés et/ou protocolés : ce constat est en soi un acquis de ce projet exploratoire. C'est pourquoi il est suggéré d'investiguer systématiquement dans le cadre du Sanglier, du Chevreuil et du Cerf élaphe une liste de questions afin de mieux préciser le contexte d'utilisation de chaque équipement et d'optimiser les réalisations. Elles portent sur les axes suivants :

- ❖ Axe 1 : caractériser le niveau d'utilisation et le taux d'efficacité en fonction des différentes modalités de conception au sein de chaque type d'échappatoire et du contexte environnemental
- ❖ Axe 2 : caractériser l'influence du positionnement sur l'utilisation du dispositif
- ❖ Axe 3 : optimiser les systèmes existants
- ❖ Axe 4 : étudier la sécurité juridique des réalisations à la création et dans le temps

Certaines questions portent directement sur des voies d'optimisation des réalisations ou d'innovation, d'autres sur le cadre général de recours à d'éventuelles échappatoires sur une infrastructure donnée. Des points de vigilance sont identifiés pour de futurs protocoles.

Enfin, pour capitaliser les retours d'expérience, nous suggérons que soit finalisée, dans un cadre international, une base de données des échappatoires grande faune avec la géolocalisation de l'échappatoire ou du tronçon d'infrastructure concerné et les références des publications afférentes à chacune. A cette fin, ESCAPE XXL donne une première ébauche qui compile l'ensemble des mentions bibliographiques, résultats d'enquête et données opportunistes collectées.

SUMMARY

In France, wild ungulates, particularly roe deer and wild boar, are able to use escape devices to leave fenced areas. Thus, certain ramps, trapdoors, gates or trigger-wired “open-cage” devices are used on an occasional or more frequent basis. The exploratory project ESCAPE XXL details and illustrates the typology of the escapes and the wide variety of structures. It has also resulted in a compilation of such constructions in Europe and North America.

The use of devices employed in France or in Europe is proven in certain cases but, at this stage, the contextualization and comparison of their effectiveness are limited, if not impossible, given the few protocolised studies available and the very diversity of implementation methods within each type (i.e. dimension, general quality, duplication of standardised equipment or, on the contrary, specific to a site...). Some data remain to be consolidated for France: experience on extraction devices on the railway network, results of monitoring of escape routes on highways, etc.

This exploratory project shows that the scientific investment in escape devices has been greater in North America than in Europe. Their effectiveness and use by cervid species have been studied in North America for ramps and one-way gates, but most of the existing structures have not been studied or monitored. Approaches have focused on the rates of animals exiting or entering, and sometimes on individual behaviour in front of the facilities or on changes in their use over time. Particular emphasis was placed on cost/benefit analyses as part of a general strategy to mitigate animal collisions. Certainly, the North American context is different from France in terms of the species concerned, the way fences are set up, the size of natural areas and the migratory aspect of cervids, with sometimes hundreds of animals using the escape devices during monitoring and the possibility of statistically testing the hypotheses. However, the questions investigated and the protocols followed provide reference frameworks for future research in France and in Europe.

Despite their heterogeneity, the data collected in this exploratory project enable us to draw up a state of current practices, knowledge and questions. For North America, the research work has already led to several literature reviews in the context of academic work or state of the art: they could allow for systematic treatments. At this stage, this does not seem possible for Europe, given the lack of formalised and/or protocolised work: this observation is in itself a result of this exploratory project. Thus, we suggest a list of questions to be methodically investigated for European wild boar, roe deer and red deer in order to better specify the context of use of each type of equipment and to optimize implementation. They concern the following axes:

- ❖ Axis 1: define the level of use and efficiency rate regarding the different design modalities within each type of escape device and the environmental context,
- ❖ Axis 2: define the influence of positioning on the use of the device,
- ❖ Axis 3: optimize existing systems,
- ❖ Axis 4: study the legal security of the structures on their installation and over time,

Some questions relate directly to ways of optimising achievements or innovations, others to the general framework of escape devices used on a given infrastructure. Points of vigilance are identified for future protocols.

Finally, to capitalise the results of experience, we suggest that a large fauna escapes database is finalised, within an international framework. Such a database would ideally register geolocalisations or the section of infrastructure concerned and references of the publications relating to each escape device. To this end, ESCAPE XXL provides a first draft compiling all the bibliographic references, survey results and opportunistic data collected.

1 PRESENTATION DU PROJET EXPLORATOIRE

1.1.1 Positionnement par rapport à l'état de l'art

Selon « The Roads and Wildlife Manual » de la Conférence Européenne des Directeurs de Routes (CEDR), dans une optique de sécurité routière et face au risque de collisions animales, la pose de clôtures adaptées est la mesure la plus efficace pour prévenir les collisions avec la grande faune, surtout si elle est associée à des passages à faune¹. Ces approches sont extrapolables au réseau ferroviaire. En France, ces considérations sont à l'origine de la mise en œuvre sur une grande partie des infrastructures de niveau autoroutier et sur la totalité du réseau des lignes à grande vitesse de clôtures d'exclusion associées à des passages à faune.

Malgré ces protections, il arrive que des animaux pénètrent dans les emprises clôturées à la faveur d'interruptions des grillages² (fin des linéaires équipés, intersection de routes, échangeurs, etc.), de zones endommagées (accidents, érosion des sols, chutes d'arbres, pression animale, dégâts d'engins d'entretien ou agricoles, vandalisme, etc.³), de configurations particulières, voire de choix techniques non optimaux. Une fois entrés dans les emprises, leur retour est alors parfois compliqué et certains finissent par être percutés par un véhicule. Ils constituent de fait un risque en termes de sécurité du trafic et un enjeu en termes de protection de la faune. Lorsque leur entrée n'a pu être empêchée, il est toutefois possible de leur offrir des issues de secours à sens unique : les échappatoires.

Ces aménagements sont recommandés depuis 2002 dans le Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions⁴. Pour la France, cette idée est reprise dans le nouveau guide du CEREMA « Passage à faune - Préserver et restaurer les continuités écologiques des infrastructures linéaires de transport »⁵. Enfin, la mise en œuvre de clôtures faunistiques incluant des échappatoires est désormais nommément identifiée par la typologie de référence comme une mesure de réduction technique des impacts sur l'environnement en phase exploitation / fonctionnement au titre de la séquence Eviter / Réduire / Compenser⁶. Ces approches font converger deux finalités, d'une part sécuritaire quant à la prévention des incidences sur le trafic et d'autre part écologique avec la diminution des incidences sur la faune.

De tels systèmes sont développés dans différents pays depuis les années 1970. Le récent guide du CEREMA⁷ sur les Clôtures routières et ferroviaires et faune sauvage insiste sur la nécessité de préciser les recommandations afférentes aux clôtures et échappatoires, souvent trop générales dans les études d'impact.

Après 50 ans de développement en France et à l'étranger, le présent travail propose un état des connaissances et un retour d'expériences sur le sujet des échappatoires au niveau national (France) et international (Europe et Amérique du nord).

1.1.2 Objectifs initiaux du projet

Le projet exploratoire ESCAPE XXL concerne les Infrastructures Linéaires de Transports Terrestres routières, autoroutières et ferroviaires (ILTTe). Il vise à :

- proposer une revue des dispositifs destinés aux grands ongulés en France, en Europe et Amérique du nord,
- faire l'état des connaissances techniques sur leur efficacité, avantages ou contraintes,
- aboutir à des recommandations opérationnelles ou méthodologiques,
- identifier des axes de recherches ultérieures et leurs protocoles.

¹ (OBrien et al., 2018)

² Par exemple (van der Ree et al., 2015).

³ (CEREMA, 2021)

⁴ (Iuell et al., 2007)

⁵ (CEREMA, 2021)

⁶ (Alligand et al., 2018)

⁷ (Carsignol et Tekielak, 2019)

2 METHODE

2.1 Espèces animales ciblées par ESCAPE XXL

ESCAPE XXL s'est concentré sur les échappatoires destinées à la grande faune causant le plus grand nombre d'accidents avec les véhicules en France, à savoir le Chevreuil, le Sanglier et le Cerf élaphe (53 500 collisions enregistrées au Fonds de garantie des assurances obligatoires en 2009⁸ (*Tableau n° 1*). Des exemples de réalisations sur d'autres espèces d'ongulés à l'étranger sont cités au fil du rapport afin d'étayer la réflexion méthodologique.

En cas d'intrusion dans des emprises d'une espèce non citée ici, il conviendra de préciser son comportement (aptitudes au saut, au fouissage, au passage en force, etc.) pour voir les analogies éventuelles avec les espèces visées par ESCAPE XXL. Pour mémoire, des exemples de dispositifs rencontrés lors de nos investigations et destinés à des taxons autres que les ongulés sont cités en annexe (*Annexe 4*).

critères	Sanglier (<i>Sus Scrofa</i>)	Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	Cerf élaphe (<i>Cervus elaphus</i>)
□ hauteur au garrot	55 à 110 cm	60 à 74 cm	90 à 130 cm
□ poids moyen	70 et 110 kg selon le sexe. Certains individus peuvent atteindre 300 kg	20 à 34 kg	90 à 230 kg selon le sexe
□ habitat	Se rencontre dans tous les types d'habitats, de la garrigue méditerranéenne aux pelouses alpines, dans les plaines agricoles, les milieux boisés et les zones péri-urbaines.	Occupe tous les milieux boisés (landes et fourrés, bois, forêts) ou non (grandes cultures avec des taux de boisement très faibles) et les secteurs péri-urbains. Présent dans tous les départements français, excepté la Corse.	Présent jusque 2500 m en montagne. Occupe 84 départements français, 33 % du territoire métropolitain et 51 % de la superficie forestière.
□ mœurs	Principalement crépusculaire et nocturne mais il lui arrive d'être actif la journée. Les domaines vitaux sont d'environ 1 000 ha pour les femelles et 2 000 ha pour les mâles, mais très variables en fonction des milieux et de la pression de chasse.	Animal plutôt solitaire avec des phases grégaires en automne et hiver. Son domaine vital est très variable selon les milieux, de 15 à 100 ha.	Espèce sociale, avec un domaine vital minimal d'une centaine d'hectares pour les femelles à quelques milliers d'hectares pour les mâles.
□ Capacité de franchissement d'obstacle	Animal fouisseur, sa capacité de saut se situe aux alentours de 1,40 m.	En général, ne franchit pas une clôture de plus de 1.20 m de hauteur. A tendance à chercher des passages au pied des clôtures ou de défauts dans celles-ci plutôt que de passer par-dessus ⁹ .	Peut potentiellement franchir des obstacles de plus de 2 m de hauteur, même s'il va plutôt chercher des brèches.

Tableau n° 1. Traits de vie succincts des 3 espèces ciblées par ESCAPE XXL

2.2 Précautions à prendre dans l'exploitation des données : éléments de discussion sur les possibilités ou limites des extrapolations entre espèces animales

En France et en Europe, au terme du projet ESCAPE XXL, les données recensées à ce stade portent principalement sur le Sanglier et le Chevreuil d'Europe. En Amérique du nord, les résultats d'étude ou données informatives portent sur des espèces absentes du territoire métropolitain français et européen (*Annexe 2*). Est-il possible de transposer des résultats d'une espèce à l'autre, d'un continent à l'autre ? Si des parallèles semblent possibles entre animaux de taille proche¹⁰, il faut aussi tenir compte de leur comportement général (diurne ou nocturne, pics saisonniers, grégarité, etc.) avant d'extrapoler les méthodes de mitigation. En Amérique du nord, des études de projets routiers¹¹ proposent certains parallèles entre espèces de la grande faune partageant des répartitions et des comportements proches, tout en indiquant qu'il existe aussi certainement des caractéristiques propres à chaque espèce et qui peuvent influencer le succès d'une méthode donnée¹². Ainsi, si l'analyse de la littérature nord-américaine permet de comprendre les axes techniques étudiés et de s'inspirer des méthodes

⁸ (Saint-Andrieux et al., 2020)

⁹ (Meunier, 2000)

¹⁰ (Margueratt, 2004)

¹¹ Pour le Canada : (Margueratt, 2004).

¹² (Siemers et al., 2015)

d'expérimentation ou de suivi, la prudence est donc de mise dans une transposition aux 3 espèces européennes visées par ESCAPE XXL.

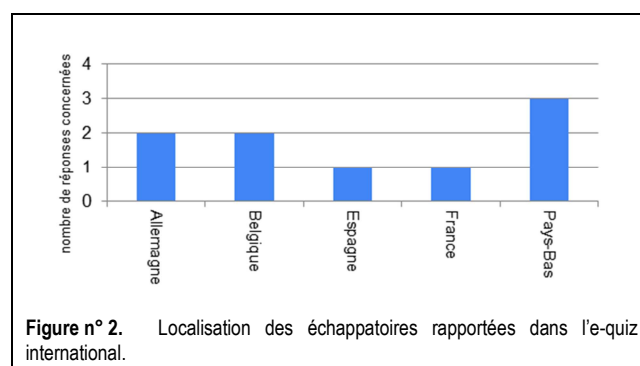
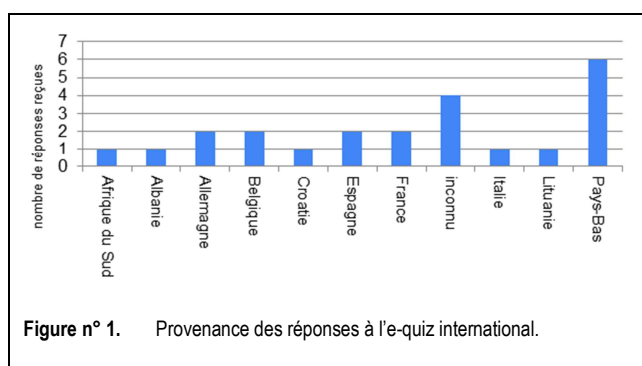
2.3 Méthode de recueil des données

La recherche bibliographique (Annexe 14) a reposé sur différents types de documents : des études scientifiques (suivies d'équipements, revues d'études scientifiques), des analyses techniques (retours d'expérience formalisés, guides de recommandations officiels, études opérationnelles conduites dans le cadre de la réalisation des mesures de réduction de projets d'infrastructures), la presse générale ainsi que des sites web et blogs, etc. La bibliographie archivée antérieurement au projet a été complétée par interrogation de moteurs de recherche (Google Scholar, Web of science, Scopus) en anglais et français. Plusieurs travaux récents et qui présentent une revue des matériels utilisés (principalement en Amérique du nord), des retours d'expérience et des études documentées ont également été consultés. Parmi les principaux, on citera : des revues préalables à des travaux de recherche par Jensen (2018) ou Siemers et al. (2015) ainsi que la revue et la vaste enquête menées aux USA et Canada par Huijser et al. (2015). Les références données dans chaque document ont été croisées. Des équipes de recherche ont été consultées aux Etats-Unis.

Face à la multiplicité des échappatoires mentionnées avec plus ou moins de précisions, un inventaire sommaire a été compilé de façon à identifier des entités ressources à contacter ou à noter d'éventuelles redondances dans les mentions. Cette étape méthodologique (non prévue à l'origine, fastidieuse mais rapidement indispensable) a constitué en elle-même un résultat de ce travail (Annexe 3).

Une enquête technique a été menée en France et à l'étranger pour identifier des réalisations et des personnes-ressources. En 2020, un mini-questionnaire a été diffusé en France aux Fédérations Départementales des Chasseurs¹³, aux principaux gestionnaires de réseaux nationaux routiers, autoroutiers et ferroviaires, concédés ou publics (Directions Interdépartementales des Routes), ainsi qu'à des contacts identifiés (praticiens, chercheurs) en France et à l'étranger ou via des réseaux techniques (AFIE – Association Française Interprofessionnelle des Ecologues). En 2020 et 2021, des compléments ont été demandés sur la base d'un questionnaire complet¹⁴ servant de support à des entretiens ou envoyé pour renseignement direct. A l'été 2021, un questionnaire numérique (e-quiz) a été diffusé en anglais et espagnol vers des réseaux techniques internationaux (IENE¹⁵, CEDR, Base Camp / Connectivity Conservation Specialist Group) ou de nouveaux contacts (auteurs, gestionnaires, etc.). Les trames des formulaires sont disponibles auprès de l'équipe ESCAPE XXL.

Ce rapport exploite les données recueillies jusqu'à septembre 2021. Toutes les données issues de l'enquête sont référencées comme telles (mention « enquête » en pied de page). La liste des contributeurs est donnée en annexe (Annexe 15). En complément de nos entretiens, SNCF Réseau a proposé de mener en interne la compilation des retours d'expérience sur leur réseau ferroviaire : ces données resteraient à intégrer (hors APR 2020). Enfin, les résultats de suivis en cours par des opérateurs seraient également à intégrer (par exemple, réseaux ASF de VINCI autoroutes en France et BIDEGI en Espagne).



¹³ Via l'OFB ex-ONCFS, animateur du réseau Ongulés Sauvages OFB-FNC-FDC, en relation régulière avec des correspondants dans chaque fédération.

¹⁴ En 2020, les premières données récoltées ont été compilées sous forme de « fiches dispositifs ». Ce travail ainsi que l'analyse des premières données bibliographiques a donné lieu à un état des lieux partiel dans un rapport de stage de C. Sortais (VETAGROSUP) - non diffusé.

¹⁵ Diffusion dans l'IENE Newsletter – July du 28/07/2021.

3 RESULTATS GENERAUX – INVENTAIRE ET TYPOLOGIE DES EQUIPEMENTS

A ce stade, des réalisations visant les ongulés ont été identifiées sur les infrastructures de transport dans les pays suivants (*Figure n° 3*) :

- en Europe : Allemagne, Belgique, Espagne, France, Pays-Bas, Suède (seules celles en France ont pu être documentées de façon détaillée),
- en Amérique du nord : Canada, USA.
- (Pour mémoire : des échappatoires pour grands mammifères ont été indiquées en Australie mais leur destination éventuelle pour des ongulés reste à préciser¹⁶).

La compilation systématique de toutes les mentions d'échappatoires permet d'ébaucher les bases d'un inventaire des réalisations (*Annexe 3*). On soulignera le précédent constitué par la base en ligne du Wildlife Crossings Project (WCP) de SAITEC¹⁷ dont nous avons exploité les mentions géolocalisées (8 % des mentions d'infrastructures équipées). Nous recommandons que soit finalisée dans un cadre international une base des réalisations en lien avec ce projet WCP, en intégrant les références des publications afférentes à chacune et la géolocalisation de l'échappatoire ou du tronçon d'infrastructure concerné.

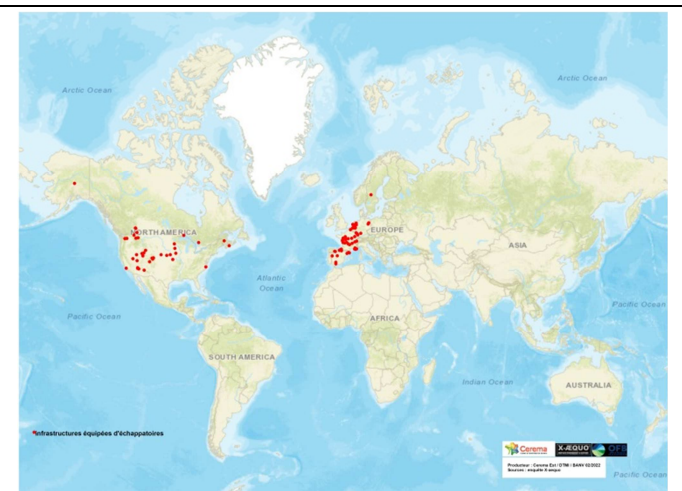


Figure n° 3. Carte mondiale des réalisations d'échappatoires à ongulés identifiées dans le projet exploratoire ESCAPE XXL. (données : Cabinet X-AEQUO et OFB d'après enquête et bibliographie, carte : CEREMA).

En rouge, infrastructures équipées d'échappatoires. Par défaut, en l'absence d'information précise sur la localisation, un seul point a été figuré pour l'ensemble du pays ou de l'état du pays concerné.



Figure n° 4. Carte des réalisations d'échappatoires identifiées en France dans le projet exploratoire ESCAPE XXL. (données : Cabinet X-AEQUO et OFB d'après enquête et bibliographie, carte : CEREMA).

En bleu : routes et autoroutes équipées d'échappatoires. En rose : lignes ferroviaires à grande vitesse équipées. En l'absence d'information précise, tout le tracé d'une infrastructure a été figuré lorsque des échappatoires y sont mentionnées.

En France, les échappatoires sont quasi exclusivement implantées sur les réseaux autoroutiers concédés et sur le réseau ferroviaire à grande vitesse, seul réseau ferroviaire à être clôturé en totalité (*Figure n° 4*). Il s'agit de rampes, trappes, portillons et sas d'extraction.

Pour mémoire, des échappatoires pour ongulés ont aussi été signalées sur des enclos forestiers et agricoles. Compte tenu des similitudes de fonctionnement, ce type d'utilisation resterait à investiguer plus systématiquement afin de croiser les retours d'expérience.

De façon schématique, les échappatoires destinées à extraire des animaux d'emprises clôturées sont des rampes ou des dispositifs mécaniques. Les dispositifs mécaniques peuvent être ouverts « intentionnellement » par l'animal

¹⁶ Parmi les espèces ciblées ou observées, le résumé de la publication ne cite aucune espèce d'ongulés, celles-ci ayant par ailleurs été toutes introduites en Australie.

¹⁷ wcproject.eu

(trappes, portillons, etc.) ou de façon fortuite (mécanisme de déclenchement) ou bien encore actionné par un opérateur. Pour chaque type de dispositif, les conceptions et modalités constructives sont variées.

Le diagramme ci-dessous présente les différents types d'échappatoires (*Tableau n° 2*). Cette typologie est en soit un résultat du projet ESCAPE XXL car elle complète les revues précédentes : les mentions colorées correspondent aux grands types décrits dans les fiches techniques (*Partie 4*).

RAMPE		Rampe en terre	forme linéaire (= le long d'une clôture en ligne droite)	
			forme en quart-de-rond (= dans une clôture en angle)	
			forme en quai de chargement (= entre deux murs de soutènement)	
			forme en U rentrant dans la clôture	
			autres formes particulières	
		Rampe sur mur de soutènement	culée de pont ou mur de tête de ponceau utilisé comme saut de fuite avec un vide intentionnel dans la clôture au-dessus.	
		Types alternatifs	clôture semi-étanche = clôture localement abaissée (avec ou sans bavolet) y compris "saut de pente" = clôture semi-étanche située au pied d'un remblai en pente raide qui descend en s'éloignant de l'infrastructure de transport	
DISPOSITIF MECANIQUE¹⁸	Dispositif mécanique passif	Portillon classique sur axe vertical avec un vantail de porte barré ou grillagé		
		Portillon à dents en forme de peignes (généralement courbes)		
		Trappe métallique sur axe horizontal (= dispositif retombant)	trappe classique verticale ou inclinée	sans contrepoids avec contrepoids
	Dispositif mécanique actif	Sas à déclenchement par fil tendeur par l'animal	système monobloc particulier	
		Ouvrant activé automatiquement par l'animal	sas d'extraction	
		Ouvrant ouvert manuellement par un opérateur		

Tableau n° 2. Typologie des échappatoires à faune

¹⁸ Ce terme a été préféré au terme générique de « porte » (qui se référerait à « gate » en anglais) mais qui peut prêter à confusion concernant les trappes.

4 PRESENTATION DES DIFFERENTS TYPES D'ÉCHAPPATOIRES

Cette partie présente pour chaque type de dispositif un état des réalisations, des recommandations et des études réalisées, d'après les données récoltées en bibliographie et par enquête. Les aménagements connexes valables de façon générale pour l'ensemble des dispositifs sont traités dans la partie 5. Pour l'ensemble des échappatoires, les exemples de coûts cités font référence à des années de pose et des modalités techniques différentes qui nécessiteraient une analyse comparative plus complète. *Les rampes sont les dispositifs échappatoires les plus documentés dans la bibliographie, principalement en Amérique du nord, et elles sont aussi fréquemment rencontrées sur le terrain en Europe d'où la plus large partie qui leur est consacrée ici.*

4.1 Les rampes

4.1.1 Les rampes en terre

Il s'agit d'une butte de terre installée le long des clôtures ou d'une configuration particulière du terrain et permettant aux animaux qui les empruntent de se retrouver au sommet de la clôture puis de sauter vers l'extérieure des emprises. Il s'agit ainsi de promontoires de saut destinés aux animaux capables de bonds. Les rampes sont en priorité destinées aux cervidés¹⁹. En France et en Europe parmi les grands ongulés, les rampes visent le Chevreuil d'Europe et possiblement le Cerf élaphe. Le Sanglier est réputé moins enclin à sauter.²⁰ Ces dispositifs sont installés en Europe (notamment en Allemagne, Belgique, Espagne, France, Pays-Bas, peut-être en Suède²¹) et en Amérique du nord (Canada, USA).

4.1.1.1 Les différentes formes de rampes

Diverses formes ont été développées afin d'optimiser la rencontre d'un animal longeant la clôture avec les rampes. De façon générale, on rencontre 4 grandes formes pour les rampes classiques couvertes de terre : linéaire, en angle (ou en quart-de-rond), « en quai de chargement », en forme de U dirigé vers l'extérieure des emprises.

Rampe de forme linéaire : une structure de soutènement retient une butte érigée le long d'une clôture droite (Figure n° 5).



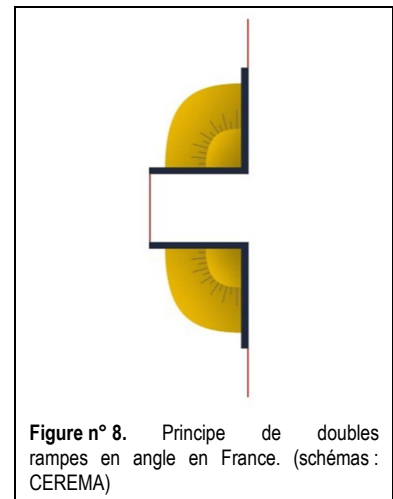
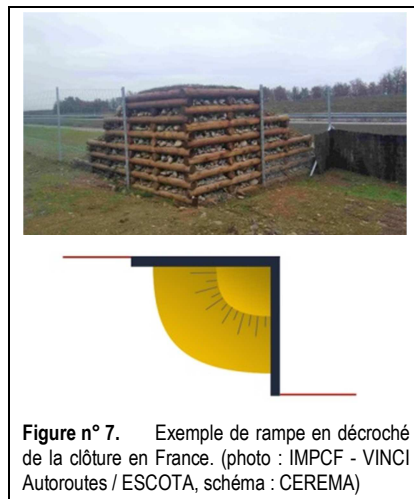
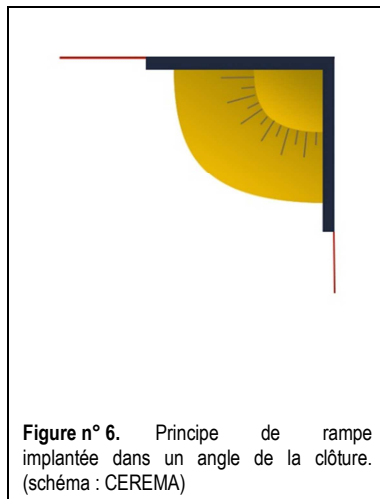
Figure n° 5. Exemples de rampe linéaire. (France - photos : IMPCF - VINCI Autoroutes / ESCOTA)

Rampe en angle (ou en quart-de-rond) : une structure de soutènement retient une butte située dans un angle de clôture. Il peut parfois s'agir d'un petit décroché du grillage qui est réalisé intentionnellement pour accueillir une « rampe en angle » dans un grand linéaire de clôture parallèle à l'autoroute (Figure n° 6, Figure n° 7). En France, la plateforme sommitale (replat à hauteur constante) fait par exemple 2 m de rayon. Dans certains exemples, le couplage de deux rampes en angle et espacées l'une de l'autre aboutit à des « doubles rampes en angle » pour intercepter des animaux arrivant en amont et en aval de la clôture (Figure n° 8).

¹⁹ D'où le terme anglais de « deer-leap », littéralement « saut de cerf » rencontrée uniquement chez Putman (1997). Ce terme anglais semble d'ailleurs plus précis dans sa destination que les termes plus courants de « escape jump » (littéralement, « saut de fuite ») ou « jump-out » (sautoir de sortie).

²⁰ Enquête.

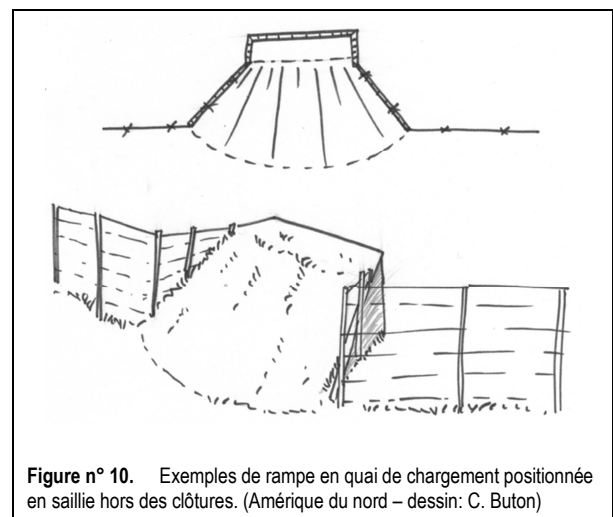
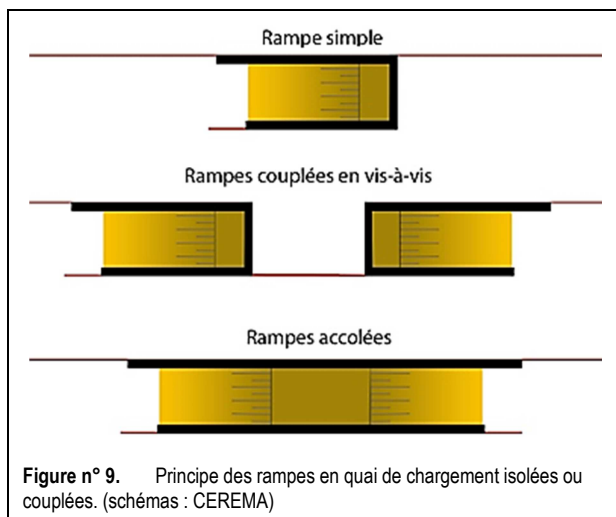
²¹ Cité par Putman (1997), à confirmer.



Rampe en « quai de chargement » : deux parois parallèles ou légèrement évasées²² retiennent les côtés d'une rampe adossée à un mur de soutènement. Cette rampe a l'aspect d'un « quai de chargement »²³ et est positionnée dans un couloir grillagé parallèle à la clôture d'emprise, de façon à y conduire l'animal longeant le grillage (i.e. effet « cul-de-sac ») (Figure n° 9). L'un des avantages de cette forme en quai de chargement est de limiter l'emprise au sol à partir de la clôture. En Europe, de petites rampes « en quai de chargement » de 1 m de large sont mentionnées aux Pays-Bas, la faune visée restant à préciser²⁴.

En théorie, comme pour la forme précédente, une rampe « en quai de chargement » peut être positionnée de façon isolée ou couplée à une autre placée en vis-à-vis et espacée de quelques mètres (Pays-Bas) voire accolée (Espagne, mais la faune visée, la conception et les dimensions restent à préciser). Cette configuration couplée nous a aussi été mentionnée comme possible dans l'enquête en France mais nous n'avons pas connaissance de mise en œuvre effective.

Dans des exemples nord-américains, l'évasement des parois latérales et/ou leur écartement aboutit à une forme hybride où la rampe isolée est positionnée non pas en parallèle de la clôture mais en saillie vers l'extérieur des emprises. Elle forme alors un entonnoir pour l'animal (Figure n° 10).



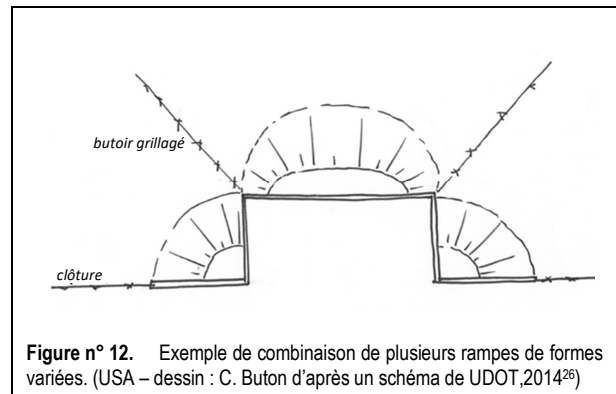
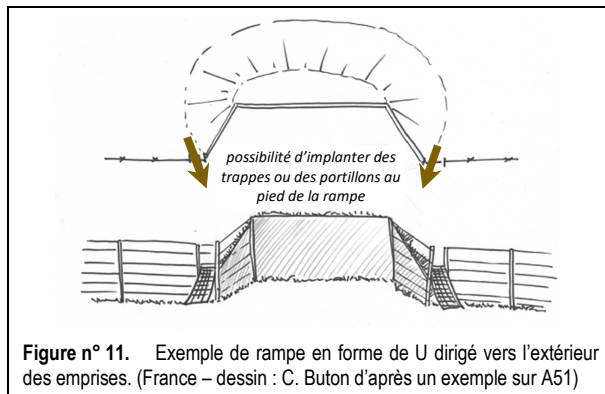
²² Exemple de schéma constructif transmis par SAITEC dans l'enquête.

²³ C'est la forme illustrée par Haften (1985) qui l'appelle « leap-in » (i.e. plongeur ou sautoir).

²⁴ JF. Bretaudeau, Communication personnelle suite aux visites IENE 2018.

Rampe en forme de U rentrant dans la clôture : il s'agit d'une configuration rare (1 seul cas réalisé sur autoroutes en France). Ici, la butte forme un décroché rentrant pour favoriser la montée par un animal qui longerait la clôture. L'animal est en théorie « obligé » de butter sur la pente de la première rampe en angle qu'il rencontre (car les pentes latérales sont en décroché de la clôture, rentrant dans les emprises). L'animal peut également gravir la pente en biais ou en courbe de niveau et/ou emprunter la partie centrale du dispositif (rampe linéaire). Cette configuration permet aussi de positionner des échappatoires mécaniques latérales en bas de rampes au pied des murs de soutènement, les rampes en angle formant avec la clôture un entonnoir de guidage vers le dispositif.

Pour mémoire, en Amérique du Nord²⁵, la combinaison de deux rampes en angle et d'une rampe linéaire vise à offrir des possibilités de fuite depuis plusieurs directions et se rapproche alors de cette forme en U orientée vers l'extérieur de l'emprise (*Figure n° 12*).



4.1.1.2 Caractéristiques techniques

Hauteur de chute : la hauteur est considérée comme le principal facteur déterminant car elle va à la fois définir la difficulté pour les individus à sauter depuis le sommet de la rampe vers l'extérieur des emprises ainsi que leur envie de tenter le saut, et de façon concomitante, l'importance de l'obstacle à franchir pour les individus qui souhaiteraient entrer dans ces emprises. Ces niveaux de difficultés dépendent probablement de l'espèce concernée²⁷. La hauteur peut conditionner le risque de blessures de l'animal à sa réception au sol²⁸. C'est donc la question pratique du compromis opérationnel qui se pose lors de la conception²⁹ : comment favoriser la sortie des espèces visées tout en décourageant leur entrée à contresens ? Cette question de l'optimum de hauteur selon l'espèce considérée et la configuration du terrain reste encore peu documentée, voire peu ou pas en France et en Europe, à ce stade de nos recherches.

Pour l'ensemble des pays, les rampes destinées aux cervidés ont globalement des hauteurs allant de 1.30 à 2.30 m (3 m ponctuellement en Amérique du Nord). En théorie, les hauteurs les plus basses favoriseraient les sorties de sangliers et cervidés mais aussi des entrées à contresens, par exemple par les cerfs. En France, bien qu'il n'existe pas de recommandation officielle (ni même d'étude spécifique), l'enquête indique souvent des hauteurs de chute de 1.8 à 2.0 m correspondant environ à la hauteur de la clôture. Par précaution et en l'absence de recommandation officielle ou de jurisprudence, un gestionnaire autoroutier³⁰ a indiqué avoir pris le parti de conserver des hauteurs de rampe équivalente à la hauteur standard visée pour les clôtures de part et d'autre afin de ne pas constituer un risque juridique. Les principaux retours d'expériences concernent l'Amérique du Nord où une certaine efficacité est constatée pour les espèces locales de cervidés avec des rampes de hauteur comprise entre 1.7 m et 2 m, des franchissements occasionnels au-delà restant possibles³¹ (*Encart n° 1, voir aussi Annexe 5*).

²⁵ Exemple cité par (Huijser et al., 2015).

²⁶ (Huijser et al., 2015)

²⁷ (Jensen, 2018)

²⁸ Question de la dangerosité évoquée par exemple dans (Margueratt, 2004) ou lors de l'enquête par exemple en France pour des rampes supérieures à 2 m.

²⁹ Question résumée de (Huijser et al., 2015) et dans la lignée de (Clevenger and Huijser, 2011), déjà abordée dans (Huijser et Kociolek, 2008) cité par (Siemers et al., 2015).

³⁰ Enquête.

³¹ (Huijser et al., 2015)

Une étude ultérieure indique ensuite que si une hauteur de 2 m suffit à prévenir les contresens de Cerf mulet, elle est en revanche trop haute pour encourager la majorité des individus à sauter³². Enfin, tout récemment, une vaste étude en Arizona³³ conclut à l'intérêt de mettre en œuvre des rampes de 1.5 m pour les espèces américaines de Cerf (1.80 m pour le Wapiti), rehaussables ensuite par une barre horizontale si des contresens sont attestés.

La comparaison des hauteurs mentionnées se heurte aux limites suivantes :

- Prise en compte du relief hors emprise et localisation du point de mesure de la hauteur.
- Clôture dépassant ou non de la rampe. En effet, le sommet des rampes peut être à la même hauteur que les clôtures de part et d'autre mais lorsque la rampe est plus basse, la clôture est le plus souvent abaissée ou repliée afin de ne pas dépasser du soutènement de la rampe. Cela forme alors une « brèche » pour l'animal. Quelques cas montrent des clôtures significativement plus hautes que les rampes (40 cm à 1 m) et jugées alors non fonctionnelles.
- Eventuel dépassement en hauteur du mur de soutènement au-dessus du niveau de la terre en crête de rampe.
- Présence ou non de dispositifs anti-contresens en partie haute tels un rondin bois³⁴ ou un tube en plastique horizontal. Ces équipements présents par exemple en Amérique du Nord³⁵ pour des rampes de 1.80 m jugées trop basses n'ont toutefois pas été rencontrés en Europe à ce stade de nos recherches.

Encart n° 1.

En 2015, Huijser et al. (2015) ont mené une vaste enquête technique et bibliographique avec les réponses de 137 institutions d'Amérique du nord principalement. Ils ont constaté que depuis le début des années 2000, les rampes étaient devenues de plus en plus communes. Elles semblaient efficaces sur certains sites pour le Cerf mulet, le Wapiti et le Mouflon canadien : les auteurs ont fait un diagramme des niveaux d'efficacité par espèce et hauteur de rampe évalués par les répondants. Ils ont conclu que des recherches restaient à mener pour préciser le design pour les autres espèces seules ou associées.

Dimensionnement : parmi les différentes rampes, ce sont celles de type linéaire qui sont les plus imposantes car les pentes latérales descendent de part et d'autre de la crête. Ainsi en France³⁶, des rampes de forme linéaire sur autoroutes ont des longueurs en crête d'au moins 3 à 4 m pour une longueur totale en pied de butte de de 8 à 14 m environ selon l'inclinaison des pentes latérales. Les autres formes ont des dimensions plus faibles. En Amérique du nord³⁷, quelle que soit leur forme et sans compter les pentes d'accès, les rampes ont une longueur en crête variant de 1.2 à 7.3 m.

Par ailleurs, les rampes présentent généralement en crête un replat au bord du mur de soutènement. Cette plateforme sommitale semble avoir une fonction à la fois faunistique (zone d'appui pour le saut) et constructive (faciliter le maintien de la terre aux environs de l'arase du soutènement), cette dernière n'ayant toutefois pas été décrite formellement dans nos recherches. En France³⁸, comme en Amérique du Nord³⁹, les plateformes ont des dimensions variables mais elles restent globalement assez étroites : de l'ordre de 1 à 2 m de large (ou de rayon pour les rampes en angle). Nous n'avons pas identifié de recommandations claires ni d'études sur l'incidence du dimensionnement de la plateforme sommitale quant à l'efficacité du dispositif.

Pente : le consensus semble général sur l'intérêt de pentes douces⁴⁰. Des rapports techniques analysant des réalisations peuvent juger comme défavorables les cas où les pentes sur les côtés de la rampe sont plutôt raides et incitent probablement les ongulés à la contourner. De même, en Amérique du nord, le retour d'expérience de 2015⁴¹ conduit à recommander des pentes de 33 % (1 vertical pour 3 horizontal) avec des angles arrondis. Tout récemment, une importante étude montre statistiquement pour le Wapiti l'intérêt d'une bonne intégration dans

³² (Jensen, 2018)

³³ (Gagnon et al. 2020)

³⁴ Exemples sur <https://wcproject.eu>

³⁵ Pour l'Amérique du nord : (Bissonette et Hammer, 2000), (Huijser et al., 2015).

³⁶ Schémas techniques et données reçues dans l'enquête et (Buton et Ghis, 2009).

³⁷ (Huijser et al., 2015)

³⁸ Enquête.

³⁹ (Huijser et al. 2015)

⁴⁰ Enquête, (Carsignol et Tekielak, 2019).

⁴¹ (Huijser et al. 2015), rejoignant aussi les résultats qualitatifs de (Bissonette et Hammer, 2000).

le relief par rapport à une implantation « isolée » dans des emprises plates, les auteurs recommandant une pente maximale de 25 % (1/4)⁴².

En pratique, en France⁴³, les schémas techniques collectés spécifient des pentes de 20 % dans l'axe (soit 1 vertical / 5 horizontal) avec 100 % sur les côtés (1/1), de 40 % (2/5) ou encore de 67 % (2/3). Dans certains cas, le cahier des charges recommande que des faunisticiens précisent au cas par cas la nécessité de terrassements complémentaires de façon à intégrer les rampes au terrain de la façon la plus naturelle possible (Figure n° 13).

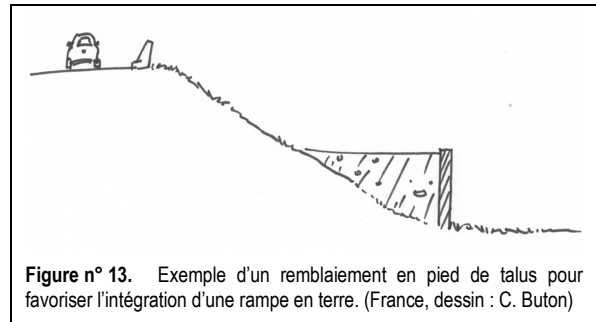


Figure n° 13. Exemple d'un remblaiement en pied de talus pour favoriser l'intégration d'une rampe en terre. (France, dessin : C. Buton)

En Amérique du nord⁴⁴, les réalisations ont des pentes de 25 % (1 vertical / 4 horizontal) à 50 % (1/2) avec éventuellement la pente raide dans l'axe du soutènement et les pentes douces le long des clôtures conduisant à la rampe. Même avec des pentes douces (25 %), il peut être spécifié de les casser encore plus (17 % = 1/6) au raccordement avec la plateforme sommitale⁴⁵.

Eventuelle transparence latérale du soutènement : le mur latéral peut émerger le long de la clôture et constituer un possible obstacle visuel pour l'animal. A ce stade de nos recherches, ce point ne semble pas avoir fait l'objet d'études particulières. Malgré l'absence d'études à ce sujet, en France⁴⁶ comme en Amérique du nord⁴⁷, deux modalités constructives existent : soit le haut du soutènement est laissé entier le long des pentes de la rampe (et donc dépasse à hauteur constante), soit le mur descend graduellement en marche d'escalier ou en biais en suivant la pente de la rampe (Figure n° 14).

La question demeure donc de préciser la gêne ou l'intérêt de conserver une transparence latérale pour les animaux sur la rampe. En France, certains gestionnaires autoroutiers ont d'ailleurs repris des réalisations passées en sciant quelques années plus tard les murs préfabriqués en béton pour tenter d'optimiser la transparence visuelle.



Figure n° 14. Exemples de rampes où le mur de soutènement est visible sur les côtés de la rampe avec le mur de soutènement dépassant sur les côtés soit (à gauche) à hauteur constante soit (à droite) « en marches d'escalier ». (France – photos : OGE - VINCI Autoroutes / ASF)

Surface de réception : il s'agit de la surface située en contrebas du mur de soutènement à l'extérieur des emprises et au droit de laquelle des dispositions peuvent être prises pour que l'animal se sente en sécurité et ne se blesse pas au contact du sol.

En Amérique du nord, il y a un consensus pour une surface plane et meuble⁴⁸ (terre, sable) sur un rayon de 5 à 10 m⁴⁹. A ce stade toutefois, il n'a pas été trouvé de référence étudiant si la trajectoire du saut est spécifique (par exemple, saut vers le pied de la rampe ou bien au contraire plus en longueur). Par précaution, il est aussi recommandé de dégager la végétation sur cette surface de réception (arbres et arbustes) sans toutefois pouvoir

⁴² (Gagnon et al., 2020)

⁴³ Enquête.

⁴⁴ (Huijser et al. 2015)

⁴⁵ (AZDOT, 2011)

⁴⁶ Enquête.

⁴⁷ D'après les photos et schémas dans toutes les références bibliographiques.

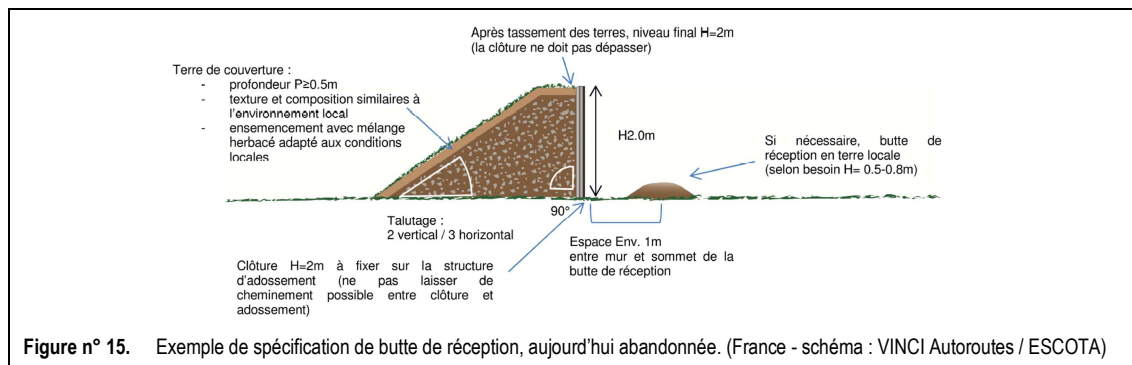
⁴⁸ (MTO 2016), (Huijser et al., 2015), (Clevenger et Huijser, 2011), (AZDOT, 2011)

⁴⁹ (Siemers et al., 2015) repris aussi par Jensen (2018), également exemple de réponses transmises dans l'enquête de Huijser et al. (2015.)

statuer sur la perception de cette végétation par les ongulés comme zone refuge ou au contraire repaire potentiel pour des prédateurs⁵⁰.

Par ailleurs, pour la végétation située au-delà de la surface de réception, le contexte faunistique et anthropique semble intervenir. En effet, en Amérique du nord, il a été montré que plus les premiers buissons étaient proches de la zone de réception meilleur était le taux de succès des sorties de cerfs muets⁵¹ (l'influence de végétation sur la zone même de réception n'est pas documentée en l'absence de cas dans les situations suivies). En France, des rapports techniques analysant des réalisations suggèrent par ailleurs que des dérangements (par exemple visuels) hors emprises peuvent gêner l'utilisation des rampes par les animaux, ce qui rejoint l'intérêt de ces écrans végétaux à proximité.

En France, une petite butte de terre a parfois été mise en œuvre à distance du soutènement en lien avec les experts faunistiques et cynégétiques⁵² : haute de 0.5 à 0.8 m, elle visait à atténuer la hauteur de chute selon le relief et/ou modifier la perception par les animaux sortants (*Figure n° 15*). Cette spécification a été ensuite abandonnée en raison de l'éventuel risque « juridique » lié à la constitution d'un possible point d'entrée facilitée pour la faune au regard des hauteurs de clôture standard et bien qu'aucune entrée d'animaux à contresens n'ait été faite dans cette situation. La distance entre le sommet de la butte de réception et le pied de rampe (1 m) était choisie pour respecter la distance de retrait au pied de clôture recommandée pour les clôtures⁵³ : toutefois, là encore la forme des sauts de chaque espèce dans une situation donnée serait à investiguer pour préciser ces cotes.



Simultanément, dans le cas de réalisations en Amérique du nord, il est indiqué qu'en créant la butte de réception avec des matériaux prélevés par exemple sur 1.5 à 1.8 m à partir du pied du soutènement^{54,55}, le creux formé peut dissuader les animaux d'entrer à contresens car, vue depuis le pied du soutènement, la rampe leur paraît alors plus haute.

Dispositifs anti-retour : lorsque les rampes sont plus basses que les clôtures, des dispositifs sont parfois mis en œuvre pour limiter les risques d'intrusions d'animaux à contresens. Ces dispositifs sont cités en Amérique du nord mais n'ont pas été rencontrés en Europe.

En Amérique du nord, il est fait état des dispositifs suivants :

- La création d'un creux au pied du soutènement.
- L'ajout d'une barre ou d'une planche fixée sur la tranche en crête ou en retrait⁵⁶ du soutènement. Des suivis montrent que des dispositifs en crête semblent diminuer les entrées à contresens⁵⁷ mais peuvent

⁵⁰ (Siemers et al., 2015)

⁵¹ (Siemers et al., 2015)

⁵² Réalisations sur autoroute rapportées dans l'enquête.

⁵³ (Carsignol and Tekielak, 2019)

⁵⁴ (AZDOT, 2013a; b) cité par Huijser (2015).

⁵⁵ (AZDOT, 2011)

⁵⁶ A environ 46 cm par exemple (Siemers et al., 2013) cité par Huijser et al. (2015).

⁵⁷ (Gagnon et al., 2013)

également réduire le succès des sorties du Cerf mulet⁵⁸, sous l'effet éventuellement conjugué avec la hauteur de la rampe⁵⁹.

- La pose de barres métalliques horizontales ou de tubes plastiques à environ 40 cm de haut en crête de rampes. Ces dispositifs viennent en remplacement de fils tendus qui ont permis d'empêcher des contresens par le Mouflon du désert mais entraînaient un risque de blessure des animaux⁶⁰.
- des planches posées à plat en débord de la crête, abandonnées suite à des observations suggérant que leur flexion a dissuadé un cerf de s'y avancer pour sauter⁶¹,
- L'ajout de terre en haut de rampe, à distance de la crête (par exemple une butte de 60 à 90 cm de haut à environ 2.40 m en retrait de la crête⁶²) pour réduire la visibilité des animaux arrivant de l'extérieur.
- Pour mémoire et prise en compte le cas échéant dans des régions d'Europe concernées, contre les animaux grimpeurs (ours), une plaque de métal est parfois fixée au dos du soutènement⁶³ et la pose d'une clôture électrique est aussi possible⁶⁴.

Soutènement : les principaux types de soutènement sont des structures en béton ou en bois. Les techniques rencontrées en Europe et en Amérique du Nord sont variées (*Annexe 6*) et doivent être adaptées à la stabilité dans le temps des matériaux de la butte, aux conditions d'amenée des matériaux sur site⁶⁵ et à l'optimisation locale des coûts de mise en œuvre. Le choix constructif conditionne la faisabilité et la pérennité de la rampe et donc in fine sa fonctionnalité faunistique. Ainsi aux USA, il est constaté qu'à terme des soutènements en planches de bois se déforment et permettent l'érosion des matériaux de remplissage⁶⁶. De même, des soutènements en gabions grillagés ont été équipés de grillage à mailles fines et de bâches pour mieux retenir les matériaux et ne pas blesser ni gêner les animaux⁶⁷. Ailleurs, des drainages peuvent être mis en œuvre dans le soutènement pour faciliter l'écoulement des eaux qui s'infiltrent dans la butte⁶⁸. On notera que la clôture doit être raccordée de façon étanche au soutènement de la rampe et qu'il ne doit pas avoir d'espace entre la clôture et ce soutènement de façon à ne pas augmenter la distance de saut et surtout à ne pas constituer de danger si l'animal y tombe. Ainsi, aux USA, il est recommandé un maximum de 8 cm⁶⁹.

Composition : dans tous les pays, les buttes sont généralement en terre. En France⁷⁰, certaines sont en galets recouverts de terre végétale. Pour des soutènements en bois, ces galets favorisent le drainage et l'imputrescibilité des structures⁷¹. L'adéquation entre le soutènement et les matériaux de remplissage est à adapter aux contraintes de sites (conditions d'amenée ou stocks disponibles à proximité).

Végétalisation : toutes les rampes rencontrées sont remplies ou recouvertes de terre ce qui peut permettre le « verdissement » de la rampe par expression de la banque de graines et par la dynamique végétale spontanée. En France comme en Amérique du nord, un semis peut aussi être recommandé⁷² afin d'accélérer l'intégration paysagère et de lutter contre le ravinement. L'origine des matériaux de remplissage ainsi que de la terre de couverture peut conditionner la composition floristique. Afin d'optimiser l'insertion écologique de la rampe, il est parfois recommandé de ne pas utiliser de calcaire en zone siliceuse⁷³.

En France⁷⁴, la compaction des matériaux sur les pentes latérales et en crête ou le recours à des matériaux inertes sont parfois proposés pour limiter la pousse.

⁵⁸ (Siemers et al., 2015)

⁵⁹ (Siepel et al., 2013) cité par Huijser et al. (2015).

⁶⁰ (Gagnon et al., 2014) cité par Van der Ree et al. (2015).

⁶¹ (Jensen, 2018)

⁶² AZDOT, 2011

⁶³ (Huijser et al., 2015 ; Clevenger et Huijser, 2011).

⁶⁴ (van der Ree et al., 2015)

⁶⁵ Point souligné par exemple par AZDOT (2011).

⁶⁶ (Gagnon et al., 2020)

⁶⁷ (Gagnon et al., 2020)

⁶⁸ Photo de rampe en Alberta (Canada) placée dans un remblai adossé sur des blocs béton et équipée d'un drain. « Le drainage souterrain est assuré par un tuyau perforé et du gravier filtrant » : (Bel et Carter, 2000) cité par MTO (2016).

⁶⁹ (Huijser et al., 2015)

⁷⁰ Enquête.

⁷¹ Enquête.

⁷² Enquête, (Huijser et al., 2015 ; Bissonette et Hammer, 2000).

⁷³ Enquête.

⁷⁴ Enquête.

4.1.1.3 Mise en œuvre et coûts

Il n'a pas été cité de fournisseur ou de distributeur spécifique pour les rampes. En fonction de la technique retenue, elles sont réalisées par des entreprises de clôtures, de terrassements ou d'aménagements paysagers. Les structures en bois peuvent être préfabriquées par des entreprises spécialisées en aménagement bois. Aucun brevet n'a été identifié.

Le temps de pose est fonction de la technique utilisée, elle-même tributaire des conditions d'accès. La pose peut nécessiter d'un à plusieurs jours avec une équipe de 2 à 4 personnes équipée d'engins de terrassement et de levage si nécessaire⁷⁵. Certaines structures de soutènement (cages en bois par exemple) peuvent limiter les besoins en engins de levage pour des sites peu accessibles aux engins lourds mais en augmentant les manutentions manuelles.

En France, les coûts de fournitures et pose vont de 3 000 à 10 000 € HT en fonction du dimensionnement et de la technique avec éventuelle clôture de renvoi (butoir) mais hors travaux complémentaires spécifiques éventuels (terrassements complémentaires par exemple pour intégrer le raccordement de la rampe au talus). En Amérique du nord, les coûts cités depuis les années 2000 vont de 2 000 à 13 000 \$, voir 40 000 \$ pour les plus grandes rampes⁷⁶.

4.1.1.4 Avantages et inconvénients

Points forts cités :

De façon consensuelle en Europe⁷⁷ et en Amérique du nord, et sous réserve d'une bonne conception initiale, les rampes sont des dispositifs autonomes (i.e. ne nécessitant pas de réarmement), pérennes, qui demandent peu d'entretien (en particulier lorsqu'elles sont comparées aux systèmes mécaniques)⁷⁸. Les coûts d'entretien et de contrôle peuvent être intégrés dans la visite annuelle des clôtures et dans le fauchage annuel des emprises et sont considérés alors comme négligeables. L'absence de « stress » pour la faune est citée⁷⁹ mais cette notion reste à préciser. La variété des techniques utilisables permet d'équiper différentes situations⁸⁰, bien que la plupart nécessitent cependant le recours à des engins de terrassements. Ces équipements présentent l'avantage également de pouvoir s'intégrer dans le paysage selon la distance à la voie et le modelé de terrain et sous réserve d'être végétalisés⁸¹. Dans certains cas, leur efficacité est attestée⁸².

Points faibles cités :

Outre l'inefficacité estimée de certaines réalisations (notion qui est en elle-même à préciser : voir 6.1), les points faibles cités pour les rampes le sont principalement par comparaison avec les systèmes mécaniques : coûts de réalisation plus élevés (variables toutefois selon le dimensionnement), conception et réalisation plus compliquées. Il s'agit également de dispositifs ne visant que les animaux sauteurs, la question des conditions d'utilisation par le Sanglier restant à documenter. Enfin, la neige ou la glace peuvent réduire leur utilisation par les animaux⁸³. L'enquête pour les Pays-Bas⁸⁴ a rapporté une éventuelle dangerosité en cas de sortie de route de véhicule (effet tremplin). Selon notre expérience, les contingences de disponibilité foncière et d'accessibilité aux engins de terrassement sont également limitantes.

4.1.1.5 Connaissances sur l'efficacité du dispositif

En France, plusieurs gestionnaires ont mené des suivis par pièges à traces et pièges photographiques afin de comptabiliser les passages sur les rampes (Annexe 7). L'une d'entre elles menée sur A31^{85, 86} atteste de

⁷⁵ Exemple sur autoroutes en France dans l'enquête

⁷⁶ (Bissonette et Hammer, 2000 ; Huijser et al., 2015 ; Siemers et al., 2015)

⁷⁷ Enquête, (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015 ; Bissonette and Hammer, 2000)

⁷⁸ (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

⁷⁹ Enquête

⁸⁰ Enquête

⁸¹ (Bissonette et Hammer, 2000)

⁸² Enquête, (Huijser et al., 2015)

⁸³ (MTO, 2016) au Canada

⁸⁴ Enquête

⁸⁵ Cagniant Th, 2005, Bilan de l'opération pilote menée sur le district d'Allain, APRR

nombreuses sorties de chevreuils ainsi que celles de 3 sangliers entre 2002 et 2004. Ces sorties sont mises en lien avec en lien avec la réduction des accidents sur la zone en comparaison aux dix années précédentes, le rapport imputant également ces résultats à une reprise générale des clôtures et un renforcement de l'entretien des abords. D'autres suivis indiquent des sorties de chevreuils plus ponctuelles voire nulles mais la fréquentation des emprises aux environs ou les éventuels refus ne sont pas ou peu documentés.

En Espagne, sur lignes ferroviaires à grande vitesse, le suivi de différents systèmes d'échappatoires mécaniques et de rampes a donné des résultats très médiocres (les rapports restent à demander). Le gestionnaire suggère que sur lignes à grande vitesse, le comportement des animaux pourrait différer de ceux pénétrant dans des emprises autoroutières, peut-être en raison d'une perturbation plus continue sur ces dernières. Aux Pays-Bas, en dépit de nombreuses réalisations depuis les années 1980 et qui visent notamment les chevreuils⁸⁷, il a été mentionné⁸⁸ l'absence de revue générale ou de base compilant les éventuelles données.

En Amérique du nord, Siemers et al. (2015) ont relevé le manque d'études expérimentales sur l'efficacité des rampes selon des protocoles de type BACI (Before After Control Impact) sur le long terme, la plupart des références antérieures s'attachant d'une part à la liste des espèces empruntant les rampes et d'autre part à des analyses coûts / bénéfices avant et après la mise en œuvre de rampes. Leur étude puis la vaste enquête de Huijser et al. (2017), ainsi que les études de Jensen (2018) et (Gagnon, 2020) constituent, pour les espèces et dans le contexte nord-américain, des avancées importantes dans la tentative de compréhension des facteurs d'efficacité des rampes ainsi que du comportement des animaux, bien que de nombreux facteurs restent à préciser. Les expériences les plus récentes sont résumées en annexe et fournissent des exemples à répliquer avec les espèces d'ongulés européennes (*Annexe 8*).

Parmi les principaux résultats et selon les espèces :

- les rampes de 1.5 m sont 7.9 à 11 fois plus efficaces que les portillons à peignes courbes⁸⁹,
- l'efficacité des rampes varie selon les espèces^{90, 91},
- une zone de réception plane et dégagée⁹², la proximité de buissons en sortie de rampes (mais non sur la surface de réception), une clôture butoir et la relative proximité de l'infrastructure sont des facteurs favorisant les sorties⁹³,
- le retour d'investissement est de 1.4 à 2.2 ans⁹⁴,
- une forte proportion de pseudo-réplicats est mise en évidence dans une étude originale⁹⁵ qui documente le comportement individuel de cerfs muets sur 4 rampes et leur fidélité au site sur 5 ans : au moins 66 % des événements sont à considérer comme des passages d'individus déjà observés.

Les pistes d'études recommandées ces auteurs ont été directement intégrées dans la partie concernée (*partie 7*). Pour mémoire, aucune étude en Amérique du Nord ne porte sur le Sanglier (invasif ponctuellement aux USA).

Enfin, aucune étude spécifique n'a été identifiée à ce stade en France ou Europe sur les possibilités d'entrées à contresens mais des cas sont attestés en Amérique du nord selon les capacités de saut des espèces et les hauteurs de rampes : des études y documentent le taux d'entrées avérées (contresens réussis) ou le taux d'exclusion (absence de contresens) en fonction du nombre d'animaux qui se présentent hors emprises. Ainsi, Huijser et al. (2015) listent les taux d'exclusion attestés pour les rampes avec par exemple : de 1-10 à 91-100 % pour des rampes de 1.8 à 1.9 m pour le Cerf muet, 91-100 % à 1.7 m pour le Cerf de Virginie, ≤10 % à 2 m pour la Chèvre des montagnes rocheuses, 91-100 % à 1.8 m (2.2 m avec une barre ou planche) pour le Mouflon canadien. Cette étude intègre probablement tout ou partie des données bibliographiques suivantes : aucune entrée à contresens pour le

⁸⁶ APRR, Trophées innovation 2007, Expérimentation de sortie des animaux du DPAC, montage ppt

⁸⁷ (Haafte, 1985)

⁸⁸ Enquête

⁸⁹ (Bissonette et Hammer, 2000)

⁹⁰ (Huijser et al., 2015)

⁹¹ (Huijser et al., 2017)

⁹² (Gagnon et al. 2020)

⁹³ (Siemers et al., 2015)

⁹⁴ (Siemers et al., 2015)

⁹⁵ (Jensen, 2018)

Cerf mulet avec des rampes de hauteur 1.5 m⁹⁶ ni de 2 m⁹⁷ mais ailleurs, contresens dans 0.9 % des cas et en majorité sur une même rampe de hauteur 1.80 m⁹⁸, aucun contresens de Cerf mulet ou Cerf de Virginie mais 1 contresens de Wapiti⁹⁹, entrée à contresens de wapitis avec des rampes de 1.5 m^{100, 101}, entrées à contresens de Mouflon du désert dans 3 % des détections hors clôtures et se sont arrêtées après pose de barres horizontales à environ 40 cm^{102, 103}. Plus récemment, en croisant les courbes des taux de sortie et d'étanchéité à contresens obtenus par l'analyse de photos collectées de 2011 à 2018¹⁰⁴, une étude a conclu pour le Wapiti à une hauteur optimale des rampes comprise entre 1.50 m et 1.80 m. Les différences de résultats pour une même espèce (par exemple le Cerf mulet) montrent selon nous que d'autres facteurs interviennent que la seule hauteur du soutènement.

4.1.2 Les rampes sur mur de soutènement¹⁰⁵

Le principe est d'abaisser voire déposer une portion de clôture faunistique située au-dessus du mur de soutènement d'ouvrage de franchissement inférieur existant sous des infrastructures situées en remblai¹⁰⁶. Cela permettrait de baisser les coûts de réalisation. Les contraintes seraient de disposer d'un linéaire de mur suffisant. Le nouveau guide pour la France¹⁰⁷ recommande que l'échancrure du grillage soit placée à un endroit où la hauteur du mur du soutènement évite les sauts à contresens : il faut que le mur ait la même hauteur que les clôtures faunistiques posées sur cette zone. Selon nous, le parallèle entre l'aptitude des animaux à sauter « par-dessus » une clôture ou « sur » un mur serait toutefois à investiguer pour au besoin moduler ces préconisations ou envisager des dispositifs anti-contresens. Selon la configuration des clôtures, des retours de clôtures sont demandés à la jonction avec le soutènement (*Figure n° 17*) pour éviter aux petits mammifères d'entrer¹⁰⁸.

A ce stade, aucun exemple n'est remonté pour la France ou ailleurs en Europe. Ce principe est mis en œuvre en Amérique du nord avec au besoin une barre horizontale en travers de la brèche pour éviter les sauts à contresens. Le seul suivi identifié¹⁰⁹ montre des sorties mais aussi quelques contresens par des cerfs muets qui, selon les auteurs, ont probablement grimpé le long du mur de soutènement. Cet exemple souligne l'importance à accorder à la qualité de la pose de la clôture, tout particulièrement au raccordement aux ouvrages, afin d'éviter les entrées à contresens.

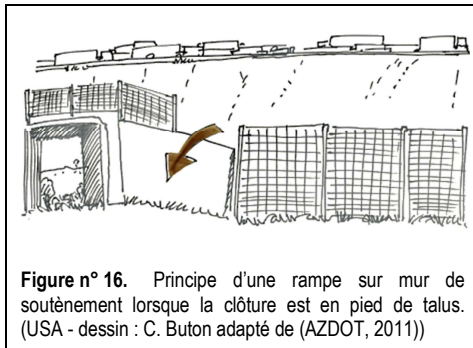


Figure n° 16. Principe d'une rampe sur mur de soutènement lorsque la clôture est en pied de talus. (USA - dessin : C. Buton adapté de (AZDOT, 2011))

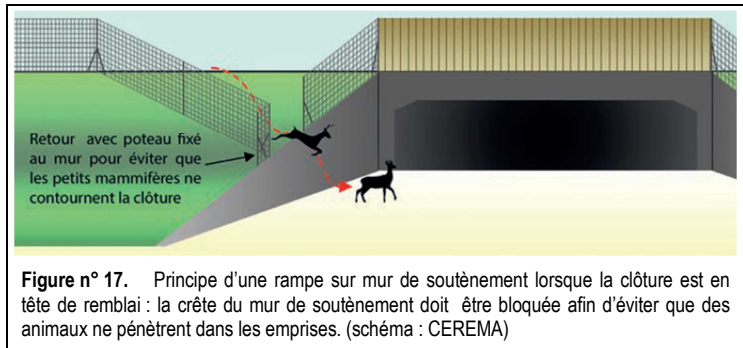


Figure n° 17. Principe d'une rampe sur mur de soutènement lorsque la clôture est en tête de remblai : la crête du mur de soutènement doit être bloquée afin d'éviter que des animaux ne pénètrent dans les emprises. (schéma : CEREMA)

⁹⁶ (Bissonette et Hammer, 2000)

⁹⁷ (Jensen, 2018)

⁹⁸ (Siemers et al. 2015)

⁹⁹ (Huijser et al., 2017)

¹⁰⁰ (MTO, 2016) citant une étude non référencée.

¹⁰¹ (AZDOT, 2011)

¹⁰² (Gagnon et al. 2013) cité par Jensen (2018) et (Siemers et al., 2015).

¹⁰³ (Gagnon et al., 2014) cité par Van der Ree et al. (2015).

¹⁰⁴ En anglais : « escape and Repel rate » (Gagnon et al., 2020)

¹⁰⁵ En anglais « escape jumps » (sauts de fuite) selon Siemers et al. (2015).

¹⁰⁶ D'après les spécifications de (AZDOT, 2013a; b) cité par Huijser et al. (2015).

¹⁰⁷ (CEREMA, 2021)

¹⁰⁸ (CEREMA, 2021)

¹⁰⁹ (Siemers et al., 2015)

4.1.3 Des rampes « alternatives » : les clôtures semi-étanches et sauts de pente¹¹⁰

Le principe est que certaines configurations de clôtures pourraient permettre à des animaux de ressortir tout en restant « suffisamment » efficaces pour les empêcher de pénétrer dans les emprises. Ainsi selon le relief des emprises et l'espèce concernée, des abaissements ponctuels ou plus étendus de la clôture, avec éventuellement la pose d'un bavolet incliné vers l'extérieur des emprises, pourraient favoriser la sortie d'animaux tout en limitant les risques d'entrée à contresens.

Il serait par exemple possible de former des « sauts de pente » en bas de remblais suffisamment pentus (*Figure n° 18*), ce qui serait financièrement intéressant en rattrapage sur des clôtures existantes¹¹¹. En Europe, cette option technique est indiquée dans les travaux de la Conférence des Directeurs des Routes Européennes¹¹² mais sans autre précision.

Cette configuration n'a été rencontrée qu'aux USA (Arizona) : elle concerne des pentes de talus à 50 %¹¹³ (soit 1 vertical pour 2 horizontal) où la clôture est abaissée à une hauteur d'environ 1.2 à 1.5 m et sur une longueur de 2.4 à 3.7 m¹¹⁴ et équipée d'une barre horizontale. Il est conseillé d'y adjoindre un butoir perpendiculaire d'environ 2.4 m de long en clôtures ou rochers pour ralentir les animaux longeant la clôture par l'intérieur des emprises. L'efficacité résiderait dans le choix de l'emplacement à équiper¹¹⁵ et serait basée sur le concept que la hauteur barrière effective est une fonction de la pente¹¹⁶ (i.e. une clôture d'environ 1.10 m située en bas d'un talus de remblai incliné à 40 % correspondrait à une hauteur barrière effective d'environ 1.70 m pour un animal cherchant à pénétrer dans les emprises). Une récente étude conclut toutefois à une moindre efficacité de ces sauts de pente par rapport aux rampes avec des taux de sortie de 9 % pour le Wapiti et les Cerfs (*Odocoileus*) contre respectivement 34 et 13 %¹¹⁷.

En Europe, ce principe des sauts de pente reste cependant une piste à investiguer compte tenu des linéaires de clôture qui existent déjà sur des tronçons en remblai. Par ailleurs, même si les taux de sortie s'avéraient faibles, chaque animal extrait représente un risque de collision en moins. Notons que pour les espèces européennes, leur mise en œuvre se heurte à une absence d'étude solide des taux de sorties et d'entrées à contresens en fonction de la hauteur du grillage et de la pente du talus de part et d'autre du grillage¹¹⁸. Le « niveau de sécurité » offert par chaque configuration serait à préciser en fonction de l'objectif poursuivi (seuils d'étanchéité retenus). En préalable à une éventuelle mise en œuvre, il sera aussi nécessaire d'évaluer le risque juridique pour les gestionnaires et les prescripteurs de déroger aux standards de hauteur de clôtures faunistiques.

Signalons qu'aux USA, une étude montre également qu'une clôture abaissée munie d'un bavolet orienté à l'opposé des animaux (= vers l'extérieur des emprises) permet plus facilement aux cerfs de sortir que de rentrer (*Encart n° 2*). Combiné avec la pente du talus, ce type d'aménagement pourrait également permettre de constituer des échappatoires. Là encore, aucune mise en œuvre en grande nature n'a été rencontrée en France ou à l'étranger.

¹¹⁰ En anglais : « slope jumps ».

¹¹¹ (AZDOT, 2011)

¹¹² (OBrien et al., 2018)

¹¹³ Voir un schéma de AZDOT (2011).

¹¹⁴ (AZDOT, 2011), (AZDOT, 2013a; b) cité par Huijser et al. (2015).

¹¹⁵ (Gagnon et al., 2009) cité par AZDOT (2011).

¹¹⁶ (Payne, 1994) cité par AZDOT (2011).

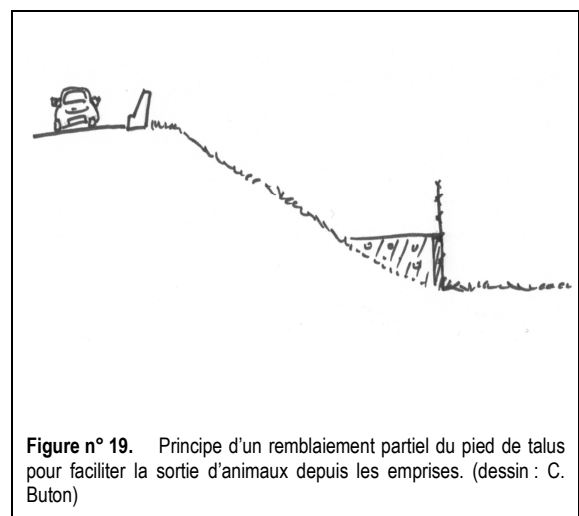
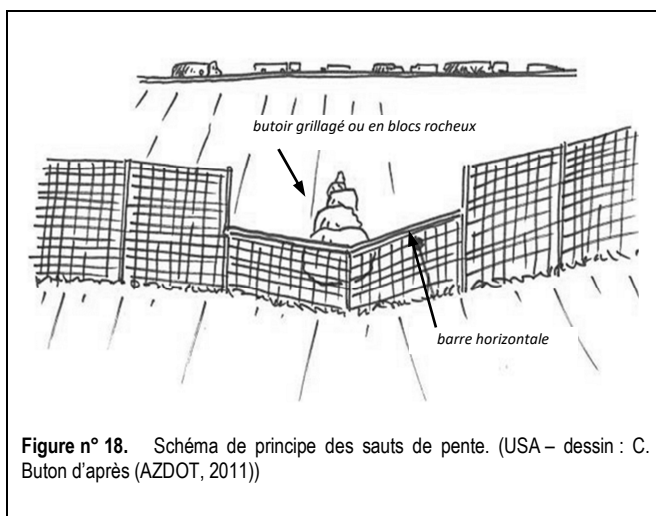
¹¹⁷ (Gagnon et al., 2020)

¹¹⁸ Voir les schémas sur les distances de retrait dans les référentiels français ou suisses par exemple.

Encart n° 2.

En 2008¹¹⁹, des tests ont été réalisés en enclos par enregistrement caméra infrarouge de 12 cerfs de Virginie adultes sous des intensités de stress et de motivation croissantes, ainsi qu'en intégrant des individus "naïfs" (c'est-à-dire n'ayant pas d'expérience de franchissements) et en constituant de façon aléatoire les groupes d'animaux. Les observations et la modélisation par régression logistique ont montré que des clôtures de 2.4 m étaient complètement étanches dans les cas testés¹²⁰ et les bloqueraient donc dans les 2 sens alors qu'une clôture de seulement de 1.2 m avec un bavolet en plastique de 0.6 m incliné à 45° vers l'extérieur des emprises présentait une étanchéité comparable à une clôture de 2.1 m tout en permettant la sortie d'une partie des animaux. Les cerfs ayant déjà réussi des sauts par-dessus la clôture dans de précédentes configurations de tests continuaient même face à un bavolet. Les auteurs indiquent que le choix du dispositif doit dépendre du niveau d'étanchéité visé.

Certains ongulés peuvent rechercher des passages en pied de clôtures¹²¹ ou se rapprocher des clôtures en pied de talus quitte à s'y retrouver coincées alors que les animaux auraient pu tenter de sauter lorsqu'ils étaient situés plus haut dans la pente. En adaptant le principe vu pour les rampes (*Figure n° 13*), il semble possible d'étudier un remblaiement partiel du pied de clôture pour réduire l'obstacle à sauter pour sortir (*Figure n° 19*).



¹¹⁹ (Stull et al., 2011)

¹²⁰ (Stull et al., 2011)

¹²¹ Pour le Chevreuil par exemple : (Meunier, 2000)

4.2 Les dispositifs mécaniques passifs

4.2.1 Les portillons classiques

Les portillons sont des battants ajourés pivotant autour d'un axe vertical, munis d'un ressort de rappel permettant un retour automatique en position fermée, ainsi que de butées anti-retour pour éviter l'ouverture à contre-sens (Figure n° 20). Ils sont destinés aux animaux susceptibles de pousser le battant. En France et en Europe parmi les grands ongulés, les portillons visent le Sanglier et le Chevreuil. En Europe, ce matériel a été rapporté en France (sur deux réseaux autoroutiers) et en Espagne (où les taxons visés restent toutefois à confirmer). A ce stade, ce type de dispositif n'a pas été trouvé en Amérique du nord en dépit des vastes revues déjà disponibles.



Figure n° 20. Portillon double. (France – photo : APRR)

4.2.1.1 Caractéristiques techniques

En France, les portillons peuvent être uniques ou doubles (i.e. 2 battants s'ouvrant vers l'extérieur d'un poteau central). Les réalisations citées sur autoroutes¹²² sont en métal galvanisé. Elles ont des battants de 1.20 à 1.50 m de hauteur sur 1.0 m de large avec des mailles par exemple de 50 x 50 mm. Des efforts ont été menés pour faciliter le basculement vers l'extérieur en réduisant la résistance à l'ouverture (choix du dispositif de charnière ou ressort). Les réalisations citées en Espagne restent à documenter.

4.2.1.2 Mise en œuvre et coûts

Pour les exemples rapportés en France¹²³, les portillons sont préfabriqués par des ateliers de ferronnerie ou par les entreprises de clôtures selon les spécifications du maître d'ouvrage. Les temps de pose cités vont de 0.5 j par équipement jusqu'à 1 à 2 équipements par semaine en intégrant dans ce cas tous les aménagements connexes (brise vue, piège à traces, clôture de guidage, passe amovible, seuil éventuel...). En France, les coûts de fourniture et de pose s'élèvent à environ 1 000 € HT avec 2 000 € HT d'aménagements connexes.

4.2.1.3 Avantages et inconvénients

Points forts cités : en France¹²⁴, il s'agit d'un équipement considéré comme facile à installer et à déposer au besoin pour le changer de site. Jugé fonctionnel à la fois pour le Chevreuil et le Sanglier, il est considéré par certains gestionnaires comme une alternative aux rampes à cervidés si leur pose n'est pas possible pour raisons de sécurité routière.

Points faibles cités : en France¹²⁵, sont rapportées les contraintes d'entretien fréquent de la végétation pour qu'elle ne bloque pas le battant. Le choix du système de fermeture (charnières) et son réglage sont à bien étudier en amont. De façon générale, au niveau européen¹²⁶, le retour d'expérience a pointé ces risques de blocage mais aussi de vieillissement des échappatoires « mécaniques ».

4.2.1.4 Connaissances sur l'efficacité du dispositif

Les études sur l'utilisation de ces dispositifs sont lacunaires. En France, seuls deux gestionnaires ont documenté les potentialités d'utilisation des portillons (Annexe 7). Dans l'étude sur A31 signalée précédemment pour les rampes, de nombreuses sorties sont également attestées par les portillons^{127, 128} mais aucune dans celle sur A89¹²⁹. Concernant une possible utilisation à contresens de ces dispositifs, aucune référence documentaire n'a été identifiée à ce stade ni aucun cas mentionné dans l'enquête.

¹²² Enquête.

¹²³ Enquête.

¹²⁴ Enquête.

¹²⁵ Enquête.

¹²⁶ Rapport COST341 (Iuell et al., 2007).

¹²⁷ Cagniant Th., 2005, Bilan de l'opération pilote menée sur le district d'Allain, APRR.

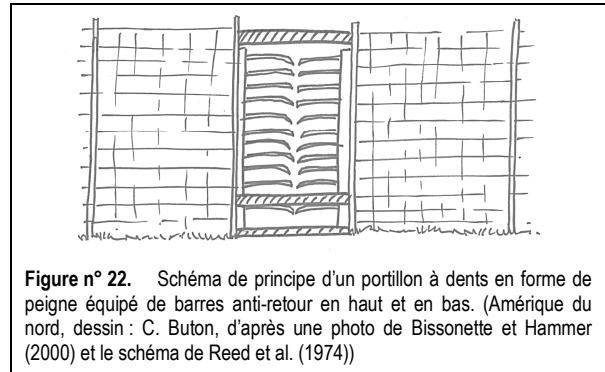
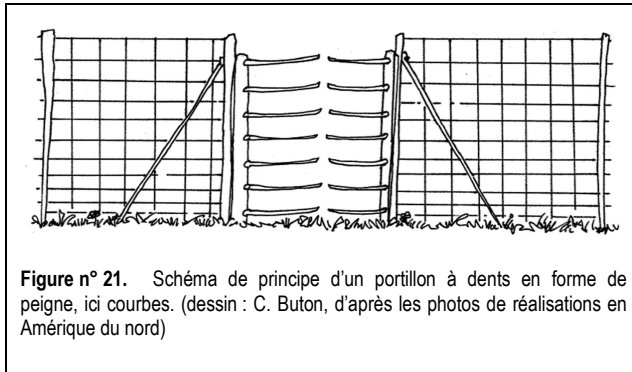
¹²⁸ APRR, Trophées innovation 2007, Expérimentation de sortie des animaux du DPAC, montage ppt.

¹²⁹ Rapport d'étude : OGE, 2011, Suivi bilan de passages grande faune et de dispositifs de sortie pour les ongulés sur l'A89, ASF (extraits).

4.2.2 Les portillons à dents en forme de peignes

4.2.2.1 Principe et espèces ciblées

Il s'agit de système à doubles portillons métalliques en « portes de saloon » où des battants en forme de peigne et montés sur une charnière à ressort s'ouvrent uniquement vers l'extérieur des emprises¹³⁰. Les barreaux de ces peignes peuvent être recourbés vers l'extérieur des emprises clôturées (cela correspond à toutes les réalisations en Amérique du nord¹³¹ : *Figure n° 21*) ou droits (comme dans un unique exemple rencontré en Espagne¹³² et par ailleurs indiqué comme défectueux). Ces échappatoires sont destinées aux cervidés. Ils ont été conçus en Amérique du Nord principalement pour les espèces de Cerf (*Odocoileus* sp.), le Wapiti et l'Élan avec des succès variables. Ce dispositif n'est pas présent en France.



4.2.2.2 Caractéristiques Techniques

Ce dispositif a été développé à partir des années 1970 aux USA¹³³ et a été breveté¹³⁴. La largeur d'ouverture est variable soit environ de 1.0 à 1.5 m¹³⁵. Les réalisations nord-américaines montrent des variantes : avec des dents articulées séparément ou solidarises¹³⁶, avec un inter-barreaudage variable (7 à 9 dents avec des intervalles de 15 à 25 cm, voire environ 40 cm en haut). Dans certains modèles, un espace d'environ 30 à 90 cm sans dents existe en bas remplacé soit par un grillage soit par des barres fixes, pour éviter les blocages par la neige ou la végétation.

4.2.2.3 Mise en œuvre et coûts

(Pas d'information à ce stade, ce type d'échappatoire n'ayant pas été rapporté en Europe, sauf cas ponctuel en Espagne).

4.2.2.4 Avantages et inconvénients

En dehors des contingences de contrôle et d'entretien fréquents déjà cités pour les portillons classiques, les éventuels défauts de conception des dispositifs mécaniques métalliques sont rappelés ici de façon générale : risque de corrosion, de blocage ou d'inadéquation à la faune visée¹³⁷. Il est signalé que selon l'espacement des peignes, des animaux de moindre taille peuvent passer à travers : les risques éventuels entraînés par la présence de certaines espèces dans les emprises sont alors à prendre en compte.

Les risques climatiques sont mis en évidence sur ces dispositifs en Amérique du nord comme celui de blocage par la neige ou le gel et qui nécessite alors une lubrification en hiver avec une « graisse basse température »¹³⁸ ou encore celui de soulèvement et de gauchissement par le gel en hiver¹³⁹. Lors de suivis¹⁴⁰, le risque a aussi été

¹³⁰ D'après (Huijser et al., 2015).

¹³¹ Ce sont les « one-way gates » nord-américains.

¹³² (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

¹³³ (Reed et al., 1974)

¹³⁴ (Reed and Cebula, 1974)

¹³⁵ Voir l'exemple de réalisation donné par Huijser et al. (2015), mais plus étroit sur une photo de Bissonette et Hammer (2000).

¹³⁶ (Huijser et al., 2015)

¹³⁷ (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

¹³⁸ (MTO, 2016 ; Huijser et al., 2015 ; Mc Doland, 1991 cité par Bellefeuille et al. (2004) ; Phillips, 1999).

¹³⁹ (Phillips, 1999 ; Transports Canada, Direction de la sécurité des aéroports, 2002)

souligné que ces sorties ne soient pas identifiées par des animaux stressés : lorsque les automobilistes s'arrêtent pour les observer, ils sont effrayés, se mettent à courir et ne voient pas les barrières à sens unique comme moyen de s'échapper. Ils foncent plutôt dans la clôture jusqu'à ce qu'ils soient épuisés ou qu'ils se blessent, puis ils meurent ou doivent être achevés.

4.2.2.5 Connaissances sur l'efficacité du dispositif

En Amérique du nord, en dépit de plusieurs études sur ce type de portillon depuis 1974 (*Annexe 9*), il ressort d'une vaste enquête récente¹⁴¹ que la plupart des dispositifs installés n'ont pas été évalués en termes d'efficacité et qu'ils ne sont considérés que permettant la sortie d'ongulés de façon marginale. Une revue antérieure¹⁴² indiquait les résultats mitigés d'études sur l'utilisation et l'efficacité des portillons à peignes courbes : si des études les ont trouvés initialement "relativement" efficaces pour permettre aux espèces de cerfs nord-américaines de s'échapper de l'emprise¹⁴³, d'autres ont attesté ensuite d'une utilisation plus minoritaire¹⁴⁴ avec par exemple un taux de sortie de seulement 16 % pour les cerfs¹⁴⁵. Apparemment, certains animaux semblent apprendre à utiliser les barrières, d'autres non. Une partie des cerfs muets refusent d'utiliser les portillons à peignes courbes, avec par exemple une efficacité de passage de seulement 33 à 49 % de ceux qui s'approchent des échappatoires¹⁴⁶. L'efficacité des portillons à peignes courbes varie également selon les espèces : il a été démontré qu'en Ontario, les barrières à sens unique sont utilisées par les cerfs, mais pas par les élans¹⁴⁷ alors que ces derniers les utilisent en Alaska¹⁴⁸.

Enfin, il a été montré que, dans des clôtures de 2.4 m de hauteur, des rampes avec une hauteur de chute de 1.5 m sont utilisées pour sortir des emprises par les cerfs 7.9 à 11 fois plus souvent que les portillons à peignes courbes¹⁴⁹. Les rampes sont nettement plus onéreuses mais beaucoup plus favorables lors de l'analyse coût bénéfice¹⁵⁰ : l'utilisation des portillons à peignes courbes est donc jugée moins pertinente.

En Amérique du nord, les risques de contresens par des cervidés ont été testés dans trois études : les taux de passage à contresens vont de 0 à 6 % selon le design¹⁵¹ et pour les plus grosses espèces (Elan et Wapiti). Les cas de blessures ou de mortalité ont conduit à adapter l'extrémité des peignes de certains dispositifs ou à les protéger¹⁵². Toutefois, si les extrémités des barreaux sont « rebouclées » sur elles-mêmes de façon préventive, des animaux s'y coincent alors les pattes. C'est pourquoi il est désormais recommandé de protéger les extrémités par des disques ou des embouts sphériques (balles) en plastique¹⁵³. Dans certaines réalisations, des traverses horizontales en bois ou en métal sont ajoutées au-dessous des peignes¹⁵⁴ ou au-dessus¹⁵⁵ pour limiter les entrées à contresens (*Figure n° 22*).

¹⁴⁰ (Phillips, 1999), risque également cité par Transports Canada, Direction de la sécurité des aéroports (2002).

¹⁴¹ (Huijser et al., 2015)

¹⁴² (Bissonette and Hammer, 2000)

¹⁴³ (Reed et al., 1974)

¹⁴⁴ (Dodd et al., 2007) sur SR260 cité par AZDOT (2011)

¹⁴⁵ (Lehnert, 1996 ; Lehnert and Bissonette, 1997).

¹⁴⁶ (Bissonette and Hammer, 2000) concordant avec (Lehnert, 1996)

¹⁴⁷ (Healy et Gunson, 2014) cité par MTO (2016)

¹⁴⁸ (<http://www.fs.fed.us/wildlifecrossings/case-histories/other/GlennHighway.php>) cité par MTO (2016)

¹⁴⁹ (Bissonette et Hammer, 2000)

¹⁵⁰ (Hammer, 2001) cité par AZDOT (2011)

¹⁵¹ (Reed et al., 1974) cité par Huijser et al. (2015), (Lehnert et Bissonette, 1997 ; Bissonette et Hammer, 2000)

¹⁵² (Sielecki, 2007) cité par Gagnon (2020), (Sielecki, 2008) cité par Huijser et al. (2015)

¹⁵³ (MTO, 2016) et (Paige, 2015) reprenant (Huijser et al., 2015)

¹⁵⁴ (Bissonette et Hammer, 2000)

¹⁵⁵ (Paige, 2015)

4.2.3 Les trappes

4.2.3.1 Principe et espèces ciblées

Une trappe est une « chatière » relevable dimensionnée pour le passage des animaux ciblés et dont le battant pivote autour d'un axe horizontal (*Figure n° 23*). Pour les ongulés, ces équipements visent en priorité ceux à comportement fouisseur, c'est-à-dire le Sanglier. Une éventuelle utilisation par le Chevreuil serait à investiguer. D'autres animaux (Blaireau, Chien par exemple) peuvent les utiliser.

Pour l'Europe, des trappes ont été rapportées en France et en Espagne ainsi qu'en Belgique et aux Pays-Bas. Toutefois, pour ces deux derniers pays, celles implantées sur des infrastructures de transport sont en réalité destinées en majorité au Blaireau : leur éventuelle utilisation par des ongulés resterait à préciser. En Espagne, la faune visée reste aussi à préciser.



Figure n° 23. Exemples de trappe métallique classique simple ou double. (France – photos : VINCI Autoroutes – réseau Cofiroute à gauche et réseau ASF à droite)

4.2.3.2 Caractéristiques techniques

La conception de ces trappes est très diverse : le battant peut être vertical ou incliné, ajouré ou plein (exemple en Espagne), en métal traité ou non anti-corrosion (galvanisation ou thermo-laquage), avec des mailles de remplissage de taille variable, équipé ou non de divers systèmes pour contrecarrer les retours, voire de contrepoids pour faciliter la bascule (*Figure n° 24*). Des prototypes proposent aussi des battants en plexiglas transparent perforé (prototypes SKP posés seulement de façon unitaire en Espagne à notre connaissance). En France, les trappes peuvent être uniques ou doubles (2 trappes s'ouvrant de part et d'autre d'un poteau central). Sur des modèles classiques, le battant vertical fait de l'ordre de 1 à 1.2 m de large sur 1 à 1.2 m de haut.

Historiquement, de nombreuses réalisations « artisanales » pâtissaient de défauts de conception, de pose et de corrosion. Les réalisations les plus récentes et standardisées à l'échelle de fabricants ou de certains réseaux visent à corriger ces défauts et optimiser la qualité.

Encart n° 3. Un exemple de développement spécifique

Il s'agit ici de présenter un exemple de développement en lien avec des objectifs techniques et faunistiques spécifiques. Une trappe monobloc Sangli-pass (*Figure n° 25*) a été développée sur le réseau Escota – VINCI Autoroutes pour permettre le passage des sangliers tout en limitant les risques d'entrée à contresens dans des contextes de forte fréquentation animale comme dans le Sud-est de la France. Le dispositif comprend un seuil métal anti-fouissage et revêtu de faux-gazon, des ailes latérales internes et externes, un battant anti-retour courbe et incliné, et qui ne dépasse pas des ailes pour limiter les points de prise. Sa conception visait aussi à faciliter la pose (monobloc prêt à poser par simple ancrage au sol) et à limiter l'entretien. Il résulte de ce cahier des charges une trappe avec une ouverture relativement étroite (hauteur 860 x largeur 620 mm), qui limite aussi un peu la tentation d'entrées humaines à contresens. Les observations en enclos ont conduit à ménager des espaces entre battant et montants pour inciter l'animal à investiguer le dispositif. La finition mate vise à réduire une éventuelle gêne de l'animal par des reflets. L'équipement est donné pour des sangliers jusqu'à 90 kg environ. Ce serait à tester au-delà et à comparer avec la typologie des animaux rencontrés dans les emprises et/ou les massifs alentours. Le retour d'expérience donne lieu à des évolutions ponctuelles périodiques : amélioration des charnières, patins amortisseurs en caoutchouc fibrés plus pérennes, recours à une visserie inoxydable. Des questionnaires¹⁵⁶ notent que le renfort du battant et sa dimension le rendent plus lourd à actionner que les trappes verticales classiques, toutefois des sorties régulières sont attestées¹⁵⁷. Il n'y a pas eu de comparaison avec d'autres dispositifs.

¹⁵⁶ Enquête.

¹⁵⁷ Enquête.



Figure n° 24. Prototype de trappe à battant plein en plexiglas perforé et contrepoids. (Espagne – photo : SAITEC)



Figure n° 25. Trappe monobloc particulière : dispositif Sangli-pass. (France - photo : IMPCF - VINCI Autoroutes / ESCOTA)

La majorité des trappes en place est actuellement conçue avec des barreaux solidaires. De rares dispositifs ont été mentionnés avec des barreaux indépendants¹⁵⁸ et ce principe avait été testé au Centre d'Etudes Biologiques de Chizé¹⁵⁹ (Annexe 10).

Enfin, signalons les très nombreux systèmes de grilles et plaques basculantes posées classiquement sur les fossés traversant les clôtures en pied de remblai, dans un objectif hydraulique (i.e. laisser passer l'eau sans laisser rentrer les animaux) et avec des succès variables (embâcles, etc.). La question se pose de savoir s'ils peuvent faire office d'échappatoire faunistique sous certaines conditions.

4.2.3.3 Mise en œuvre et coûts

La fabrication est faite par des entreprises spécialisées, par les entreprises de clôtures ou en encore ou par les équipes internes des gestionnaires de réseaux¹⁶⁰. Des brevets existent sur des modèles particuliers : SKP, Sangli-pass.

Pour des trappes classiques livrées prêtes à poser, les temps de pose cités vont de 0.5 j par équipement jusqu'à 1 à 2 équipements par semaine en intégrant dans ce cas tous les aménagements connexes : brise vue, piège à traces, clôture de guidage, passe amovible... L'équipe de pose comprend 2 à 3 personnes avec outillage à main et mini-pelle. Des fournisseurs¹⁶¹ proposent des modèles adaptables directement au grillage et fixés sur poteaux à linguets et embases. La conception monobloc et l'ancrage possible du Sangli-pass par des broches adaptées¹⁶² tendent à réduire la mise en œuvre jusqu'à moins de 2h à 2 personnes hors configurations particulières, pose des brandes ou mise en œuvre d'une dalle béton (1j par équipement sur RD75 par exemple). SAITEC évoque des temps de pose et des besoins de moyens également réduits pour son prototype.

En France, les coûts cités pour la fourniture et pose sont par exemple :

- pour les trappes classiques : de 700 à 1 300 € HT selon que le matériel est fabriqué et posé en interne ou par une entreprise extérieure. Ces coûts incluent 40 % de fourniture et 60 % de pose,
- pour le Sangli-pass : la fourchette de prix livré posé varie selon les quantités soit environ de 1 700 à 3 500 €HT y compris les brandes latérales mais hors pose de butoir ou d'aménagements spécifiques éventuels dans des configurations compliquées.

4.2.3.4 Avantages et inconvénients

Points forts cités : en France¹⁶³, les trappes classiques sont considérées comme faciles à produire et à installer. La légèreté de certains modèles facilite leur transport. Ces équipements sont par ailleurs « autonomes » en ce qu'ils fonctionnent par gravité et ne nécessitent pas de réarmement après la sortie d'un animal. Ils permettent en

¹⁵⁸ (Buton et Ghis, 2009) d'après communications du CETE de l'Est.

¹⁵⁹ (Meunier, 2000)

¹⁶⁰ Enquête.

¹⁶¹ Voir catalogue Maxilor par exemple.

¹⁶² Des orifices de part et d'autre de la trappe permettent d'insérer des broches qui se déploient en terre lorsqu'un martyr de frappe est percuté. Il s'agit d'un dispositif d'ancrage rapide à mettre en œuvre et ne nécessitant pas de béton par exemple.

¹⁶³ Enquête.

théorie de faire passer plusieurs animaux à la file. Certains comme le Sangli-pass ont montré lors de tests leur résistance aux intrusions à contresens, par des animaux seuls ou en groupe¹⁶⁴.

Points faibles cités : comme pour les portillons, en France¹⁶⁵, Espagne¹⁶⁶ et Pays-Bas¹⁶⁷, il est rapporté les contraintes d'entretien fréquent de la végétation. En Espagne¹⁶⁸ et Pays-Bas¹⁶⁹, il est signalé des risques de corrosion par défauts de conception ou lorsque la couche de protection est endommagée (par exemple par un fauchage mécanique). Enfin, les caractéristiques inadaptées de certaines réalisations peuvent les rendre inefficaces¹⁷⁰.

Points de vigilance particuliers : il est nécessaire de vérifier l'absence de déchets pouvant bloquer le battant ou gêner l'accès de l'animal voire d'éviter la mise en œuvre dans certains sites où le phénomène se répète (par exemple une accumulation de déchets dans un point bas particulier ou poussés par le vent dans un angle de clôture¹⁷¹). Des battants peuvent être bloqués par la neige¹⁷². Des dispositifs dépassant des clôtures (Sangli-pass) peuvent aussi être endommagés lors du passage d'engins agricoles trop près des ailettes de protection latérales externes : ce facteur est à prendre en compte lors de la localisation.

4.2.4 Connaissances sur l'efficacité du dispositif

En France, des données attestent de l'utilisation de trappes classiques. Sur A89 et A87, les premiers résultats du suivi par piège photographique et pièges à empreintes de 10 trappes de 2018 à 2020 montrent le passage avéré de sangliers et celui probable d'un chevreuil (d'après les empreintes).

Pour le Sangli-pass, le retour d'expérience est surtout issu du réseau ESCOTA (*Annexe 11*). Des passages ont été attestés dans au moins 3 départements lors des suivis par pièges à traces réalisés par les Fédérations de chasse de 2010 à 2013. Des données fortuites sont également collectées. De 2010 à début 2019, au moins 20 sorties par des Sangli-pass ont eu lieu et relatives à un effectif de 28 à 36 sangliers, certaines sorties concernent le même dispositif. La pose de ce dispositif sur d'autres réseaux est uniquement ponctuelle : aucun franchissement n'y est rapporté.



Figure n° 26. Exemple de pièges à traces pour le suivi de l'utilisation d'échappatoires. (France - photo : CEREMA Ouest JF. Bretaud)



Figure n° 27. Suivi de franchissement d'une double trappe par piège photographique. (France – photo : FDC19 - VINCI Autoroutes / ASF)

En Espagne, sur lignes ferroviaires à grande vitesse, le suivi de différents systèmes d'échappatoires mécaniques et de rampes a donné des résultats jugés très médiocres¹⁷³ (les rapports d'études restent à demander). Le gestionnaire suggère que sur lignes à grande vitesse, le comportement des animaux pourrait différer de ceux pénétrant dans des emprises autoroutières, peut-être en raison d'une perturbation plus continue sur ces dernières. Pour mémoire, des tests ont été réalisés sur des prototypes SKP implantés sur des clôtures

¹⁶⁴ Enquête, (Beroud et Buton, 2013)

¹⁶⁵ Enquête

¹⁶⁶ (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

¹⁶⁷ cité par Wansink, D.E.H, et al. (2013) dans le cas des trappes à blaireaux mais a priori généralisable aux autres types de dispositifs à battant

¹⁶⁸ (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

¹⁶⁹ cité par Wansink, D.E.H, et al. (2013) dans le cas des trappes à blaireaux mais généralisable donc a priori aux autres types de dispositifs à battant

¹⁷⁰ (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

¹⁷¹ Enquête, (Beroud and Buton, 2013).

¹⁷² (Beroud and Buton, 2013)

¹⁷³ Enquête.

d'infrastructures en cours de construction. Ce prototype vise à optimiser les grilles ou plaques basculantes posées classiquement au franchissement des fossés béton. Il est raccordé au-dessus de la cunette par un caillebotis métal horizontal : les tests réalisés avec des chiens montrent l'intérêt de limiter au maximum sa largeur car les chiens hésitent au départ à passer sous le caillebotis ou bien montent dessus sans accéder à la trappe. Les tests ont été conduits uniquement avec des chiens. Nous n'avons pas connaissance d'autres mises en œuvre ni de la poursuite des suivis.

Aucune référence documentaire n'a été identifiée à ce stade ni aucune information sur l'existence de passage à contresens par des trappes classiques. Compte tenu d'un développement spécifique pour des régions à forte densité de sangliers aux abords proches des infrastructures, le Sangli-pass a fait l'objet de tests à contresens qui ont été concluants (*Encart n° 4*).

Encart n° 4. Tests du Sangli-pass à contresens

En 2012, des tests de franchissements à contresens ont été réalisés en parc d'élevage par la FDC84 pour ESCOTA. Dix sangliers de 8 à 110 kg ont été présentés à contresens dans des enclos de contention et des cages de reprise : **aucun franchissement n'a été observé en dépit d'investigations ou de sollicitations fortes (chocs) par certains animaux très actifs ou agressifs, y compris lorsqu'ils étaient à plusieurs (2 femelles) ou après un relevage artificiel partiel du battant (par une pierre) ou en conditions forcées.**

En 2010, lors des suivis par traces, la FDC84 observe dans une parcelle en terre en bordure d'autoroute les traces de 3 sangliers venant de l'extérieur, dont un animal de plus de 80 kg. Ils sont allés directement à la sortie de l'échappatoire, « certainement attirés là par les odeurs attractives émanant du dispositif. Leurs traces indiquent clairement qu'il n'y a pas eu d'errements dans leur approche. Venant à contresens, ils n'ont pas franchi le dispositif malgré une reconnaissance très avancée (les traces de pas viennent jusque sur le seuil de sortie) ». Le compte-rendu conclut que cette observation témoigne d'un dispositif sûr qui ne remet pas en cause la sécurité de l'ensemble.

4.3 Les dispositifs mécaniques actifs

4.3.1 Les sas d'extraction

4.3.1.1 Principe et espèces ciblées par le dispositif

Il s'agit d'un dispositif de type « cage ouverte » où la percussion d'un fil rendu en travers du passage par un animal déclenche mécaniquement la fermeture gravitaire des deux portes aux extrémités et le relevage d'une trappe de sortie latérale. Il ne s'agit pas de « piégeage » car à aucun moment les animaux ne sont bloqués dans le dispositif¹⁷⁴. Cette échappatoire vise prioritairement le Sanglier et le Chevreuil (potentiellement le Chien). Ce dispositif n'est mentionné qu'en France (sur autoroutes et lignes ferroviaires à grande vitesse).



Figure n° 29. Vue du sas Faun'Trap armé avec les trappes d'entrée relevées et la trappe de sortie fermée. (France – photos : C. Buton)



Figure n° 30. Sortie en cours d'un sanglier par un sas Faun'Trap. (France – photo : FDC42 - VINCI Autoroutes / ASF)

4.3.1.2 Caractéristiques techniques

Le dispositif est en forme de couloir de 3 m de long pour 1 m de large et 1.20 m de haut, dont le cadre métallique est habillé avec du grillage soudé progressif. L'ensemble est en acier galvanisé. L'orifice de fuite mesure 50 cm de largeur sur 60 cm de hauteur, découpé dans la clôture. La hauteur du fil de déclenchement est réglable. Un système de sécurité empêche le relèvement manuel de la trappe de sortie depuis l'extérieur pour éviter des intrusions humaines. Après déclenchement, le dispositif doit être réarmé manuellement (ce qui est aussi possible depuis l'extérieur des emprises). L'information du déclenchement est donnée soit par piège photographique avec renvoi des photos sur smartphone, soit par détecteur de déclenchement.

4.3.1.3 Mise en œuvre et coûts

Il s'agit d'un équipement breveté. Le coût de fourniture est de 1 320 € HT. L'installation pour deux techniciens demande environ 4 h. L'équipement nécessite un suivi encadré par une convention (25 € HT / piège / semaine)¹⁷⁵.

4.3.1.4 Avantages et inconvénients

Exploitants et développeurs¹⁷⁶ soulignent la facilité d'installation et de déplacement au besoin : il est par exemple possible de réfléchir à une nouvelle implantation en fonction de son efficacité sur un site après chaque période de 6 mois. Le point faible rapporté¹⁷⁷ concerne les moyens humains nécessaires à l'entretien périodique de la végétation, au suivi des déclenchements et au réarmement du dispositif (suivi par un opérateur sous convention).

4.3.1.5 Connaissances sur l'efficacité du dispositif

Les suivis ont montré l'efficacité du dispositif (Figure n° 30). En France, les suivis par pièges photographiques menés par la FDC42 sur A72 et A89 attestent de l'utilisation du dispositif par les ongulés avec la sortie de 72 chevreuils et 11 sangliers (ainsi que 5 chiens et 7 animaux indéterminés) de 2012-2018. Le suivi pointe l'importance des échanges réguliers avec l'exploitant afin de pouvoir déplacer les sas sur les zones les plus fréquentées par les animaux. Aucune mention de passage à contresens n'a été rapportée.

¹⁷⁴ FDC42, 2018, Un sas pour extraire les animaux prisonniers dans les emprises de circulation, Faun-Trap, montage ppt.

¹⁷⁵ FDC42, coûts 2022.

¹⁷⁶ Enquête, FDC42.

¹⁷⁷ Enquête, FDC42.

4.3.2 Les portails déclenchés automatiquement par l'animal

La bibliographie¹⁷⁸ signale des portails automatiques activés électroniquement par l'approche de l'animal avec ouverture en dehors de la vue de l'animal pour ne pas l'effrayer et fermeture 2 mn après détection. A ce stade, les réalisations restent à investiguer.

4.3.3 Les portails à ouverture manuelle

Des portails peuvent être ouverts par les gardes ou les équipes de maintenance pour faire sortir un animal. L'animal peut être laissé libre de ses déplacements ou contraint (« poussé ») par les agents qui marchent vers lui.¹⁷⁹

En Amérique du nord, les portails à double vantail sont considérés plus efficaces que les simples pour les mammifères les plus gros (wapiti et élan)¹⁸⁰. Cela pourrait selon nous être conditionné entre autres par la largeur d'ouverture.

¹⁷⁸ (Gagnon et al., 2010) cité par Huijser et al. (2015), suggestion également de AZGFD (non daté).

¹⁷⁹ voir par exemple (Huijser et al., 2015 ; Clevenger and Huijser, 2011), enquête, communications personnelles sur COFIROUTE, ESCOTA, etc.

¹⁸⁰ (Clevenger et Huijser, 2011)

5 LES AMENAGEMENTS CONNEXES COMMUNS AUX DIFFERENTS DISPOSITIFS

5.1 Butoir

Il s'agit d'un dispositif de guidage aménagé dans les emprises. L'objectif est de rabattre les animaux circulant dans les emprises jusqu'à l'échappatoire : entrée de portes ou de trappes ou bien jusqu'à la zone de saut en haut de rampe. On regardera aussi l'incidence du tracé général des clôtures (*voir point 6.3.3*)

En France, les butoirs sont souvent réalisés en clôture et font de 8 à 15 m de long. Une longueur accrue est considérée comme favorable à l'utilisation des portillons. Leur hauteur est variable (1 à 2 m selon l'espèce visée). Le traitement des ancrages et de l'étanchéité au sol y est souvent plus léger que sur les clôtures faunistiques car l'objectif est uniquement de rediriger un animal vers l'échappatoire. Le butoir peut être droit ou, s'il est court, se terminer à l'opposé de l'échappatoire par un retour en angle pour tenter de limiter son contournement par l'animal (*Figure n° 31*). Parmi les dispositifs mécaniques, les portillons doubles sont généralement équipés d'une clôture de renvoi perpendiculaire à la clôture existante et raccordée sur le poteau central entre les deux battants : un animal longeant les emprises et arrivant d'un côté ou de l'autre du butoir peut être dirigé (s'il part du bon côté) vers l'un des deux battants. Est citée la possibilité (non expérimentée à ce jour) de réaliser une petite palissade ou une barrière en bois formant un rail de guidage vers l'échappatoire¹⁸¹. Sur les rampes, les butoirs sont posés le cas échéant jusqu'en crête.



Figure n° 31. Exemples de butoir grillagé, à gauche : butoir court avec un retour en angle, à droite : butoir long sans retour avec ou sans angle. Flèche blanche : échappatoire. (France – photos : OGE - VINCI Autoroutes / ASF)

Ces butoirs sont régulièrement recommandés par les maîtres d'œuvre internes, les naturalistes ou conseillers cynégétiques notamment lorsque les échappatoires sont placées sur des clôtures rectilignes. Toutefois, certains gestionnaires les jugent trop contraignants pour la circulation des engins de fauchage dans les emprises, raison pour laquelle d'autres y intègrent une passe américaine¹⁸². Certains gestionnaires sont également réticents à ce que les butoirs s'approchent trop du tracé pour des raisons de sécurité (renvoi des espèces vers l'infrastructure, contraintes de cheminement de piétons).

Des grillages de guidage peuvent également être posés parallèlement à la clôture faunistique afin de former un couloir aboutissant à l'échappatoire (par exemple, cas d'une trappe posée dans un angle de clôture : *Figure n° 32*). Une configuration test a aussi été rapportée avec deux trappes posées en décroché sur une clôture linéaire au milieu d'un tel couloir grillagé (*Figure n° 33*).

En Espagne, il est fait mention de dispositifs courts (« micro-butoirs ») de 1 à 2 m d'après photos¹⁸³ et posés entre deux trappes) réalisés avec des matériaux divers (pans de clôtures souples ou rigides, panneaux métalliques pleins). Ces dispositifs concernent notamment des moyens carnivores¹⁸⁴ mais l'éventualité de leur utilisation par les ongulés (notamment le Sanglier) serait à interroger.

¹⁸¹ Enquête.

¹⁸² Enquête.

¹⁸³ Photos de SAITEC sur wcproject.eu, (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

¹⁸⁴ (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

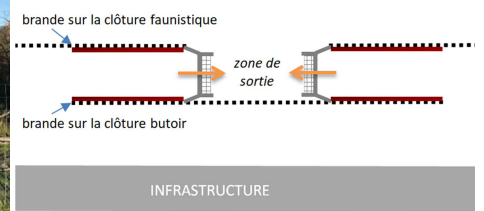
En Amérique du nord, sur les rampes, le butoir peut être une clôture¹⁸⁵ ou une barrière en bois¹⁸⁶. Un schéma¹⁸⁷ spécifie également des renvois en rochers (dans ce cas, la mise en œuvre effective resterait à préciser). Sur les dispositifs mécaniques (portillons à peignes), une réalisation montre un butoir en clôture métallique¹⁸⁸.



Figure n° 32. Exemple de trappe posée en fond de couloir grillagé. (France – photo : VINCI Autoroutes / Cofiroute)



Figure n° 33. Exemple de couloir à double trappe (flèches blanches). (France – photo et schéma : C. Buton)



En Amérique du nord, Siemers et al. (2015) ont montré que le taux de sortie des cerfs muets par des rampes était meilleur avec une clôture de renvoi, ce qui semble devoir encore être approfondi¹⁸⁹ pour déterminer les caractéristiques optimales selon les espèces.

5.2 Haie de guidage

En France, pour les rampes, il est parfois suggéré¹⁹⁰ la plantation de haies d'essences locales à l'intérieur des emprises et parallèles à la clôture afin de servir de guidage et d'écran masquant le trafic : aucune réalisation n'a cependant été identifiée. Lorsque les échappatoires ont été positionnées en retrait de haies préexistantes, c'est un facteur qui est jugé favorable¹⁹¹. Si ces haies ne sont pas interrompues au niveau du butoir, elles peuvent aussi limiter le risque que l'animal le contourne (*Figure n° 34*).

Pour les haies, il semble toutefois difficile de dissocier spécifiquement ce qui influe sur le comportement de l'animal : le rôle d'abri qui peut inciter éventuellement les animaux à s'y diriger pour se mettre à couvert ou celui de guidage physique vers une échappatoire.

Un risque souligné dans l'enquête est d'ailleurs que, si ces haies sont trop larges, elles puissent servir alors de refuges. Par ailleurs, ces haies plantées ou spontanées ne doivent pas gêner l'accès de la faune aux échappatoires : par exemple, la présence de ronciers denses sur les rampes même est considérée comme négative car empêchant le passage des chevreuils.

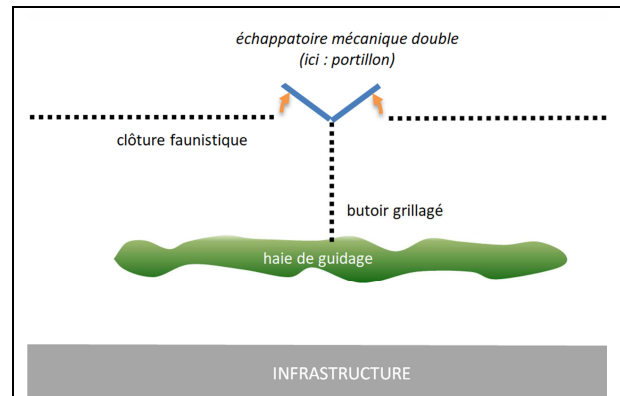


Figure n° 34. Principe d'une haie servant à la fois d'écran et de guidage : elle évite que l'animal contourne le butoir. (France - dessin : C. Buton adapté d'un schéma de Th. Cagniant - APRR)

¹⁸⁵ (Bissonette et Hammer, 2000)

¹⁸⁶ Exemples photos sur https://wcproject.eu/wildlife_crossings/file?json=eyJwYXRoIjoizMlsXZXMvNjAyLzYwMi5qcGciLCJhdHRhY2htZW50IjpmYWxzZX0 ou https://line.17qq.com/articles/hqrrhcahx_p4.html.

¹⁸⁷ (AZDOT, 2011)

¹⁸⁸ Par exemple (MTO, 2016).

¹⁸⁹ (Huijser et al., 2015)

¹⁹⁰ Enquête.

¹⁹¹ Enquête : OGE pour ASF.

5.3 Accentuation de l'effet brèche

Il s'agit de réaliser une « brèche » visuelle en occultant la clôture de part et d'autre de l'échappatoire. En France, ces dispositifs ne sont pas posés systématiquement. Des exemples font état de brandes naturelles, de bâches synthétiques et, ponctuellement, de palissades. Pour les brandes, la qualité et l'épaisseur des panneaux conditionnent leur pérennité et leur opacité à terme mais cela nécessite selon notre expérience une éventuelle adaptation des supports compte tenu du poids accru. Au-delà des aspects environnementaux (absence de résidus plastiques) et de la meilleure intégration écologique des brandes, il ne semble pas que l'incidence de la nature de l'écran ait été testée. Parfois, il est tiré profit de la végétation existante déjà de part et d'autre sur la clôture. Ces dispositifs écrans sont surtout mis en œuvre de part et d'autre des dispositifs mécaniques (*Figure n° 23 - Figure n° 32*) et de façon plus anecdotique semble-t-il pour les rampes (1 cas mentionné avec des branches posées sur le butoir grillagé montant sur la rampe).

5.4 Attractifs

L'objectif initial des attractifs est de renforcer la détection des échappatoires par des animaux qui cherchent à sortir, en éveillant leur attention uniquement lorsqu'ils passent dans les emprises à proximité mais sans solliciter de loin ceux qui seraient présents à l'extérieur. Sur le principe, lorsqu'ils sont utilisés, ces attractifs sont positionnés hors des clôtures pour inciter à sortir ou à activer le dispositif mécanique mais aussi dans les emprises pour inciter des animaux qui longeraient les grillages à venir « faire un détour » ou marquer un arrêt devant le dispositif.

En France, aux abords de trappes ou portillons, des pierres à sel ou du goudron de Norvège (ou similaire) sont parfois mis en œuvre à l'extérieur. La possibilité d'étudier l'agrainage a été suggérée lors de l'enquête sans que sa mise en œuvre effective soit rapportée. *Ceci nous semble toutefois devoir attirer la plus grande vigilance pour ne pas entraîner une concentration d'animaux et une sur-sollicitation des clôtures ou de l'échappatoire depuis l'extérieur.* Il a également été suggéré¹⁹² la pose de fèces, ainsi que la création de souilles en eau (pour les sangliers) mais sans exemple identifié de réalisation.

De 2010 à 2012, des essais avec des produits odorants ont été faits sur A8, A51 et A52 avec les Fédérations Départementales des Chasseurs et l'Institut Méditerranéen du Patrimoine Cynégétique et Faunistique. Selon leur pouvoir d'attraction, les produits ont été mis à l'intérieur ou hors des emprises : pieu enduit de goudron de Norvège ou équivalent et « souille sèche » avec crud d'ammoniac dans les emprises et spray concentré de crud d'ammoniac et goudron aromatisé hors emprises. Leur rémanence est variable selon leur nature. Les argumentaires remis¹⁹³ insistent sur la vigilance à avoir quant à la densité des animaux dans les milieux avoisinants. Le positionnement des attractifs est également à réfléchir pour limiter l'endommagement des échappatoires par les animaux. A dires d'expert, la mise en œuvre d'attractifs était dans ce cadre jugée intéressante mais non déterminante ce qui rejoint les conclusions du retour d'expérience confié en 2013 au bureau AIRELE sur 13 Sangli-pass ayant connu des sorties de sangliers¹⁹⁴ : les visites de sites et entretiens menés concluent à l'absence de rôle déterminant pour ces attractifs. En pratique, ces attractifs n'ont pas été renouvelés et ne sont plus mis en œuvre dans les réalisations récentes. La vigilance doit être attirée sur les risques liés à des attractifs trop puissants ou à longue portée : sursollicitation des clôtures et des échappatoires, attraction d'animaux éloignés (a fortiori p. ex. dans un contexte de Peste Porcine Africaine).

En l'état actuel des connaissances, il apparaît encore difficile de recommander de tels dispositifs.

5.5 Seuil ou plateforme minéralisée

En France, pour les trappes ou portillons, l'objectif peut être triple¹⁹⁵ : la création d'un bac à sable (« revoir ») en entrée et sortie du portillon permet le contrôle rapide des traces d'animaux et de freiner la pousse de la végétation. Ailleurs, cela est parfois réalisé par la mise en œuvre d'un seuil béton. Il a été rapporté que ce sable

¹⁹² Enquête.

¹⁹³ Enquête.

¹⁹⁴ (Airele, 2013)

¹⁹⁵ Enquête.

visait aussi à accentuer l'effet brèche en faisant ressortir l'échappatoire aux yeux de l'animal (sable plus clair que l'environnement naturel). La gêne éventuelle pour les ongulés d'un revêtement béton au franchissement d'une échappatoire reste à documenter.

5.6 Equipements anti-intrusion de petite et moyenne faune

Les échappatoires mécaniques destinées à la grande faune peuvent laisser entrer à contresens des espèces plus petites selon la taille des mailles et des espaces vides. Aux USA, ce point a été soulevé pour les barrières à sens unique¹⁹⁶. Au besoin, si des échappatoires sont implantées dans des secteurs où les clôtures visent à exclure des espèces de petite ou moyenne faune, il est nécessaire d'étudier la possibilité de les équiper d'un dispositif qui leur soit étanche mais qui ne gêne pas la sortie des ongulés.

¹⁹⁶ (MTO, 2016)

6 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES RENCONTRÉES

6.1 Sur l'efficacité des dispositifs – « qu'est-ce qui marche ? »

L'utilisation effective par des ongulés d'échappatoires des différents types est avérée. Des sorties d'ongulés sont prouvées pour chaque principe mais, au sein de chaque modalité, des équipements particuliers peuvent être inutilisés ou inutilisables en raison de défauts de conception ou de défauts d'entretien. Nous verrons cependant plus loin que la caractérisation d'une efficacité va au-delà de la constatation ou non d'un franchissement.

De nombreux équipements en place ne font pas l'objet de suivi. Certains le sont ou l'ont été de façon temporaire. Dans les suivis, les données de passage sont peu contextualisées (contextes écologiques, dynamique des populations, etc.) et le comportement des animaux non documentés (essais, retours sur un même site, etc.). La diversité des conceptions au sein de chaque type ainsi que des conditions de mise en œuvre limite par ailleurs la comparaison des résultats de suivis d'utilisation entre chaque dispositif. Certains suivis sont en cours (en France notamment) et leurs résultats resteront à intégrer (hors ESCAPE XXL).

Les principales références scientifiques en Amérique du nord¹⁹⁷ confirment que, de façon générale, l'installation d'échappatoires est « susceptible d'être bénéfique »¹⁹⁸ à la faune pour quitter les infrastructures routières. Ceci semble légitimer le fait que les échappatoires sont largement préconisées dans un large éventail de publications scientifiques ou techniques : revues documentaires, guides techniques officiels ou d'initiative privée, études de projet ou d'impact menées dans le cadre de demande d'instruction réglementaire en préalable à des travaux.

Les travaux récents de la Conférence Européenne des Directeurs des Routes tempèrent cependant cette recommandation lorsque l'entretien des échappatoires ne peut être garanti dans le temps¹⁹⁹.

Si l'on veut comparer les différents dispositifs entre eux, il faut intégrer à la fois les données d'efficacité avec les avantages et inconvénients listés précédemment dans des analyses bénéfiques / coûts formalisées. Ces données d'efficacité sont encore lacunaires pour les espèces européennes. Aux USA, où l'investissement scientifique a été plus poussé, des grilles ont été proposées^{200, 201} en attirant l'attention toutefois sur le manque de données (Tableau n° 3).

	Efficacité à faire sortir des animaux des emprises	Coût relatif	Possibilité d'utilisation en rattrapage ²⁰² d'infrastructures existantes	Sensibilité au choix du site	Applicabilité globale
rampes	moyenne à élevée	moyen à élevé (selon taille)	faible à moyenne (selon taille)	moyenne	moyenne à élevée (selon taille)
sauts de pente	faible à moyenne	faible	élevée	élevée	faible à moyenne
rampes sur mur de soutènement	moyenne	faible	élevée	élevée	élevée
portillons à peignes courbes	faible	moyen	élevé	élevé	faible

Tableau n° 3. Proposition de synthèse des critères d'évaluation par dispositif (compilé de AZDOT, 2011 ; Huijser et al., 2015 et Gagnon et al., 2020)

Il reste donc difficile de définir à ce stade au sein de divers dispositifs une « meilleure pratique » au sens de Huijser et al. (2015) comme étant la « *méthode ou technique ayant constamment donné des résultats supérieurs à ceux obtenus par d'autres moyens et qui est utilisée comme référence* », meilleure pratique qui peut d'ailleurs être améliorée ensuite au gré des découvertes. C'est peut-être pourquoi certains états²⁰³ recommandent toujours de combiner les équipements en indiquant que l'utilisation des deux mesures d'évasion peut s'avérer une stratégie efficace pour de multiples espèces²⁰⁴. Très récemment aux USA, une étude conclut à une efficacité substantiellement supérieure des rampes sur les sauts de pente dans le contexte de l'Arizona²⁰⁵.

¹⁹⁷ (Littlewood et al., 2020) qui analyse une partie des références intégrées dans l'étude ESCAPE XXL.

¹⁹⁸ En anglais dans le texte : « likely to be beneficial ».

¹⁹⁹ (Rosell et al., 2020)

²⁰⁰ AZDOT (2011)

²⁰¹ (Huijser et al., 2015).

²⁰² En anglais dans le texte : « retrofit ».

²⁰³ Comme MTO (2016) pour l'Ontario.

²⁰⁴ Exemple en Ontario sur la Route 11 avec des barrières à sens unique et des rampes (Healy et Gunson, 2014).

²⁰⁵ (Gagnon et al., 2020)

6.2 Sur le contrôle et l'entretien

Pour tous les dispositifs, de façon consensuelle, tout démarre par une vérification de la qualité de la réalisation (depuis la conception jusqu'à la pose) puis est conditionné par la vérification périodique du matériel et la maîtrise de la végétation.

Bien que les premiers puissent entraîner les seconds, il faut distinguer les défauts menaçant par exemple la pérennité ou la stabilité de la réalisation (par exemple des rampes), de ceux pouvant altérer son utilisation par la faune. Il est par ailleurs nécessaire d'assurer l'étanchéité de la clôture, tout particulièrement à son raccord de part et d'autre de l'échappatoire. Ces points soulignent l'importance d'associer à la conception et au suivi des travaux une expertise naturaliste locale²⁰⁶.

Pour chaque dispositif, **il est nécessaire de contrôler périodiquement la fonctionnalité de chaque équipement et d'entretenir la végétation en entrée et sortie afin d'assurer cette fonctionnalité et l'accès aux dispositifs.** Il s'agit ainsi d'une part d'assurer le rôle de l'équipement dans la sécurité des infrastructures concernées c'est-à-dire son rôle de barrière pour des espèces provenant de l'extérieur et par exemple d'éviter que le dispositif mécanique reste bloqué en position ouverte. Il s'agit bien évidemment aussi de maintenir à long terme sa fonction de sortie pour la faune. Ceci nécessite un engagement à long terme^{207, 208}.

Enfin l'entretien doit également tenir compte du développement de la végétation à l'intérieur des emprises pour éviter de créer des zones refuges attractives pour la faune²⁰⁹. Les animaux pourraient alors à la fois chercher à y pénétrer (si c'est cette fonction refuge qu'ils recherchent) puis, une fois à l'intérieur, s'y cantonner. Cela peut alors contrecarrer l'utilité des éventuelles échappatoires.

Ces axes de vigilance sont soulignés de façon unanime en Europe et en Amérique du nord et la Conférence Européenne des Directeurs des Routes statue clairement que les échappatoires qui ne peuvent pas être maintenues sont à déposer²¹⁰. Il semble alors pertinent d'investiguer les enjeux sur le plan administratif ou réglementaire pour le gestionnaire dès lors que d'éventuels dispositifs seraient à l'avenir pris en compte en tant que mesures de réduction dans les instructions préalables en application de la séquence Eviter – Réduire – Compenser (ERC)²¹¹.

En termes de fréquence, pour l'Europe, le Guide européen « Faune sauvage et trafic » recommande au moins 1 visite par an pour les clôtures et plus fréquemment la première année, sans détailler le cas des échappatoires²¹². La Conférence Européenne des Directeurs des Routes reprend cette fréquence minimale en demandant des inspections plus fréquentes dans les zones régulièrement endommagées ou après des événements météorologiques particuliers²¹³. Une analyse technique et juridique suggère de contextualiser ces fréquences en établissant un programme de maintenance adapté aux facteurs de dégradation (fréquentation, climat, relief, etc.)²¹⁴ : les fréquences de contrôle des clôtures seraient localement augmentées au besoin ainsi que pour les éléments ouvrants comme les échappatoires mécaniques. Dans certains cas, cela pourra conduire à en modifier ou déplacer certaines. Pour mémoire, en Amérique du nord, des recommandations peuvent aller jusqu'à une visite mensuelle pour les clôtures comme pour leurs échappatoires²¹⁵.

En pratique, pour les rampes, un consensus existe en France²¹⁶ et à l'étranger sur les faibles contraintes de contrôle et d'entretien en comparaison des dispositifs mécaniques, sous réserve que les garanties constructives aient été prises pour limiter les risques d'érosion²¹⁷ ou de tassement des matériaux, de pourriture des éléments en bois²¹⁸ (classe des bois, mise en œuvre), etc. et que la qualité de la réalisation ait été vérifiée. Un contrôle

²⁰⁶ (Gagnon et al. 2020) pour la recommandation en phase de conception.

²⁰⁷ (MTO 2016)

²⁰⁸ (Clevenger et Huijser, 2011 ; Huijser et al., 2015).

²⁰⁹ Rapport OGE pour ASF dans l'enquête.

²¹⁰ (Rosell et al., 2020). La contrainte d'entretien a aussi été soulignée par exemple aux Pays-bas dans l'enquête ESCAPE XXL.

²¹¹ (Alligand et al., 2018)

²¹² (Iuell et al., 2007)

²¹³ (Rosell et al., 2020)

²¹⁴ (Buton et al., 2017)

²¹⁵ (Huijser et al., 2015)

²¹⁶ Enquête

²¹⁷ D'après H. Harju (Wyoming Game and Fish), tiré d'un entretien cité par Leheret et Bissonette (1997).

²¹⁸ (Rosell et al., 2020)

périodique reste nécessaire pour prévenir les désordres (notamment les érosions)²¹⁹. De la même façon, la nécessité d'entretenir la végétation fait l'objet d'un consensus que ce soit sur la rampe elle-même²²⁰ (pour permettre l'accès des animaux) ou sur la surface de réception²²¹. En France²²², la compaction des matériaux sur les pentes latérales et en crête ou encore le recours à des matériaux inertes sont parfois proposés pour limiter la pousse.

Pour les dispositifs mécaniques, en France et en Amérique du Nord²²³, il est rapporté la nécessité d'un contrôle à la fois de l'équipement (par exemple en France²²⁴, 1 à 2 fois par an, avec en sus contrôle aléatoire à l'occasion des autres missions de l'exploitant sur le site). Il s'agit de vérifier le système de fermeture (éventuel graissage) et la végétation pour éviter de bloquer le battant en position fermée ou pire, ouverte. Les contraintes de fauchage sont variables (a minima 1 à 2 fois/an mais au besoin plus fréquemment entre avril et juin). Pour les ronces, l'arrachage est à privilégier. La végétation peut aussi gêner la perception de l'échappatoire par la grande faune. Il est possible de poser un sol compacté inerte sur une largeur de 1.5 fois le rayon d'ouverture du battant ou de réaliser un seuil béton mais l'incidence du revêtement sur le franchissement des ongulés ne semble pas étudiée.

Il est rappelé le possible intérêt de déléguer l'entretien de ces équipements à des acteurs locaux²²⁵ : associations de protection de la faune, instances cynégétiques, agriculteurs.

6.3 Sur le positionnement des échappatoires

6.3.1 Quels sont les sites à équiper dans un linéaire de clôture ?

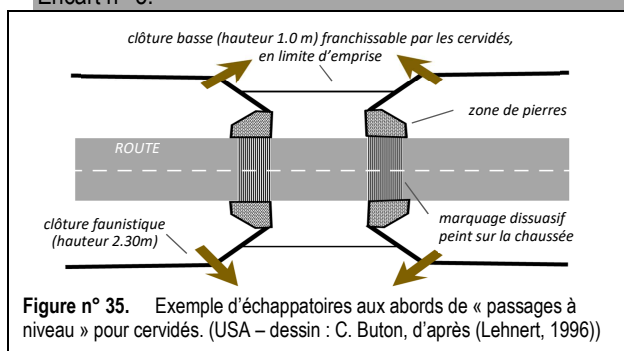
De façon générale, bibliographie et enquête montrent que différentes stratégies existent pour étudier l'implantation d'échappatoires, éventuellement combinables entre elles :

- **En priorité, sécuriser les zones d'entrées potentielles, c'est à dire les fins de clôtures en section courante et de fait, les échangeurs.**

La concentration des collisions en fin de clôture et tout particulièrement quand cela correspond à une fin du couvert forestier riverain (lisière) est classiquement rapportée par exemple au Pays-Bas²²⁶ et dans différentes études et enquêtes nord-américaines.²²⁷ Une étude montre que la localisation de la plupart des accidents se produit à moins de 0.48 km d'un échangeur²²⁸. Il est donc recommandé de placer des échappatoires à proximité de ces « fins de clôtures » pour extraire au plus vite les animaux.

Pour mémoire, en Amérique du nord, des échappatoires sont placées sur route ou autoroute de part et d'autre de « passages à niveau » pour cerfs (*Encart n° 5, Figure n° 35*).

Encart n° 5.



Ces « passages à niveau » sont des ouvertures créées dans les clôtures afin de laisser les animaux traverser à des endroits fixés. Des clôtures en entonnoirs dirigent les animaux vers un couloir de traversée. Des bandes peintes sur la chaussée simulent des passages canadiens pour dissuader les animaux de sortir de ce couloir. Des zones de pierres visent à éviter que certains passent entre la chaussée et les clôtures pour pénétrer sur les emprises en herbes. Les 4 échappatoires (flèche marron), à chaque angle, visent à exfiltrer les animaux qui auraient réussi à pénétrer dans les emprises clôturées. A ce stade, ce type de configuration n'est pas rapporté en Europe.

²¹⁹ (Gagnon et al., 2020)

²²⁰ Enquête, (Huijser et al., 2015 ; MTO, 2016).

²²¹ (Huijser et al., 2015 ; MTO, 2016)

²²² Enquête.

²²³ Par exemple (MTO, 2016 ; Transports Canada, Direction de la sécurité des aéroports, 2002).

²²⁴ Enquête.

²²⁵ (Iuell et al., 2007 ; Buton et al., 2017)

²²⁶ (Haafte, 1985)

²²⁷ Voir les observations de Bissonette et Hammer (2000), puis les études de Clevenger et al. (2001) et de Huijser et al. (2016) citées par Jensen (2018), ainsi que la revue et l'enquête de Huijser et al. (2015).

²²⁸ (Feldhammer et al., 1986) cité par Magnac-Winterton et al. (1999).

- **Equiper des situations particulières.**

De façon générale, comme signalé aux USA²²⁹, il peut s'agir aussi d'éviter si possible que des animaux présents dans les emprises ne s'engagent sur un pont ou dans un tunnel où l'absence d'accotement peut accentuer le risque de collision. Aux Pays-Bas, des réalisations existent aux abords d'une soixantaine d'écoponts où les 4 angles en sont équipés à proximité, conformément aux recommandations du guide national²³⁰. Le cas existe aussi en France de façon plus locale sur autoroutes²³¹ (Figure n° 36).



Figure n° 36. Exemple d'échappatoire implantée dans les palissades latérales d'un passage agricole supérieur adapté pour favoriser le passage de faune. (France – photo : VINCI Autoroutes / réseau Cofiroute)

Enfin, il a été rapporté en France²³² que des échappatoires peuvent être posées temporairement en phase chantier ou en exploitation pour gérer des situations particulières (Encart n° 6).

Encart n° 6.

En France, dans un cas particulier²³³, des échappatoires ont été implantées non pas pour faire sortir les sangliers des emprises autoroutières mais pour diminuer la pression exercée sur elles par les animaux présents à l'extérieur : des échappatoires visent à les faire rentrer dans une enclave de tranquillité située entre les clôtures de l'A10 et de la LGV et les diriger vers des écoponts (Figure n° 37).

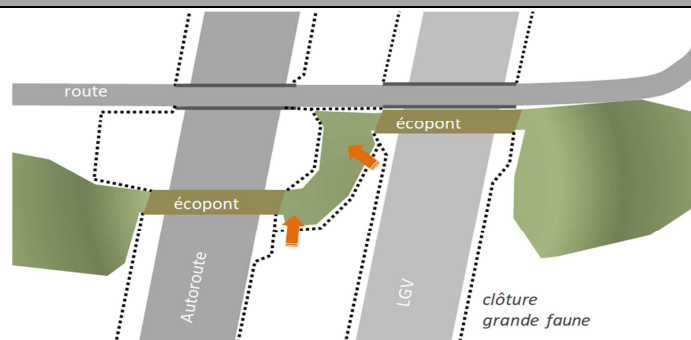


Figure n° 37. Principe de l'implantation d'échappatoires (flèche orange, de type trappe) afin de baisser la pression des sangliers sur les clôtures autoroutières en les orientant vers une zone de tranquillité et un corridor rétabli par deux écoponts. (France - schéma : C. Buton d'après plan VINCI Autoroutes / Cofiroute)

- **Sécuriser l'ensemble des linéaires à risques en parallèle d'une reprise générale des clôtures.**

Si la « pression animale » à l'extérieur est forte (i.e. densité d'animaux ou fréquentation intense), le principe est alors de tenter d'extraire au plus vite toute intrusion dans les emprises, quelle que soit l'origine de l'entrée. Cette stratégie est recommandée aux USA²³⁴ et est mise en œuvre sur des réseaux autoroutiers en France. Il pourrait également s'agir de renforcer la sécurisation de linéaires clôturés où la persistance d'entrées de faune n'est pas encore élucidée.

A noter que la localisation des zones à risque est traditionnellement basée sur l'exploitation des relevés de collisions mais qu'elle peut être complétée par la prise en compte aussi des données d'animaux vivants présents dans les emprises²³⁵.

- **Cas particulier des fins de GBA**

Des ongulés présents sur la chaussée peuvent sauter les dispositifs de retenue²³⁶ (GBA – Glissière en Béton Adhérent de hauteur 80 cm), notamment en conditions de stress. Ils peuvent aussi les longer jusqu'à trouver une

²²⁹ (Huijser et al., 2015)

²³⁰ Enquête.

²³¹ Enquête.

²³² Enquête

²³³ Cofiroute dans l'enquête.

²³⁴ (Bissonnette et Hammer, 2000 ; Gagnon et al., 2020)

²³⁵ Intervention de C. Buton en colloque (AFB, 2019).

²³⁶ Observations de sangliers signalées par des agents autoroutiers.

interruption qui leur redonne accès à l'accotement. Il peut s'agir de l'extrémité des dispositifs, là où les GBA s'écartent des voies pour permettre d'accéder à un portail de service ou bien encore lorsque la GBA est interrompue dans une configuration dite « en baïonnette » pour permettre à un piéton cheminant en Bande d'Arrêt d'Urgence de rejoindre un Poste d'Appel d'Urgence situé sur l'accotement. Il est signalé l'intérêt éventuel d'implanter des échappatoires dans les clôtures au droit immédiat de ces sites pour extraire au plus près des animaux en provenance des voies.²³⁷

6.3.2 Existe-t-il une interdistance optimale entre les échappatoires ?

Les recommandations rencontrées en bibliographie et dans l'enquête ne semblent pas clairement arrêtées. Lorsque des interdistances sont mentionnées, il n'est pas toujours indiqué si elles concernent uniquement des tronçons à risque particulier de collision ou bien tout un itinéraire. Par ailleurs, il s'agit parfois de recommandations génériques à la fois pour des échappatoires pour ongulés et/ou pour moyenne faune, ce qui mériterait donc des investigations complémentaires.

Au final, une certaine régularité des équipements est traditionnellement recommandée dans les zones concernées et allant de plusieurs centaines de mètres entre équipements à quelques kilomètres (Annexe 12).

Toutefois, le choix des implantations reste *in fine* tributaire de la faisabilité technique sur le terrain (notamment pour les rampes) et de la pertinence faunistique des implantations. Il faut par exemple tenir compte de la possibilité effective qu'un animal réussisse à cheminer jusqu'à une échappatoire car les différents équipements autoroutiers peuvent faire d'obstacle à son déplacement dans les emprises. L'attractivité du milieu extérieur permet également d'adapter une interdistance théorique : on localisera de préférence les échappatoires par exemple au droit de corridors naturels, thalwegs ou dépressions, zone en végétation fréquentées par les ongulés, etc.²³⁸ De même, certains sites particulièrement attractifs dans les emprises (glandée, zone humide, etc.) peuvent être équipés mais ils nécessitent une réflexion parallèle quant aux possibilités de réduire cette attractivité. Certaines implantations intéressantes sur le plan faunistique peuvent être contraintes par une activité ou un usage riverain. Il est recommandé d'assurer une concertation préalable avec les riverains pour éviter par exemple de gêner les pratiques agricoles (par exemple : ne pas gêner le retournement des engins en bout de parcelle avec un dispositif trop en avant du grillage) ainsi qu'avec les gestionnaires des voiries externes à proximité immédiate du lieu d'implantation envisagé. Au besoin, il est conseillé de demander l'autorisation des riverains pour la sortie de sangliers sur leurs parcelles²³⁹. Les échappatoires ayant des sorties exposées à une activité humaine peuvent être considérées comme difficilement empruntables, au moins en journée²⁴⁰.

Enfin, parce qu'il n'y a pas de modèle universel qui fonctionne sur toutes les infrastructures, la recommandation générale d'impliquer des biologistes de la faune sauvage dans la définition des clôtures au voisinage des écoponts²⁴¹ semble par ailleurs transposable aussi aux échappatoires. Ceci est extrapolable à l'ensemble de la mise en œuvre qui doit être accompagnée par une compétence faunistique expérimentée²⁴² et ce, depuis sa conception jusqu'au suivi des réalisations afin de vérifier la bonne fonctionnalité écologique.

6.3.3 Est-ce qu'il y a des tracés de clôtures qui favorisent les passages ?

En Amérique du nord, il a été montré que les ongulés se déplacent généralement parallèlement aux routes avant de tenter de les traverser²⁴³. Nous n'avons pas cherché à ce stade si le tracé exact des itinéraires dans les emprises était documenté. Dès lors, il est classiquement recommandé en France comme en Amérique du Nord²⁴⁴ d'implanter les échappatoires **dans un angle de la clôture, cet angle pouvant préexister ou bien être créé spécifiquement (Figure n° 38), ou bien encore au fond d'un entonnoir grillagé.** Pour les rampes, cet entonnoir

²³⁷ (Beroud and Buton, 2013)

²³⁸ Par exemple (Reed et Ward, 1985) cité par Magnac Winterton (1999).

²³⁹ (Beroud and Buton, 2013)

²⁴⁰ Enquête

²⁴¹ (Glista et al., 2009)

²⁴² (Huijser et al., 2015)

²⁴³ (Puglisi et al. 1974) et (Bashore et al. 1985) cités par Jensen (2018)

²⁴⁴ (Clevenger et Huijser, 2011 ; Huijser et al., 2015). Voir aussi le plan d'aménagement possible pour un aéroport de Reed et al. (1974). Données de l'enquête et rapport OGE 2011 pour ASF. (Ward, 1982) cité par Putman (1997).

peut être éventuellement réduit à la seule rampe implantée en décalé « sortant » des emprises : un animal qui longe la clôture peut alors percevoir le pied des rampes comme des trous dans la clôture à explorer jusqu'à l'inciter à sauter²⁴⁵ (exemple en Amérique du nord : *Figure n° 10 en partie 4.1.1.1*). Il est aussi possible de se servir des accès de services grillagés menant à des portails de service pour constituer de fait des angles ou entonnoirs²⁴⁶ (comme c'est le cas de trappes existant sur autoroutes : *Figure n° 39*).

Les échappatoires peuvent encore être positionnées **au bout d'un couloir grillagé formé en parallèle de la clôture d'emprise**. Le postulat est que certains animaux entrés dans les emprises longent préférentiellement les clôtures plutôt que de cheminer au milieu des emprises. Des réalisations concernent en France les sas d'extraction de type Faun'Trap ainsi que des trappes.

En pratique, les échappatoires peuvent aussi être implantées simplement **dans une ligne droite de clôture**. Des réalisations existent en France avec les dispositifs mécaniques ainsi que des rampes de type linéaire ou en U, ainsi qu'en Hollande par exemple avec également des rampes en angles posées en vis-à-vis, dans un décroché ponctuel du grillage.



Figure n° 38. Exemples portillons doubles posés dans un angle de clôture. (France - photo : OGE – VINCI Autoroutes : AFS)



Figure n° 39. Echappatoire installée à proximité d'un portail de service, portail et clôtures étant munis de brandes pour accentuer l'effet de brèche visuelle. (France – photo : IMPCF - VINCI Autoroutes / ESCOTA)

Au final, la meilleure efficacité de telle ou telle configuration de clôture ne semble pas avérée ou tout du moins pas assez documentée. Selon nous, le fait pour un animal de trouver effectivement l'échappatoire sur un site donné dépend probablement des motivations qu'ont les animaux à fréquenter les emprises à cet endroit. En pratique, des sorties sont constatées dans les diverses configurations de tracés, y compris des sections de clôtures linéaires (voir par exemple le retour d'expérience du Sangli-pass : *Annexe 11*). En l'absence d'études comparatives plus complètes, il reste difficile d'indiquer quelle est la « meilleure » configuration. Par ailleurs, dans le cas d'une clôture préexistante, il peut s'avérer techniquement et économiquement difficile de reprendre le tracé général de la clôture qui doit accueillir l'échappatoire (raisons foncières, financières, etc.) : cela doit-il pour autant conduire à abandonner le projet d'équipement ?

6.3.4 A quelle distance de l'infrastructure planter l'échappatoire ?

En France, les recommandations classiques rejoignent les avis majoritaires en Amérique du nord quant à l'intérêt probable d'éloigner les échappatoires du trafic. Dans les arguments avancés, ce n'est toutefois pas tant la distance physique qui semble en jeu que l'importance de la gêne, notamment visuelle, voire sonore. La proximité des voies ou d'un accès de services (à quelques mètres) ou bien encore une implantation à la même hauteur que les voies, *a fortiori* en l'absence de fourrés arbustifs, entraîne une covisibilité depuis l'infrastructure considérée comme négative (*Figure n° 40*). C'est encore plus le cas lorsqu'ils sont en hauteur sur une rampe ou encore si l'échappatoire est en vue sur une butte du relief. Il est alors évoqué un possible sentiment d'insécurité. A contrario, peut être considéré favorable²⁴⁷ un dispositif non visible depuis les voies surtout s'il est dissimulé par des plantes, des palissades ou des murs, ou encore si l'échappatoire est en crête d'un grand déblai ou en pied de remblai. En Amérique du nord, il est ainsi recommandé d'inclure éventuellement un couvert (arbres, arbustes ou éléments particuliers formant un écran) ou encore d'utiliser le relief (collines, thalwegs, fossés) pour limiter la co-

²⁴⁵ Huijser et al. (2015) appelle cela des « bulbs-out » ;

²⁴⁶ (Beroud and Buton, 2013)

²⁴⁷ Enquête

visibilité, ce qui peut aussi impliquer de décaler les échappatoires de l'axe des clôtures²⁴⁸. L'objectif est de permettre aux animaux de se calmer et d'analyser la situation avant de se décider à franchir la rampe ou au contraire à longer la clôture²⁴⁹.

En pratique, des passages sont cependant attestés par exemple via des trappes²⁵⁰ situées, d'après les photos, à moins de 10 m des voies en secteur plat (Figure n° 41, Figure n° 42). Il conviendrait peut-être d'étudier ce facteur de covisibilité à la hauteur des yeux des ongulés de façon à apprécier l'effet d'un léger dévers des emprises ou encore du dispositif de sécurité.



Figure n° 40. Exemple de double portillon avec une forte covisibilité avec le trafic. (France – photo : OGE - VINCI Autoroutes / ASF)



Figure n° 41. Exemple d'une trappe de type Sangli-pass implantée à proximité des voies et qui a été utilisée au moins à 3 reprises par des sangliers. (France – photo : AIRELE – VINCI Autoroutes / ESCOTA)

Par ailleurs, une étude statistique récente²⁵¹ montre que des cerfs muets privilégient les rampes les plus proches de l'autoroute dans un panel d'implantation allant de 25 à 155 m des voies (Encart n° 7).

Encart n° 7.

Aux USA, dans le Colorado, Siemers et al. (2015) ont suivi des rampes situées de 25 à 155 m de l'autoroute pendant 2 ans sur la Highway 550 (11 rampes classiques et 2 rampes sur mur de soutènement). L'étude conclut que pour le Cerf muet les facteurs favorisant les sorties sont : la relative proximité de l'autoroute ainsi qu'une clôture de renvoi perpendiculaire à la rampe et la présence de buissons à proximité mais pas sur la surface de réception. Le suivi n'intégrait toutefois pas d'équipement à moins de 25 m des voies. Ces résultats sont tirés de l'analyse de 1 333 sorties documentées de Cerf muet. Les auteurs ont par ailleurs relevé 25 sorties de wapiti.

Selon les auteurs, pour le Cerf muet, la corrélation négative entre le succès d'évasion des cerfs et l'éloignement à l'autoroute pourrait être due à l'urgence avec laquelle les cerfs se préoccupaient d'échapper à l'emprise. Les cerfs se trouvant sur des rampes plus proches de l'autoroute peuvent être plus stressés et ressentir un plus grand besoin de s'échapper. Souvent, lorsque des cerfs ont été observés sur une rampe, ils ne ressentaient pas l'urgence de s'échapper. Des animaux ont été observés en train de brouter nonchalamment sur certaines et, à l'occasion, s'y sont couchés.

Selon nous, ces résultats attirent l'attention sur deux aspects. Premièrement, il est nécessaire de **prendre en compte l'état de stress des animaux et les motivations qui les poussent à pénétrer dans les emprises mais aussi éventuellement à y séjourner** : si les animaux se sentent en sécurité dans une zone qui leur fournit par ailleurs gîte et couvert, leur motivation à en sortir peut être diminuée. Dès lors, le grand éloignement des échappatoires par rapport aux voies (plus de 100 m par exemple dans l'étude indiquée) peut correspondre en pratique à des échappatoires situées au fond de vastes zones refuges dans les emprises et dont l'animal risque d'être peu enclin à sortir. Par ailleurs, les facteurs de perturbations s'atténuent avec la distance, mais ils pourraient aussi varier entre infrastructures routières et ferroviaires, comme le suggère un questionnaire en Espagne pour les voies ferrées²⁵². Deuxièmement, **il faut distinguer ce qui dans l'idéal serait le mieux²⁵³ de ce qu'il est possible de faire dans une situation donnée** : par exemple, les problématiques dans le cas d'un projet complet de création d'infrastructure différent de celles en rattrapage sur des sections existantes. Lorsqu'une situation à risque existe sur une section où les clôtures sont relativement proches des voies (par exemple quelques mètres) et sans possibilité de s'en écarter

²⁴⁸ (Bissonette et Hammer, 2000 ; (Huijser et al., 2015 ; Clevenger and Huijser, 2011). Illustrations sur le site <https://www.marcelhuijserphotography.com>. Siemers et al. (2015) signale que Huijser and Kociolek (2008) font aussi des recommandations similaires à Clevenger et Huijser (2011) concernant la conception et le positionnement. Voir aussi (Reed et Ward, 1985) cité par Magnac Winterton (1999).

²⁴⁹ (Clevenger and Huijser, 2011)

²⁵⁰ Voir par exemple le retour d'expérience qualitatif mené par AIRELE pour ESCOTA sur 13 trappes de type sangli-pass ayant été empruntées par des sangliers.

²⁵¹ (Siemers et al., 2015)

²⁵² Enquête.

²⁵³ « Meilleures pratiques » (« best practises ») au sens de Huijser et al. (2015).

(contraintes techniques, foncières, etc.), la question est de savoir si la mise en œuvre d'une échappatoire peut quand même permettre d'extraire certains animaux.

Au final même si des recommandations existent, la question reste entière, **n'est-ce pas là où la proximité des voies est maximale que l'urgence d'extraire des animaux s'impose au gestionnaire et que le dérangement maximal incite les animaux à trouver le plus rapidement des itinéraires de fuite ?** (voir nos recommandations d'études en partie 7.1).

6.3.5 La combinaison d'équipements est-elle possible ?

Il est nécessaire d'adapter les dispositifs à la faune visée. Au vu du peu de données à ce stade sur l'utilisation des rampes pour le Sanglier ou sur d'éventuelles adaptations envisageables, lorsque cette espèce est présente avec des cervidés sur un site, il est judicieux d'étudier la mise en œuvre de dispositifs mécaniques en plus des rampes soit de façon séparée soit en les associant sur une même implantation.

Ainsi, des réalisations proposent d'utiliser l'effet de guidage que peut constituer le relief d'une rampe afin de rabattre d'autres animaux aussi vers des échappatoires mécaniques implantées en pied de butte²⁵⁴ (Figure n° 42). Dans un cas rapporté, une rampe en U rentrant dans la clôture accueille des échappatoires mécaniques au pied des buttes de part et d'autres des soutènements, ce qui renforce l'effet d'entonnoir (Figure n° 43). Un schéma novateur²⁵⁵, mais dont la mise en œuvre effective reste à vérifier, propose d'inclure des trappes à la sortie d'une buse qui passe sous la rampe et traverse le mur de soutènement (Figure n° 44).



Figure n° 42. Rampe linéaire combinée avec une trappe posée en pied de butte. (France - photo : Cabinet X-AEQUO - VINCI Autoroutes / ESCOTA)



Figure n° 43. Rampe linéaire en U orientée vers l'extérieur des emprises et trappe : la butte et le décroché formé par le soutènement et le grillage accentuent le guidage de l'animal vers la trappe. (France - photo : IMPCF – VINCI Autoroutes / ESCOTA)

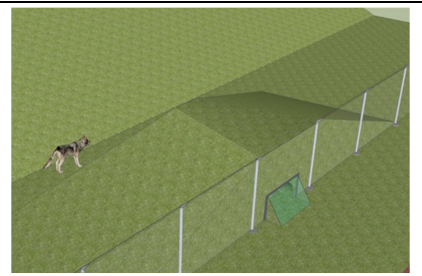


Figure n° 44. Proposition de combinaison avec une échappatoire de type trappe implantée à la sortie d'une buse qui passe sous une rampe linéaire. (Espagne – schéma : SAITEC)

Enfin, il a été rapporté l'intérêt d'associer les dispositifs mécaniques qui nécessitent une intervention humaine (sas d'extraction) avec des dispositifs autonomes comme des trappes, de façon à limiter les coûts (Figure n° 45). Le sas viserait alors l'extraction des animaux qui n'auraient pas emprunté les trappes situées de part et d'autre²⁵⁶. Nous n'avons pas connaissance de réalisation de ce type à ce jour.

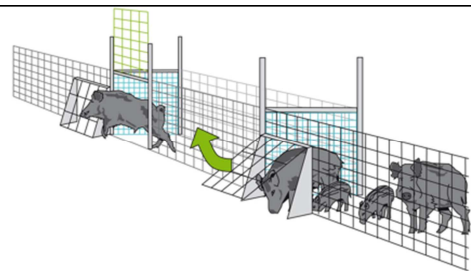


Figure n° 45. Schéma de principe proposant d'associer des trappes avec un sas d'extraction de type Faun'Trap. (schéma : FDC42)

²⁵⁴ ESCOTA dans l'enquête.

²⁵⁵ SAITEC, dans l'enquête.

²⁵⁶ FDC42 dans l'enquête.

7 PISTES D'ETUDES POUR LE FUTUR

7.1 Quelles questions techniques semblent aujourd'hui peu ou non documentées ?

Les données attestent de sorties ponctuelles ou plus nombreuses par différents types de dispositifs en Europe et en Amérique du nord. Cependant, les études menées en Amérique du nord montrent des différences d'utilisation selon les dispositifs, les espèces et les configurations. Ce sujet y a été l'objet d'un investissement scientifique particulier, centré sur les deux systèmes de portillon à peignes courbes et de rampe. Les investigations récentes montrent qu'il reste des inconnues. En Europe, à ce stade, peu d'études scientifiques protocolées sont rapportées. Les suivis signalés visent à quantifier les passages une fois l'échappatoire posée, ce qui est somme toute le plus important pour un gestionnaire au regard de la prévention du risque sur le trafic. Il s'agit d'études descriptives ou observationnelles ne relevant pas d'une expérience scientifique²⁵⁷. La contextualisation en fonction des caractéristiques du milieu physique et écologique y est par ailleurs peu documentée, de même que le comportement des animaux dans les emprises ou en approche du dispositif.

Nous proposons donc d'une part d'extrapoler à la France les questions soulevées outre-Atlantique²⁵⁸ et d'adapter les questionnements aux espèces européennes.

L'extrapolation théorique directe des comportements des différentes espèces semble hasardeuse et resterait in fine à confronter aux données de terrain. En particulier, les suivis en Amérique du nord ont souvent visé de grands espaces naturels à l'occasion de phénomènes migratoires saisonniers ou de mouvements d'animaux nombreux avec pour corollaire des effectifs importants qui empruntent les échappatoires lors des suivis et la possibilité d'y mener des analyses statistiques robustes. Nous complétons ces questionnements par des interrogations particulières rapportées lors de nos entretiens ou enquête ou qui ont émergé dans la réflexion.

De façon générale, nous proposons donc que de futurs travaux investiguent les axes ci-dessous dans le cadre des 3 espèces européennes principales d'ongulés, des dispositifs en fonctionnement et des différentes infrastructures (routières ou ferroviaires). Il peut s'agir de recherches scientifiques, d'analyses documentaires (réglementaire ou juridique) ou d'actions de recherche et développement.

- ❖ **Axe 1 : caractériser le niveau d'utilisation²⁵⁹ et le taux d'efficacité en fonction des différentes modalités de conception au sein de chaque type d'échappatoire et du contexte environnemental.**
- ❖ **Axe 2 : caractériser l'influence du positionnement sur l'utilisation du dispositif.**
- ❖ **Axe 3 : optimiser les systèmes existants.**
- ❖ **Axe 4 : assurer la sécurité juridique des réalisations à la création et dans le temps.**

7.1.1 *Axe 1 : caractériser le niveau d'utilisation et le taux d'efficacité en fonction des différentes modalités de conception au sein de chaque type d'échappatoire et du contexte environnemental.*

7.1.1.1 *Comment caractériser l'utilisation de chaque type d'échappatoire et comment comparer l'efficacité des différents dispositifs entre eux ?*

Il semble pertinent de chercher à **définir au préalable la notion d'efficacité** sous les différents aspects en jeu. Qu'est-ce qu'une échappatoire efficace ? Doit-on considérer que le passage d'un seul individu est concluant en ce qu'il a potentiellement évité un accident ?²⁶⁰ Est-il possible de fixer un seuil, c'est-à-dire un taux minimal de succès face à animal candidat à la sortie ? Des analyses coût-bénéfice en Amérique du nord ont par exemple retenu dans leur panel comparatif uniquement des échappatoires ayant un taux d'efficacité de 80 % pour à la fois permettre

²⁵⁷ Au sens de Sordello et al. (2019).

²⁵⁸ Voir par exemple les questions posées en introduction par Siemers et al. (2015), ou encore les pistes de recherches pointées par Huijser et al. (2015).

²⁵⁹ Respectivement en anglais « usage levels » et « escape success » selon Siemers et al. (2015).

²⁶⁰ Ainsi la sortie avérée d'un individu par une échappatoire a peut-être permis d'éviter une collision potentiellement dramatique (Fédération Départementale des Chasseurs des Bouches-du-Rhône, 2012).

aux grands mammifères de s'échapper des emprises clôturées et les empêcher de rentrer à contresens²⁶¹. Par ailleurs, avant de conclure à son inefficacité, l'absence d'utilisation d'un dispositif doit être analysée au regard de la présence ou de la présence d'animaux dans les emprises.

Nous tentons ici une approche sommaire des différents aspects sous-jacents à la notion d'efficacité mais une analyse de terminologie plus poussée pourrait peut-être faire émerger de nouveaux axes de réflexion. L'efficacité peut par exemple concerner :

- **La fonctionnalité** au sens de ce que le dispositif offre en termes de « possibilités, fonctions potentielles »²⁶², c'est-à-dire sur le fait qu'il permette effectivement la sortie d'animaux. En d'autres termes, « est-ce que des animaux passent effectivement dans une échappatoire donnée ? ».
- **L'efficacité**, notion proche de la précédente mais qui renvoie aussi à celle de rendement soit par rapport à l'effort consenti (analyse coût / bénéfice) soit par rapport à l'effectif des candidats potentiels au passage via l'échappatoire. Il peut s'agir aussi d'une analyse de la baisse du temps de présence d'animaux dans les emprises avec in fine la baisse espérée des collisions sur le tronçon équipé. On rappelle ici que l'occurrence des collisions, si elle reste le risque ultime à réduire, traduit à la probabilité croisée qu'un animal et un véhicule soient présents de façon simultanée sur la chaussée. C'est pourquoi, de façon opérationnelle, des protocoles intégrant le suivi de la fréquentation des emprises par les animaux sur un tronçon équipé d'échappatoires sont à imaginer aux différentes échelles d'observations : section équipée (par exemple km), abords de l'échappatoire (par exemple centaine de mètres), abords immédiats du dispositif (échelle du mètre, par exemple celle d'un piège à traces).

Il peut aussi s'agir là de caractériser le succès du franchissement et, par défaut, la survenue d'un refus. Qu'appelle-t-on donc un refus de passage par une échappatoire ? Si pour les rampes, on peut considérer en première approche comme un refus la tentative par un animal de gravir une rampe sans aboutir à sa sortie effective, en revanche la caractérisation semble moins évidente pour une échappatoire mécanique : est-ce la tentative d'actionner en vain un dispositif mobile ? La présentation d'un animal devant un dispositif mécanique sans chercher à l'actionner est-elle à considérer comme un refus ? Si oui, à partir de quelle distance ? Enfin, comment tenir compte des animaux qui refusent en première intention mais reviennent ensuite pour franchir l'échappatoire avec succès ?

- **L'efficacité comparée**. Au-delà de la simple obtention de l'effet qu'on en attend (voir la notion de fonctionnalité ci-dessus), il peut s'agir de la « capacité de produire le maximum de résultats avec le minimum d'effort, de dépense »²⁶³.

L'analyse comparative des dispositifs peut alors porter sur leur aptitude à extraire des animaux mais être aussi menée en termes de bénéfices / coûts. Ce type d'analyse bénéfices / coûts, rencontrée à plusieurs reprises en Amérique du nord, n'est à ce stade pas rapporté en Europe en dehors des considérations directes des coûts de fourniture. Cette approche nécessiterait par ailleurs une analyse comparative circonstanciée des coûts et contingences de pose à profil en travers et conditions d'accès comparables, ainsi qu'une éventuelle distinction entre travaux neufs ou intervention sur une infrastructure en exploitation.

Pour les analyses bénéfices / coûts, on pourra se reporter aux paramètres pris outre-Atlantique²⁶⁴ et parmi lesquels : les coûts de construction (y compris planification), de maintenance, la pérennité et le coût de dépose, les coûts afférents à la perte de l'animal, aux réparations, etc.

- Etc.

Nous suggérons que les protocoles des études futures définissent au préalable les définitions applicables à leur cadre expérimental.

²⁶¹ (Huijser et al., 2015)

²⁶² dictionnaire.lerobert.com

²⁶³ dictionnaire.lerobert.com

²⁶⁴ (Huijser et al., 2015)

7.1.1.2 *Comment caractériser pour chaque dispositif le risque d'intrusion à contresens, a fortiori dans les secteurs à très haute fréquentation externe ?*

Pour les échappatoires mécaniques, aucune entrée à contresens n'a fait l'objet de signalement particulier lors de notre enquête ce qui peut indiquer un risque faible à la condition expresse que ces dispositifs soient en bon état et non bloquées. Le risque mérite toutefois d'être analysé compte tenu de l'intelligence y compris collective déployée par les animaux et des densités actuelles élevées d'ongulés sauvages sur certains territoires. La caractérisation doit concerner à la fois des animaux isolés ou à plusieurs (par exemple, compagnie de sangliers) mais aussi des situations où des congénères sont présents hors des emprises alors qu'un animal essaie de sortir par une échappatoire mécanique. Est-il possible d'aboutir à des grilles d'analyse croisant l'efficacité à extraire et celle à prévenir les contresens ? Au besoin, quelles mesures techniques seraient à imaginer et à tester pour prévenir le risque ?

7.1.1.3 *(pour mémoire) Comment évaluer l'utilisation sous stress des différentes échappatoires ?*

Une difficulté est de définir l'objectif assigné aux équipements : à quel type de comportement (niveau de stress) s'adressent les échappatoires ? S'agit-il de faire sortir tous les animaux même ceux qui ne cherchent pas à sortir des emprises ? Ceux qui cheminent « tranquillement » dans les emprises notamment à l'écart du trafic ? Ceux éventuellement stressés par le trafic notamment pour des clôtures proches des voies ? Peut-il s'agir dans certains cas de faire sortir des animaux poussés par les agents d'exploitation ? Idéalement, tous les animaux seraient visés mais la question se pose de savoir si un type de comportement peut être à l'origine de spécifications particulières. Les référentiels techniques, notamment en France, ne semblent pas préciser ce point qui conditionne pourtant les protocoles de suivi et la portée des résultats. Peut-on imaginer des tests pour valider ces différents comportements par équipement ? Faut-il considérer l'utilisation « active » par les agents de maintenance comme une éventualité fortuite ou comme un objectif à atteindre (en pratique, l'ouverture des portails par exemple est déjà un moyen utilisé pour faire sortir les animaux rabattus), et en gardant à l'esprit par exemple le comportement imprévisible du Chevreuil dans des conditions forcées.

7.1.2 *Axe 2 caractériser l'influence du positionnement sur l'utilisation du dispositif*

7.1.2.1 *Analyser, à différentes échelles, l'influence croisée des milieux présents à l'extérieur et dans les emprises sur l'utilisation des dispositifs.*

L'objectif est de comprendre les motivations de l'animal à entrer et à sortir. Le paysage joue-t-il sur la présence des espèces dans les emprises et concomitamment sur l'utilisation des échappatoires. L'utilisation des échappatoires est-elle conditionnée par les caractéristiques des milieux intérieurs et extérieurs (milieux ouverts ou fermés, trame verte et bleue, etc.)²⁶⁵ ? Ou au contraire une éventuelle absence d'influence des milieux intérieurs et extérieurs justifie-t-elle alors d'implanter des échappatoires de façon systématique ?

Cette interrogation est également liée à celle de la motivation des animaux à se déplacer au sein d'un territoire, à pénétrer dans les emprises et à y cheminer. Dans quelle mesure cette motivation des animaux à entrer dans les emprises influe-t-elle sur leur intérêt à sortir par les échappatoires ? De même, est-il possible d'étudier si un animal qui pénètre pour se réfugier ou se nourrir dans des emprises ne cherche pas en priorité à ressortir par là où il est arrivé ? Un animal qui cherche à traverser les voies et longe une clôture à l'intérieur des emprises est-il enclin à ressortir par un trou ou une échappatoire situé de son côté des voies au lieu de tenter la « grande traversée » ? Les animaux qui sortent par des échappatoires placées aux abords des écoponts les franchissent-ils ensuite ? Ce dernier point pourrait être documenté assez simplement par comparaison de suivis photographiques en sortie des échappatoires et sur les écoponts.

²⁶⁵ Gagnon et al. (2020) mentionnent par exemple l'attrait que peut avoir la qualité du pâturage dans les emprises sur les tentatives d'entrée à contresens, ou encore la localisation sur des axes migratoires. Lehnert (1996) avait déjà évoqué cette motivation pour le Cerf mulot de venir pâturer dans les emprises lors de son suivi de « passages à niveau » dédiés.

7.1.2.2 *Sur un site donné, quel est le meilleur tracé de clôtures et quelle position relative de l'échappatoire pour maximiser les chances de sortie par un animal ?*

La question se pose notamment lorsque les contraintes foncières ou techniques n'offrent pas de latitude pour revoir le plan général des clôtures : dans ce cas, quelle est la configuration optimale pour rabattre les animaux vers une échappatoire implantée dans des emprises étroites ? En particulier, les implantations en couloir le long de la clôture faunistique sont-elles plus performantes que les configurations en angle ou en entonnoirs conseillées classiquement ? L'enjeu est important y compris pour les rampes en quai de chargement par exemple, l'encombrement des autres modèles conditionnant leur faisabilité même. Cette question est indépendante du type d'échappatoires, hormis sans doute pour les sas d'extraction, posés uniquement dans des couloirs grillagés.

7.1.2.3 *La proximité aux voies est-elle réellement problématique ?*

Pour les écoponts par exemple, des études indiquent que le bruit influence le passage des animaux²⁶⁶ mais est-ce le cas pour les échappatoires ? Il a été indiqué plus haut de premiers résultats « contre-intuitifs » obtenus en Amérique du nord sur les rampes (*Encart n° 7 en partie 6.3.4*). Un animal proche des voies est-il plus enclin à chercher une possibilité de fuite transversale vers l'extérieur plutôt que de suivre le grillage ? Une première réponse pourrait être recherchée par une revue systématique d'études sur la réponse au stress par les ongulés, sous réserve de caractériser au préalable, avec le concours d'éthologues, la notion de stress. Le trafic est-il perçu comme un stress pour les animaux, selon les espèces et alors même que des observations sont régulières aux abords d'axes routiers ?²⁶⁷ Et si oui, est-ce un stimulus sonore ou visuel (i.e. co-visibilité) qui entre en jeu ? Le cas échéant, à égale distance des voies, le stress causé par le trafic autoroutier est-il similaire à celui causé par un train, selon les types de véhicules ou de convois, l'intensité du trafic et l'horaire (jour ou nuit). Au besoin, quels seraient les tests à réaliser, ex ou in situ ?

D'un point de vue opérationnel, lorsque des clôtures sont implantées près des voies (plages de distance à définir, par exemple : 0 à 10 m, 10 à 20 m etc.), la question est de savoir dans quelle mesure des échappatoires visibles du trafic (a fortiori des rampes en élévation) sont envisageables pour évacuer des ongulés piégés ?

Nous recommandons de mener des analyses statistiques croisées qui intègrent par exemple : le type et l'intensité du trafic routier ou ferroviaire (de jour et de nuit), la distance aux voies (en élargissant le panel des éloignements par exemple de quelques mètres à 150 m) et les conditions de co-visibilité à l'échelle de chaque espèce (elle-même tributaire du profil en travers des emprises, des dispositifs de retenue le long des voies ou encore de la portée de phares sur la zone).

7.1.3 *Axe 3 : optimiser les systèmes existants*

7.1.3.1 *Comment caractériser le rôle des butoirs ?*

Ces équipements sont posés intuitivement en Europe mais les études d'efficacité concernent les espèces et dispositifs d'Amérique du nord où leur rôle n'a été démontré que pour les cerfs muets. Compte tenu des contraintes de pose et de gêne à l'exploitation, nous suggérons d'investiguer leur influence sur les animaux selon diverses modalités : longueur, distance, tracé général, angle par rapport à la clôture faunistique ou par rapport à la crête de la rampe, opacité ou transparence, etc.

7.1.3.2 *Comment caractériser l'influence de l'effet de brèche visuelle ?*

Intuitivement, des dispositifs sont fréquemment mis en œuvre pour créer cet effet de « trouée ». Est-il possible de caractériser l'importance de la présence de cette brèche visuelle pour l'utilisation des échappatoires, à configuration de clôture égale. Par ailleurs, les brandes naturelles offrent une meilleure insertion paysagère que les bâches synthétiques, ce qui est intuitivement perçu comme également un avantage faunistique : est-il possible de caractériser l'incidence de la nature du matériau sur le comportement des animaux ?

²⁶⁶ (Clevenger and Waltho, 2000, 2005) ; (Jackson, 2000) cités dans (Glista et al., 2009)

²⁶⁷ Voir par exemple les observations aux jumelles thermiques réalisées sur Chevreuil lors de tests de piquets réflecteurs menés dans le cadre du programme Via Fauna. (présentation de la FDC Ariège en séminaire visio du 15/12/2021, actes à paraître sur www.chasse-nature-occitanie.fr)

7.1.3.3 Les seuils en béton sont-ils répulsifs pour des ongulés par rapport à des plateformes compactées ?

Il s'agirait ici d'évaluer si et dans quelle mesure une surface bétonnée en entrée d'échappatoire constitue une gêne pour la circulation d'ongulés²⁶⁸.

7.1.3.4 Pour les rampes, quelle est la hauteur optimale qui serait suffisamment basse pour inciter les animaux à sauter rapidement hors des emprises grillagées mais suffisamment haute pour empêcher les animaux de sauter à contresens à l'intérieur de l'emprise grillagée ?

Il s'agit d'évaluer l'incidence de la hauteur sur les conditions de saut des différentes espèces européennes (i.e. tentative de saut ou effet répulsif). Une difficulté réside dans la nécessité d'assurer la sécurité des animaux pour éviter les blessures à la réception. En pratique, plutôt que de tester « pour sortir » un panel de hauteurs fixé de façon théorique, il est possible de commencer par tester les hauteurs minimales occasionnant des contresens (i.e. saut d'un animal du sol vers le haut d'une rampe) en jouant également sur les stimuli (attractif alimentaire notamment). Une fois la hauteur « minimale » définie au regard d'un taux de sécurité ciblé (0 % de contresens ?), il serait possible de tester le taux de sortie à cette hauteur puis de la faire varier. Dans les tests aux hauteurs les plus faibles, nous recommandons d'inclure aussi des dispositifs anti-retour (barre ou planche verticale²⁶⁹, dépassement du muret de soutènement par rapport à la crête en terre, etc.).

Si des études récentes suggèrent de réaliser également ces tests en conditions réelles sur un nombre restreint de rampes²⁷⁰, le risque de collisions nous fait toutefois recommander en priorité les tests en enclos. Il reste néanmoins possible de monter un protocole de suivi comparatif de rampes de hauteurs croissantes qui existeraient déjà sur le terrain.

S'il résultait des études que la hauteur efficace pour le taux de sortie visé (le prescripteur de l'objectif restant par ailleurs à identifier) est inférieure à la hauteur standard recommandée pour les clôtures dans les référentiels nationaux²⁷¹, il conviendrait d'étudier l'existence d'un risque juridique ou non (*question 7.1.4.2*).

Peut-on étudier les caractéristiques du saut des animaux ? Au-delà du simple effet de la hauteur (saute / ne saute pas), il serait possible d'enregistrer par vidéo les caractéristiques spatiales du saut des différentes espèces : à quelle distance atterrit un animal depuis le haut de la rampe ? Saute-t-il « vers le bas » ou « en longueur » ? Ces observations permettraient d'affiner le dimensionnement de la surface de réception (rayon depuis le pied de la rampe, éventuelle butte de réception, etc.). De même, la caractérisation des sauts « montants » (à contresens) permettrait d'évaluer la possibilité de rampes basses séparées du mur de soutènement par un fossé, ainsi que de progresser dans la compréhension des risques de franchissement des clôtures en fonction du relief. Des études préexistantes documentant la capacité de saut par-dessus une clôture donnent-elles des indications sur celle de sauter en descente du haut d'une rampe ?²⁷²

Enfin, compte tenu des contingences d'entretien des dispositifs mécaniques, il est proposé d'investiguer également plus en détail les possibilités d'utilisation de rampes également par les sangliers, traditionnellement donnés comme fousseurs mais aptes à sauter. Des tests pourraient être proposés sur des hauteurs de 1.40 à 2 m. Selon les résultats et pour limiter les entrées à contresens notamment du Chevreuil, des innovations sont-elles possibles pour aboutir à des rampes multi-espèces ?

²⁶⁸ Pour mémoire, des études sur le franchissement d'ouvrages de traversée non spécifiques menées dans le cadre du programme Via Fauna suggèrent, sur un échantillon toutefois faible d'ouvrages, une influence de la nature du revêtement naturel ou non. Ces études sont appelées à être étendues. (communication en séminaire visio du 15/12/2021, actes à paraître sur www.chasse-nature-occitanie.fr)

²⁶⁹ Voir par exemple les protocoles de Gagnon et al. (2013) cité par Siemers (2015).

²⁷⁰ (Huijser et al., 2017)

²⁷¹ Voir par exemple pour la France Carsignol et Tekielak (2019).

²⁷² Voir par exemple les tests en enclos de Stull et al. (2011).

7.1.3.5 *Pour les rampes, la mise en œuvre d'une butte de réception favorise-t-elle les sorties en fonction de leur distance au pied du soutènement ?*

Cela permettrait de moduler les préconisations de hauteur en chute ci-dessus en intégrant le risque sécuritaire et juridique de l'entrée à contresens. A quelle distance placer une butte et de quelle hauteur pour qu'elle ne soit pas répulsive pour les sortants mais réhibitoire pour les entrants ? Il serait alors nécessaire de vérifier la compatibilité avec les différents référentiels nationaux qui établissent une largeur de retrait à prendre en compte dans la mesure de la hauteur efficace des clôtures faunistiques.

7.1.3.6 *Lorsque les clôtures sont placées dans des remblais, existe-t-il une hauteur qui permette à des ongulés de ressortir des emprises tout en limitant les entrées à contresens ?*

Pour le Sanglier, le Chevreuil et le Cerf, nous suggérons de faire le point sur ce qui a été effectivement testé ou documenté en termes de hauteur de clôture efficace pour chaque espèce en fonction du stress, de l'état physiologique, du relief de part et d'autre de la clôture, etc. Cela permettra d'envisager au besoin des expérimentations particulières pour évaluer les facteurs de succès de tels aménagements. Des niveaux de pente ou des configurations sont-ils réhibitoires pour que l'animal saute ? Par exemple, pour des clôtures de 2.0 m de hauteur en travers de remblais, quelle pente de remblai permettrait de se passer de rampe ? Selon la configuration (i. e. profil en travers), quelle est l'incidence d'un abaissement de la hauteur de clôtures en termes de succès de fuite ou au contraire d'entrée à contresens (par exemple en passant de 2 à 1.8 voire 1.6 m dans une zone à chevreuils). La pose d'un bavolet améliore-t-elle les résultats ?²⁷³

Par ailleurs, comment un animal se positionne-t-il pour sauter ? A quelle distance de retrait ? Des données existent dans les standards de clôtures en France ou en Suisse par exemple mais la recherche permet-elle de documenter plus avant les recommandations ?

Il sera nécessaire de tenir compte de l'incidence d'une éventuelle couche de neige et de sa portance pour l'espèce considérée²⁷⁴ pour ne pas créer des points d'entrée massive en hiver.

7.1.3.7 *Pour les échappatoires mécaniques, quels sont les facteurs qui conditionnent l'utilisation du dispositif par un animal ?*

Est-ce la vue à travers le dispositif, l'odorat, ou encore par exemple la possibilité d'insérer le groin dans les interstices qui déclenche l'envie d'actionner le battant ? Le passage d'un premier animal favorise-t-il la réutilisation plus tard par d'autres individus (par exemple via la trace olfactive laissée) ? Le cas échéant, est-il possible de s'en servir comme d'un facteur attractif ? Un marquage des échappatoires nouvellement posées par des « odeurs » animales permettrait-il d'améliorer le repérage ultérieur de ces issues de secours par d'autres animaux ? Il ne s'agit pas ici de tester des attractifs mais d'évaluer l'intérêt par exemple d'un dépôt de fèces pour marquer le passage, suggestion qui nous a été remontée dans l'enquête. Que sait-on de la signification des odeurs entre individus ? Qu'est-ce qu'évoquent pour un congénère des crottes déposées artificiellement ? Le signal olfactif vaut-il pour les autres espèces ? Ces recherches semblent indépendantes du type d'échappatoires et peuvent même se dérouler dans des protocoles n'en disposant pas.

Par ailleurs, il est proposé d'investiguer si le poids des battants des trappes (moment de force) influe sur le taux éventuel de refus. Le cas échéant, des optimisations sont-elles envisageables sans dégrader le niveau de sécurité à contresens ?

Enfin, compte tenu de l'incidence technique sur le mode de réalisation, il est suggéré de tester l'effet de la finition mate ou réfléchissante des équipements faunistiques.

²⁷³ Voir le protocole d'étude de Stull et al. (2011)

²⁷⁴ (Ward, 1982 ; Lavsund et Sandegren, 1991) cités par Bellefeuille et al. (2004)

7.1.3.8 *Pour les échappatoires mécaniques, comment caractériser l'utilisation des fossés béton par les animaux ?*

Il s'agit ici d'étudier les potentialités de passage d'animaux et notamment d'ongulés dans les fossés béton. Est-ce qu'ils y descendent avec facilité ? Un sol en béton est-il répulsif par rapport à une alternative de cheminement dans les emprises en herbes ? De façon opérationnelle, cette recherche permettrait d'étudier l'éventuel intérêt de chercher à renvoyer systématiquement les animaux vers des plaques ou grilles basculantes placées dans les ouvrages hydrauliques et, le cas échéant, de chercher à les optimiser à cet effet. Cela pourrait porter sur la recherche et le développement de dispositifs posés au niveau de « marche d'escalier » dans les fossés, sur l'optimisation des barreaudages, de l'actionnement du battant, etc. Le risque d'embâcles est à prendre en compte, problème classique pour tous les passages d'eau sous clôtures.

7.1.3.9 *Pour les rampes sur mur de soutènement, quelle serait l'incidence d'une rambarde de sécurité en sommet de rampe ?*

Le risque de chute de personne a été rencontré en bibliographie (personnels, éventuels usagers arrêtés et cherchant à regagner une voirie en contrebas) : si les longueurs concernées nous semblent marginales, la question de la sécurisation reste toutefois posée. Est-il possible de sécuriser le haut du mur soit par un système de barre horizontale type main courante sur la structure, soit par un panneau de clôture en retrait en laissant la place à un animal de le contourner pour accéder à la zone de saut ? Ces aménagements représentent-ils un facteur limitant pour la sortie d'animaux ? Le cas échéant, où les positionner pour répondre à des enjeux de sécurité tout en conservant la fonction échappatoire ? Ces équipements pourraient-ils alors aussi contribuer à limiter le risque d'entrée à contresens d'animaux (voir la suggestion de tester des dispositifs anti-retour dans le point 7.1.3.4) ? L'étude pourra prendre en compte l'incidence du dimensionnement général de la rambarde, sa distance à la crête de la rampe, l'écartement des poteaux, etc.

7.1.4 *Axe 4 : étudier la sécurité juridique des réalisations à la création et dans le temps*

7.1.4.1 *Quelles sont les contingences de chaque dispositif en termes de sécurité du trafic ?*

Dans une visée opérationnelle, nous suggérons de faire la synthèse des contraintes d'éloignement des différents types d'échappatoires en fonction de leur caractère d'obstacle en cas de sortie de route de véhicule, selon le type d'infrastructure routière concernée et de distance de l'échappatoire à la chaussée (i.e. effet de rampe ou d'obstacles en cas de percussioin).

7.1.4.2 *Quel est le risque juridique et pour quel acteur en cas d'entrée à contresens ?*

D'un point de vue juridique et/ou de responsabilité du gestionnaire et du prescripteur, y a-t-il un risque à ne pas respecter pour les rampes par exemple la hauteur spécifiée de part et d'autre pour la clôture dans les recommandations officielles (par exemple 2 m mini pour des clôtures à chevreuils en France) ? En cas de contentieux, une rampe plus basse peut-elle être considérée comme une brèche dans le dispositif de contention qui favorise les entrées à contresens ? La portée prescriptive des différents référentiels produits dans chaque pays serait à préciser à cette occasion : normes, guide d'état de l'art, etc.

7.1.4.3 *Quel est le risque juridique et pour quel acteur en cas de collisions sur une voirie riveraine liée à la sortie d'un animal par une échappatoire ?*

Les échappatoires sont destinées à extraire des animaux présents dans les emprises, a priori de façon occasionnelle, voire (dans l'idéal) exceptionnelle. Dans le cas où l'expertise faunistique conduirait à une implantation par exemple à quelques mètres d'une autre infrastructure de transport, le risque (statistiquement sans doute infime mais jamais nul) de collisions entraîne-t-il un risque juridique, et pour qui ? Comment mener au besoin l'analyse bénéfices / risques sachant que par ailleurs des animaux fréquentent probablement déjà l'abord de ces voiries riveraines indépendamment de la présence d'échappatoires ? Faut-il prévoir une distance de retrait minimale entre l'échappatoire et la voirie riveraine afin, par exemple, d'assurer la visibilité des conducteurs et la fuite de l'animal ? Dans des contextes de plus en plus urbanisés ou fragmentés, cette interrogation ne nous semble pas anecdotique.

7.1.4.4 Quelles contraintes éventuelles existe-t-il en cas d'extraction d'un animal vers une propriété riveraine enclose et plus généralement comment prévenir les conflits d'usage ?

Le cas de l'extraction vers des parcelles riveraines closes nous semble devoir être étudié spécifiquement en particulier sur un plan réglementaire. Le gibier étant *res nullius*, quels sont les types de parcelles riveraines clôturées au droit desquels la réglementation pourrait proscrire de poser une échappatoire destinée à extraire d'éventuels animaux de façon très occasionnelle et pour raison de sécurité, au risque d'être assimilé sinon à du piégeage ? Il pourrait notamment s'agir de préciser si le choix doit tenir compte des caractéristiques d'étanchéité faunistique sur tout le pourtour des parcelles riveraines concernées et le cas échéant les critères à prendre en compte ? La question est problématique car le gestionnaire d'infrastructure ne connaît ni ne maîtrise le niveau d'équipement des parcelles riveraines et son évolution...

Au-delà de ce cas et afin d'anticiper les éventuels conflits avec les usages riverains en sortie d'échappatoires, il serait pertinent de disposer d'une approche réglementaire ou juridique en tenant compte du caractère exceptionnel ou régulier des sorties par les échappatoires et du type d'usage ou de contexte riverain (infrastructures de transport, cultures, zone close ou non, etc.).

7.2 Quelques points de vigilance pour de futurs protocoles

Les recommandations qui suivent ont émergé de nos réflexions tout au long du projet ESCAPE XXL. Dans le cadre imparti, il n'a pas été possible de détailler le protocole d'étude précis à suivre pour chacune des questions soulevées (*partie 7.1*).

7.2.1.1 Formaliser la question et l'objectif.

Pour toute recherche, les protocoles de suivis doivent énoncer clairement l'objectif et la question à laquelle le suivi doit répondre. La littérature propose des exemples de protocoles standards en enclos ou in situ pour chaque objectif : méthodes, type d'étude et de matériel²⁷⁵.

7.2.1.2 Disposer de données permettant une analyse robuste/

Pour les études comparatives in situ, le choix des sites et la taille de l'échantillon doivent faire l'objet d'une réflexion préalable avec un biostatisticien de façon à permettre des conclusions valides. De même pour les tests en enclos, le nombre de répétitions est à préciser en amont pour permettre un traitement statistique. Une analyse comparative des méthodes statistiques utilisées en Amérique du nord serait à mener dans le cadre d'une revue systématique.

Sur le terrain, l'une des difficultés pour localiser les sites à instrumenter est liée à la présence ou non d'animaux dans les emprises. En pratique, les clôtures dans lesquelles s'insèrent les échappatoires visent à prévenir leur intrusion. La présence d'animaux à l'intérieur des clôtures est fonction entre autres des conditions de population locale (distribution, abondance, etc. conditionnées elles-mêmes par la qualité de l'habitat et de la topographie²⁷⁶) ainsi que de l'étanchéité des clôtures. Cette différence de distribution spatiale a une incidence le choix des sites d'étude et sur les sites témoins.

Enfin, pour toutes les études in situ, il est nécessaire de faire porter les analyses à la fois sur les échappatoires qui enregistrent des sorties mais aussi ceux où des animaux étaient présents à proximité mais ne les ont pas utilisés (c'est la limite des analyses portant a posteriori sur les seuls cas positifs).

7.2.1.3 Assurer des suivis suffisamment longs.

La distribution temporelle des collisions varie dans l'année en fonction du cycle de reproduction, des conditions d'alimentation, des pratiques de chasse, de la météorologie et de la neige, etc.²⁷⁷ Pour les suivis de terrain, nous recommandons de couvrir plusieurs années (au moins 3) afin d'intégrer non seulement l'ensemble du cycle des

²⁷⁵ Notamment (Clevenger et Huijser, 2011).

²⁷⁶ Voir la revue de Bellefeuille et al. (2004).

²⁷⁷ Voir par exemple les études et analyses documentaires convergentes en Amérique du nord et en Europe de Bellefeuille et al. (2004) et Putman (1997).

espèces mais aussi des variations interannuelles. Cette durée est à réfléchir et adapter en fonction de l'intensité d'intrusions dans les emprises avant la pose de l'échappatoire ou pendant l'étude : plus les intrusions sont faibles, plus le suivi devra être long pour tenter d'atteindre un nombre d'observations suffisant. Une difficulté pratique résidera alors dans la possible évolution des conditions d'équipements ou de végétation sur le tronçon d'infrastructure étudié et aux abords de l'échappatoire durant ce laps de temps.

7.2.1.4 Documenter le contexte.

Pour les suivis in situ, la comparaison des observations sur différentes échappatoires nécessite de caractériser de façon détaillée et standardisée les sites d'étude. Il s'agit par exemple de décrire le type d'infrastructures, l'intensité du trafic, la proximité éventuelle d'une zone urbaine et son importance (densité de population par exemple), le type de milieu et d'usage des parcelles riveraines, le relief général hors emprises, le profil en travers dans les emprises, la couverture et la structure végétale dans et hors emprises au droit de l'échappatoire, le descriptif des mesures d'accompagnement.

7.2.1.5 Instrumenter de façon à valider les sorties effectives, les refus et les entrées à contresens réussies ou non.

Pour des suivis in situ, quel que soit le dispositif (pièges photographiques, pièges à traces, etc.), il faut adapter par exemple le nombre, la localisation, la hauteur et l'angle de vue, etc. de façon à visualiser l'entrée et la sortie de l'échappatoire.

L'étude des refus ou du taux d'efficacité nécessite toutefois de documenter aussi la présence dans les emprises des animaux éventuellement candidats à la sortie par l'échappatoire ciblée et ce à différentes échelles. Il s'agit non seulement d'observer la complète sortie d'un animal par une échappatoire²⁷⁸ mais au-delà la présence effective d'animaux en approche du dispositif et de ses aménagements connexes, et plus loin encore (*Figure n° 46*).

Ainsi, lors de suivis, nous recommandons :

- d'étudier la présence d'animaux au sein des emprises de la section clôturée (échelle du km ou de plusieurs centaines de mètres), c'est-à-dire au-delà de tous les éventuels aménagements connexes mis en place autour de cette échappatoire : relevé des coulées si la détermination de l'espèce et de la fréquence de passage est possible, éventualité de pièges à traces traversant les emprises, pièges photos ou vidéos, test éventuel d'analyse par un réseau de capteurs visuels²⁷⁹ ;
- de documenter ensuite si des animaux convergent effectivement ou non vers l'échappatoire, c'est-à-dire dans le périmètre couvert par les aménagements connexes (haie de guidage, butoir, etc.) ;
- d'étudier si un animal se présente « dans » le dispositif, par exemple sur la rampe ou dans le mètre devant une échappatoire mécanique ;
- et enfin de valider ou non leur éventuelle sortie.

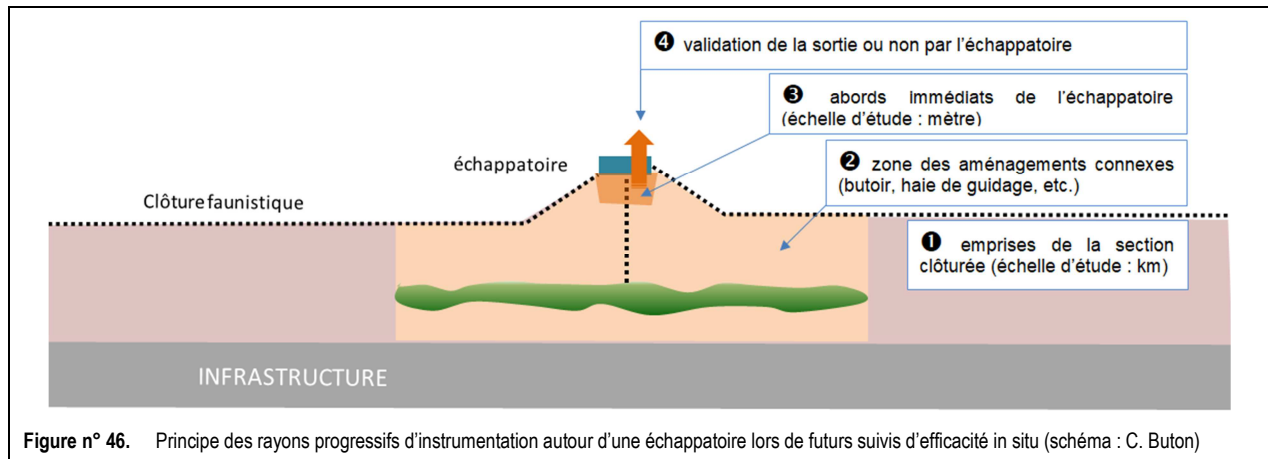
Pour les régions où le climat le permet, nous soulignons ici l'intérêt du suivi des traces dans la neige : ce type de suivi n'est cependant pas toujours programmable car tributaire des chutes de neige. Réalisé même ponctuellement, il peut être riche d'enseignement car il permet de visualiser la fréquentation et les itinéraires empruntés dans les emprises.

Pour les tests en enclos, l'instrumentation doit permettre de documenter le cas échéant les conditions du refus (actionnement ou non du battant par exemple).

Pour l'étude des éventuelles entrées à contresens, la progressivité pourra être plus sommaire : enregistrement des animaux approchant au droit immédiat des échappatoires et de ceux réussissant une entrée à contresens.

²⁷⁸ Voir par exemple le protocole de réglage des pièges photos pour la validation des passages de Jensen (2018).

²⁷⁹ Voir par exemple le projet OKAPI qui, à partir de capteurs visuels, vise à établir une chaîne de traitement pour évaluer la présence d'espèces cibles ou encore simuler la fréquentation d'un territoire. (Moulherat et Tarel, n.d.)



7.2.1.6 Tenir compte de l'éventuel retour d'un même individu sur une échappatoire donnée.

En Amérique du nord, il a été pointé que la plupart des recherches sur les échappatoires ont évalué les taux de sortie mais sans marquer les individus, il est donc impossible de caractériser d'éventuels retours d'un même individu²⁸⁰ ou le nombre de retours avant sa sortie effective. Selon Jensen (2018), les résultats des études ne sont donc pas basés sur de véritables réplicats mais sur des observations non-indépendantes²⁸¹ qui perturbent l'analyse et limitent les possibilités d'extrapoler les résultats : en effet, le retour d'individus sur un même site fait que la proportion d'événements qui aboutissent à un saut ne serait pas un indicateur fiable de la probabilité pour un animal quelconque d'utiliser l'échappatoire²⁸². La seule étude rencontrée qui documente ce point pour le Cerf muet se base sur des détails morphologiques (bois des mâles et oreilles des femelles)²⁸³.

La problématique d'un éventuel retour sur une même échappatoire de certains individus est non seulement un défi pour l'analyse des résultats mais aussi pour la gestion opérationnelle : le cas échéant, comment gérer ces éventuels animaux réutilisant une même échappatoire ?²⁸⁴

Dans les protocoles d'étude, il est suggéré de tenir compte de ce risque. Pour des suivis in situ, il serait pertinent de chercher à marquer des individus pour tenir compte de la pseudo-réplication dans l'évaluation des taux d'efficacité²⁸⁵. Des protocoles sont à imaginer : marquage couleur automatique au premier passage (« brosse à colorant »), enregistrement photo ou vidéo de critères physiques particuliers, analyse ADN individuelle par collecte de poils lors du passage ?

Pour contrer l'effet de ces pseudo-réplicats lors de tests en enclos, il est possible de s'inspirer des protocoles des tests du CERA²⁸⁶ qui ont impliqué des groupes d'individus différents et tenu compte de leur connaissance préalable ou non des dispositifs ou de leur localisation.

7.2.1.7 Tenir compte des différences de comportement entre individus.

Dans les tests d'efficacité d'une échappatoire en enclos, ou d'une configuration donnée, nous recommandons d'intégrer dans les protocoles une diversité d'individus (sexe, âge²⁸⁷, etc. mais aussi « tempérament » individuel) ainsi que faire preuve de prudence dans l'interprétation des observations. Au sein d'une population d'animaux, les individus réagissent de façon variée à une situation donnée en fonction de leur tempérament : le comportement de prise de risque est distribué le long d'un continuum entre timidité et audace²⁸⁸. Récemment, un porter à

²⁸⁰ (Bissonette et Hammer, 2000) et la revue d'études de Jensen (2018)

²⁸¹ En anglais « pseudoreplicates » au sens de Hurlbert (1984) cité par Jensen (2018).

²⁸² (Perrine, 2015) dans (Jensen, 2018)

²⁸³ (Jensen, 2018)

²⁸⁴ Questionnement évoqué avec SYSTRA en 2013.

²⁸⁵ (Jensen, 2018)

²⁸⁶ (Meunier, 2000)

²⁸⁷ Voir par exemple les taux de sorties selon l'âge et le sexe des animaux observés sur les rampes par Gagnon et al. (2020).

²⁸⁸ En anglais, « shy-bold continuum » selon Wilson et al. (1994) cité par Stull et al. (2011).

connaissance²⁸⁹ a détaillé les résultats de suivis GPS obtenus sur des ongulés nord-américains et met en évidence les différents types de comportement individuels face à une clôture avant de trouver ou non un point de franchissement.

Par ailleurs, pour des tests de passage « en enfilade » de plusieurs animaux, nous recommandons de tenir compte des éventuels rapports hiérarchiques et interactions sociales entre les candidats au passage et ceux qui sont présents à l'extérieur du grillage (i.e. déjà sortis par les échappatoires ou bien animaux sauvages hors emprise)²⁹⁰.

Enfin, en lien avec la question de la réplication (*voir ci-dessus le point 7.2.1.6*), il est rappelé que pour certains individus le passage peut être progressif : le phénomène peut avoir lieu sur un temps donné où l'animal reste face à une échappatoire ou encore nécessiter plusieurs retours échelonnés avec une investigation plus poussée du dispositif à chaque fois. Des observations²⁹¹ suggèrent que ce qui est analysé comme un refus par certains animaux à un instant t peut se solder par leur passage ultérieur. Il est suggéré de prendre en compte ce facteur lors de l'élaboration des protocoles d'études.

Pour mémoire, des références soulignant une phase d'habituation d'un animal face à d'autres équipements faunistiques sont données en annexe (*Annexe 13*).

7.2.1.8 Tenir compte de la sensibilité de chaque espèce lors des tests en enclos.

Pour le Chevreuil, le CERA note que de sérieuses précautions doivent être prises lors de toute expérience²⁹². En effet, l'élevage et la manipulation des individus restent très délicats : des animaux pourtant nés en captivité restent très craintifs et sont facilement stressés. Cette étude fournit des exemples d'adaptation des protocoles à la limitation du stress des animaux, comme le maintien des animaux dans leur parc habituel pour éviter qu'ils ne se tuent en se jetant dans les clôtures. Par ailleurs, dans leurs tests de franchissement de clôtures, seules celles de hauteur 1,40 m ont été testées compte tenu du danger que constitue pour les chevreuils le saut par-dessus des clôtures plus hautes.

7.2.1.9 Pour les tests en enclos, tester au préalable que les animaux identifient la brèche avant de l'équiper d'une échappatoire et tester qu'ils ont envie de sortir.

Dans les études d'efficacité, il s'agit ici de pouvoir distinguer les éventuels refus liés au dispositif échappatoires de ceux liés à une absence d'identification de la sortie possible par cet équipement²⁹³. Ceci implique également de tenir compte de leur motivation à sortir ainsi que de leur éventuelle connaissance préalable des clôtures (notion de conditionnement qui limiterait leurs velléités de franchissement). Le stimulus d'incitation au franchissement peut être alimentaire (mise à disposition de nourriture de l'autre côté), social (séparation du groupe, notamment jeune – mère) ou de réponse au dérangement (présence humaine)²⁹⁴.

7.2.1.10 Pour toutes les observations en conditions réelles, rechercher les points d'entrée des animaux à chaque utilisation ou approche de l'échappatoire depuis les emprises.

Dans un objectif de prévention des collisions, toute donnée de sortie dans le cadre d'un suivi ou de façon fortuite doit donner lieu à une recherche du point d'entrée. Il peut d'ailleurs arriver que les traces de sortie par une échappatoire soient le signe d'une intrusion dans les emprises qui serait passée inaperçue sinon.

²⁸⁹ Présentation de W. Xu (Draper Natural History Museum, 2021) suite à McInturff et al. (2020).

²⁹⁰ Suite aux observations faites lors des tests en enclos des trappes Sangli-pass (enquête)

²⁹¹ lors des tests en enclos des trappes Sangli-pass (enquête)

²⁹² (Meunier, 2000)

²⁹³ Voir les protocoles sur Chevreuil dans (Meunier, 2000)

²⁹⁴ (Meunier, 2000), (Stull et al., 2011).

8 CRITIQUE DE LA METHODE SUIVIE

Face au manque de synthèse préexistante sur le sujet en France et en Europe, l'une des difficultés de ce projet a été d'identifier les interlocuteurs et l'existence d'éventuelles données. Ce travail avait été initié un an avant le lancement d'ESCAPE XXL via différents canaux, poursuivis ensuite dans le cadre du projet exploratoire. Peu de pays ayant répondu à notre enquête, il n'a pas été possible de documenter en détail l'état des réalisations et connaissances dans le cadre imparti au projet. Pour la France, des données restent à collecter concernant des réalisations (sas Faun'Trap sur réseau ferroviaire) ou des suivis en cours (rampes et trappes sur autoroutes). Dès lors, l'hétérogénéité des données récoltées dans ce projet exploratoire, que ce soit en termes de format ou de précision, n'a pas permis leur traitement systématique.

Enfin, dans le cadre d'une mutualisation de ce retour d'expérience et pour consolider les données intégrées, il aurait été pertinent de soumettre ce rapport à la relecture des principaux contributeurs. Tous ces points n'ont pu être menés dans le cadre de ce projet exploratoire et appellent à une poursuite des travaux.

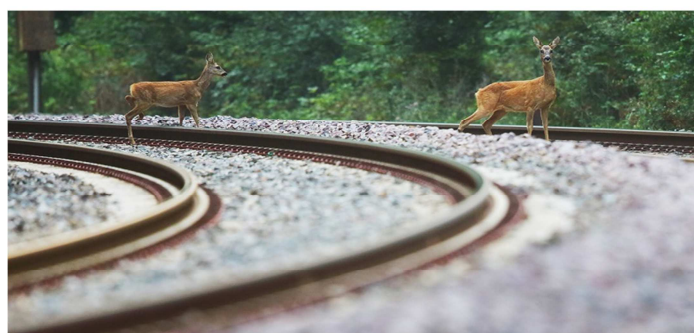
Ce rapport technique aurait pu être synthétisé pour une lecture plus aisée des non-professionnels, mais il nous paraissait important d'aborder l'ensemble des dispositifs et des problématiques associées. Il peut permettre par ailleurs d'envisager au besoin la formalisation ultérieure d'un guide opérationnel.



Avec le soutien de :



Projet exploratoire **ESCAPE XXL**



Etat des connaissances et retour d'expérience sur les dispositifs de sortie des clôtures pour les ongulés sauvages.

ANNEXES

Auteurs :



mars 2022



Annexe 1. Les auteurs

Christine SAINT-ANDRIEUX

Directrice scientifique du projet exploratoire ESCAPE XXL, Christine Saint-Andrieux est ingénieure agricole spécialisée en écologie. Elle a travaillé au sein de l'ONCFS sur les ongulés sauvages et leurs relations avec leurs habitats puis est maintenant cheffe de service adjointe à l'OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique pour le service « Anthropisation et fonctionnement des écosystèmes terrestres ». Les connaissances qu'elle a acquises au cours de plusieurs dizaines d'années d'études et de suivis des ongulés sauvages, les études scientifiques réalisées sur la problématique des collisions ainsi que les expertises sur la fragmentation de l'espace permettent de faire le lien entre la biologie de ces espèces et les solutions concrètes à trouver.

christine.saint-andrieux@ofb.gouv.fr

François NOWICKI

François Nowicki est Ingénieur des Travaux Publics de l'État au sein du groupe Biodiversité Aménagement et Nature en Ville de la direction territoriale Est du Cerema. Il est expert du réseau scientifique et technique du ministère en charge de l'écologie sur les problématiques liées à la prise en compte des milieux naturels dans les projets d'infrastructures. Rédacteur du guide Cerema sur la prise en compte des chiroptères dans le cadre des projets d'infrastructures, il a également assuré le pilotage de la réactualisation du guide sur les passages à faune.

francois.nowicki@cerema.fr

Caryl BUTON

Caryl BUTON est ingénieur agronome, spécialisé en sciences et génie de l'environnement et membre de l'Association Française Interprofessionnelle des Ecologues (AFIE). Au sein du Cabinet X-AEQUO, il intervient sur la gestion de la végétation, des collisions animales et de la fragmentation des milieux naturels. C. BUTON participe aux réseaux techniques nationaux et internationaux (IENE). Il est associé aux réflexions et publications récentes du CEREMA et participe aux formations ingénieurs (ENSAIA, ENGEES). Il a participé au déploiement de plus de 200 échappatoires de différents types. Il est co-brevetant de l'échappatoire pour sangliers Sangli-pass® avec la société ESCOTA (VINCI Autoroutes), développé à la demande de cette dernière et en partenariat avec les fédérations de chasse de la région Provence Alpes Côte d'Azur.

x-aequo@orange.fr

Clément SORTAIS

Clément SORTAIS a contribué au sein du Cabinet X-AEQUO au lancement d'ESCAPE XXL en 2020 dans le cadre de son stage de fin d'études ingénieur agronome (VetAgro Sup, option AEST – Agriculture, Environnement, Santé et Territoire).

Contribution des auteurs :

C.B. est à l'origine du projet. C.S.-A., C. B. et F. N. ont conçu le projet. C.B., C. S. et C.S.-A. ont collecté les données d'enquête. C.B. et C.S. ont analysé la bibliographie et les résultats d'enquête. C.B. a assuré la rédaction du manuscrit. C.S.A. et F.N. ont mené plusieurs révisions critiques du rapport. C.S.-A., C. B. et F. N. ont validé le livrable final.

Annexe 2. Espèces d'ongulés citées dans ESCAPE XXL

Ongulés cités dans ESCAPE XXL (= mentionnés dans la bibliographie ou l'enquête)	ESPECE			DISTRIBUTION	
	nom vernaculaire français	nom vernaculaire anglais (américain)	nom scientifique	Europe	Amérique du nord
Cible du projet ESCAPE XXL : les 3 ongulés les plus abondants en France	Cerf élaphe	red deer	<i>Cervus elaphus</i>	X	
	Chevreuril d'Europe	roe deer	<i>Capreolus capreolus</i>	X	
	Sanglier d'Europe	wild boar	<i>Sus scrofa</i>	X	X introduit
Autres ongulés trouvés en bibliographie ou dans l'enquête : cités ici à titre d'exemple pour les dispositifs testés	Cerf de Virginie (Québec : Chevreuil)	white-tailed deer	<i>Odocoileus virginianus</i>	X introduit : par exemple ²⁹⁵ en Finlande	X
	Cerf mulet	mule deer	<i>Odocoileus hemionus</i>		X
	Chèvre des montagnes Rocheuses	(rocky) moutain goat	<i>Oreamnos americanus</i>		X
	Elan, Orignal	moose	<i>Alces alces</i>	X	X
	Mouflon canadien	bighorn sheep	<i>Ovis canadensis</i>		X
	Mouflon du désert	desert bighorn sheep	<i>Ovis canadensis nelsoni</i>		x
	Pronghorn	pronghorn	<i>Antilocapra americana</i>		X
	Wapiti	elk	<i>Cervus canadensis</i>		X

D'autres espèces d'ongulés existent en France ou en Europe mais aucune mention n'en a été trouvée dans les investigations menées dans le cadre du projet exploratoire ESCAPE XXL.

²⁹⁵ Voir les études d'accidentologie finlandaises citées par Bellefeuille et al. (2004).

Annexe 3. Ebauche d'inventaire des dispositifs échappatoires

Cette liste compile les mentions trouvées en bibliographie ou citées dans les différentes enquêtes, mais également dans des parutions grand public et sites internet. Les références des mentions ont été archivées.

Pays	Type d'infrastructures	Infrastructure	Département	Localisation précise	Précisions sur quantité	rampe	portillon	trappe	Sangli-pas	sas	peigne courbe	autre	type non précisé	Gestionnaire
Allemagne	Autoroute	B 292 Aglasterhausen - Mosbach		Aglasterhausen	14	x								District office Neckar-Odenwald-Kreis, Department of transportation
Allemagne	Zone naturelle	Hors infrastructure de transport		Frontière est de Berlin, ancienne zone militaire (Döberitzer Heide)									x	
Allemagne	Zone naturelle	Hors infrastructure de transport		Liebethal, Brandenburg									x	
Belgique	Parcelle agricole	Aucune						x						
Belgique	Route / autoroute : non précisé			Flandres	Classiquement implantés dans	x								
Belgique	Route / autoroute : non précisé			Flandres	tous les projets de clôtures liés à des mesures de défragmentation.			x						
Canada	Autoroute	Route 11 (= Highway 11)	Ontario			x								
Canada	Autoroute	Route 11 (= Highway 11)	Ontario		au moins 26 paires						x			
Canada	Autoroute	Route 69	Ontario								x			
Canada	Autoroute	Transcanadienne	Alberta	Echangeur Les Trois Soeurs (Three Sisters) à Canmore		x								
Canada	Autoroute	Hwy 3	Alberta	Crowsnest Pass		x								
Canada	Non précisé		Nouvelle Ecosse								x			
Canada	Route ou autoroute		Alberta	Banff National Park		x								
Canada	Non précisé		New Brunswick								x			
Espagne	Autoroute	A-60		PK135+000		x								
Espagne	Autoroute	A62		Fuentes de Oñoro				x						
Espagne	Autoroute			Vallcanera, au niveau d'un écopont	4	x								
Espagne	Autoroute			Usurbil, Hernani				x						autoroutes BIDEGI
Espagne	LGV (HSR)	Bilbao-Vitoria Highspeed Railway		Vitoria				x						ADIF
Espagne	LGV (HSR)	Castejón - Villafranca (Navarra) Highspeed Railway		Navarra				x						ADIF
Espagne	LGV (HSR)	LAV Palencia - León		Sahagún (PK55+471)		x								
Espagne	LGV (HSR)	Plusieurs lignes		Certains dispositifs suivis en Catalogne			x	x						ADIF
Espagne	LGV (HSR)			Vitoria				x						
Espagne	LGV (HSR)			Vitoria		x								
Espagne	Ligne à Grande Vitesse	Línea de Alta Velocidad Madrid-Valencia-Alicante				x								ADIF
Espagne	Ligne à Grande Vitesse	Línea de ferrocarril de alta velocidad Madrid-Valencia-Alicante, Barcelona-Frontera Francesa					x?	x?					x	ADIF
Espagne	Route - non précisé	Non précisé		Villalba		x								
Espagne	Route - non précisé	Non précisé		routes du Sud l'Espagne		x								
Espagne	Routes			Navarra		x								
Espagne	Voie ferrée - non			Miñano		x								

[illegible]

Pays	Type d'infrastructures	Infrastructure	Département	Localisation précise	Précisions sur quantité	rampe	portillon	trappe	Sangli-pass	sas	peigne courbe	autre	type non précisé	Gestionnaire
			unique (72)	Commune de Cormes.										Autoroutes)
France	Autoroute	A72	(42)	Test 2018 : 1 sas dans le (42) =St Foy st Sulpice + 1 autre déplacé en cours de test Nervieux à Poncins.	2					x			x	ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A8	(83)		46				x					ESCOTA (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A8	(83)			x								ESCOTA (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A83	PUGF simple : 6x (85), 1x (79)		7			x					x	ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A837	PUGF simple : 1x (17)		1			x					x	ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A85	(37)	PR 99, commune de Monts	2								x	Cofiroute (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A87	PUGF simple : 2x (49), 7x (85)		9			x					x	ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A89	PUGF double : 16x (63), 23x (19), 20x (24)		59		x	x					x	ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A89	RUGF simple : 10x (19), 1x (63) ; RUGF double angle : 2x (19)		13	x								ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A89	Faun'Trap : (63), (42) au moins 3	Faun'Trap : entre Clermont-Ferrand et Saint-Etienne : Test 2012 = 3 sas dans le (42) à Cervières (PK450,3 et 452,6) et Luré (PK468,2). Test 2018 : 4 sas dans le (42) à Noiretable, St Marcel, d'Urfé, Cervières, St Germain Laval (+1 sur A72 dans le (42) : ligne spécifique =St Foy st Sulpice).	6					x				ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	A9			1				x					ASF (Vinci Autoroutes)
France	Autoroute	Plusieurs autoroutes appartenant à APRR dont A31		Lors du test 2002-2004 sur district Allain : 2 rampes.	2	x								APRR (EIFFAGE)
France	Autoroute	Plusieurs autoroutes appartenant à APRR dont A31		Lors du test 2002-2004 sur district Allain : 22 portes.	22		x							APRR (EIFFAGE)
France	Enclos Forestier		(15)	Forêt domaniale de Murat - Commune d'Albepierre-Bredons		x								ONF
France	LGV	LGV Est Européenne (Paris - Strasbourg)	(57) et (67)	(57) : Conthil (x1), Rorbach-lès-Dieuze (x1), Belles Forêts (x3), Haut-Clocher (x1)- (67) : Ermsheim-lès-Saverne (x1), Mittelhausen (x1)	8	x								SNCF Réseau
France	LGV	LGV Interconnexion Est	(77)	Les communes de Courquetaine, Coubert, Grisy- Suisnes et Presles en Brie						x				SNCF Réseau
France	LGV	LGV Nord (Paris-Lille)								x				SNCF Réseau
France	LGV	LGV PARIS LILLE et PARIS MARSEILLE								x				SNCF Réseau
France	LGV	LGV Sud-Est Européenne (Paris-Lyon)	(13)							x				SNCF Réseau
France	LGV	LGV Sud-Est Européenne (Paris-Lyon)	(13)			x								SNCF Réseau
France	LGV	LGV Sud-Est Européenne (Paris-Lyon)	(13)	Plateau d'Arbois, à proximité de la gare d'Aix-en-Provence	2				x					SNCF Réseau

Pays	Type d'infrastructures	Infrastructure	Département	Localisation précise	Précisions sur quantité	rampe	portillon	trappe	Sangli-pass	sas	peigne courbe	autre	type non précisé	Gestionnaire
France	LGV	Ligne Muncq Nieurlet - Recques sur Hem	(62)	Entre Muncq Nieurlet et Recques sur Hem				x						SNCF Réseau
France	LGV	Nœud de Marne la Vallée	(77)						x					SNCF Réseau
France	LGV	Paris-Bordeaux	(86)									x		SNCF Réseau
France	Route Départementale	RD 775	(49)	Dont 1 entre La Membrolle sur Longuenée et Le Lion d'Angers et 1 entre Le Lion d'Angers et Segré	Au moins 2				x					Département du 49
France	Route Nationale	RN Limoges	(87)		1				x					DRFP Limousin ?
France	Route Nationale	RN10	(86)					x						DREAL Poitiers ?
France	LGV	Contournement Nîmes Montpellier	(34)		Confirmer si réalisé	x								
France	Autoroutes		(85)					x						ASF
Pays-Bas	Autoroute	A2	non précisé			x								
Pays-Bas	Autoroute	A28		Près de Spier, Drenthe		x								
Pays-Bas	Autoroute	A1		Plusieurs centaines de réalisations dans tout le pays (dont systématiquement 4 par écoponts plus d'autres non situés à proximité des écoponts)...	Plusieurs centaines dans tout le pays			x						Dutch national roads agency Rijkswaterstaat
Pays-Bas	Autoroute	A1				x								
Pays-Bas	Autoroute	A12						x						
Pays-Bas	Autoroute	A12				x								
Pays-Bas	Autoroute	A27						x						
Pays-Bas	Autoroute	A27				x								
Pays-Bas	Autoroute	A50		Plusieurs centaines de réalisations dans tout le pays	Plusieurs centaines dans tout le pays			x						Dutch national roads agency Rijkswaterstaat
Pays-Bas	Autoroute	A50				x								
Pays-Bas	Routes et autoroutes	N200		Zeeweg, entre Overveen et Bloemendaal aan Zee	Plusieurs dizaines	x								Province of Noord-Holland
Pays-Bas	Route	N302		Leuvenumseweg, Sonnevank, est de Harderwijk				x						
Pays-Bas	Routes / autoroutes	A2 (sous réserve)		près de Weert		x								
Pays-Bas	Routes / autoroutes	A2 (sous réserve)		Village de Swalmen				x?						
Pays-Bas	Routes / autoroutes	A25		Près de Weert		x								
Pays-Bas	Routes / autoroutes	A25		Village de Swalmen				x?						
Pays-Bas	Routes / autoroutes	A73		Près de Weert		x								
Pays-Bas	Routes / autoroutes	A73		Village de Swalmen				x?						
Pays-Bas	Voie ferrée- non précisé			Soest		x								
Suède	non précisé					x								
USA	Autoroute	CO-9	Non précisé			x								
USA	Autoroute	Highway 101	Californie	près de San Luis Obispo County	4	x								
USA	Autoroute	I-17	Arizona			x						X		
USA	Autoroute	I-70	Colorado	près de Vail, Colorado	8					x				
USA	Autoroute	I-70	Colorado							x				
USA	Autoroute	I-70		Non précisé		x								
USA	Autoroute	I-80	Nebraska	Dont Platte River		x								
USA	Autoroute	I-80	Nebraska										x	
USA	Autoroute	I-90	Washington	Dont Snoqualmie		x								
USA	Autoroute	I-90	Minnesota	Walnut Lake Wildlife Management Area, Faribault County	20					x				
USA	Autoroute	I-94	Minnesota	Près de St John-s College, Stearns County	18					x				
USA	Autoroute	Non précisé	Alaska	Non précisé	30					x				
USA	Autoroute	Highway 191	Non précisé			x								
USA	Route ou autoroute (à préciser)	SR 68	Arizona (à confirmer)			x								

Pays	Type d'infrastructures	Infrastructure	Département	Localisation précise	Précisions sur quantité	rampe	portillon	trappe	Sangli-pass	sas	peigne courbe	autre	type non précisé	Gestionnaire
USA	Route ou autoroute (à préciser)	SR 248 (sous réserve de vérification avec US 40)	Utah	Près de Jordanelle Reservoir (MP3,3-MP13,5)	20						x			
USA	Route ou autoroute (à préciser)	SR 260	Arizona	Dont Preacher Canyon		x					x			
USA	Autoroute	US 6	Colorado			x								
USA	Autoroute	US 30	Wyoming	Nugget Canyon		x								
USA	Autoroute	US 40 (sous réserve de vérification avec SR 248)	Utah	Près de Jordanelle Reservoir (MP 4 – MP 13)		x					x			
USA	Autoroute	US 64	North Carolina,	Washington County							x			
USA	Autoroute	US 91	Utah	Sardine Canyon (MP 6 – MP 10)		x					x			
USA	Autoroute	US 93	Arizona			x					x			
USA	Autoroute	US 93	Montana	Dont Flathead Indian Reservation entre Evaro et Polson		x								
USA	Autoroute	US 93	Nevada	Dont près de Wells		x								
USA	Autoroute	US 95	Idaho	Nord de Bonners Ferry		x								
USA	Autoroute	US 97	Washington	Dont US 97A au nord de Wenatchee		x								
USA	Autoroute	US 191	Wyoming	Dont Nord de Daniel Jct, près de Pinedale et Trappers Point		x								
USA	Autoroute	US 550	Colorado	Nord de Ridgway, Ouray County		x								
USA	Route	Route	Iowa								x			
USA	Route ou autoroute	non précisé	Montana	Thomspon Falls		x								
USA	Route ou autoroute		Nevada			x								

Annexe 4. Echappatoires pour des taxons de faune hors ESCAPE XXL

A titre informatif, cette liste non exhaustive donne des exemples d'équipements rencontrés au cours de notre recherche relative aux ongulés.

taxon	Espèce cible	dispositif	Pays
Grande faune hors ongulés	Utilisation fortuite d'échappatoires grands ongulés par une autre faune : Ours noir. Le document signale que qu'il n'est « pas connu si des études ont démontré l'utilisation de sautoirs par des carnivores. »		Canada (Ontario)
Grande faune hors ongulés	Grands carnivores	Porte ou portail ouvert manuellement	Croatia: Rijeka-Zahreb motorway
Grande faune hors ongulés	(Pour mémoire) : Espèces d'élevage (passages pour « rattraper » du bétail) : des brevets peuvent être des sources d'inspiration pour concevoir des échappatoires faune sauvage.	différents brevets à analyser : US 2930353 A (SIEVERS ALBERT H) 29.03.1960, US 5081958 A (QUISENBERRY TERRY) 21.01.1992, FR 2811512 A1 (GALVELPOR SA) 18.01.2002, US 3799115 A (FULLERTON M et al.) 26.03.1974, US 2006065209 A1 (MAY ARLEN et al.) 30.03.2006, JP 2005240363 A (TSURUSAKI FUME KK) 08.09.2005, JP 2009280952 A (SATO KEIICHI) 03.12.2009	
Grande faune hors ongulés	(Pour mémoire) : Espèces d'élevage (passages pour « rattraper » du bétail)	Dispositif pour chevaux dans des grands pâturages (pour les marquer et les déplacer)	Allemagne
Moyenne et petite faune	« Eastern quolls »	rampes	Tasmanie
Moyenne et petite faune	Koala (Phascolarctos cinereus) mais passage non avéré. Dans l'étude, données de passages y compris à contresens pour le Swamp Wallaby (Wallabia bicolor), bandicoots (Isodon macrourus et Perameles nasuta). Pas d'usage plus fort des rampes en fin de clôtures. Nécessité de tester des rampes plus hautes	Rampes installées de façon "commune"	Australie
Moyenne et petite faune	American badger (Taxidae taxus)	Non précisé (« escape gate »)	Amérique du Nord
Moyenne et petite faune	Moyenne faune dont Blaireau d'Europe	Trappes (trappes aluminium inclinées pour se rabattre par gravité). Risquent de ne pas se fermer complètement si abîmées ou bloquées par des débris, les trappes sont donc installées sur plateforme béton.	
Moyenne et petite faune	Moyenne faune dont Blaireau d'Europe	Rampes d'environ 1 m	
Moyenne et petite faune	Blaireau d'Europe	Trappes	Espagne
Moyenne et petite faune	Blaireau d'Europe	Les portails pour blaireaux peuvent avoir un effet dissuasif, mais fonctionnent souvent mal. Il est préférable de construire une section élevée ou une rampe du côté donnant sur la route, pour permettre aux blaireaux de sauter par-dessus la clôture.	Pays-Bas
Moyenne et petite faune	Blaireau d'Europe	Trappes en bois non soulevables par la petite faune, avec possibilité de l'installer en passage double sens ou en sens unique au choix. Il est recommandé de privilégier un bois imputrescible et un produit de préservation du bois inodore.	
Moyenne et petite faune	Moyenne et petite faune	Trappe basculante galvanisée	Données à confirmer : province du Limburg / Pays Bas
Moyenne et petite faune	Moyenne et petite faune	Trappes pour petite et moyenne faune	
Moyenne et petite faune	Moyenne et petite faune	Tas de branches ou troncs le long de clôtures	
Moyenne et petite faune	Moyenne et petite faune dont Lynx pardelle (Lynx pardinus)	Troncs ou tas de branchages calés contre la clôture	
Moyenne et petite faune	Lynx pardelle (Lynx pardinus)		
Moyenne et petite faune	Moyenne et petite faune	Rampes	Espagne
Moyenne et petite faune	(pour mémoire car échappatoire pour mur) Renard	Expérimentation pour les renards en plaçant de chaque côté du mur ou du grillage une échelle en pente douce. Les barreaux résistent au passage d'un renard mais cèdent sous le poids d'un homme.	Grande-Bretagne
Moyenne et petite faune	Amphibiens	Rampes ou dispositifs particuliers	
Moyenne et petite faune	Reptiles	Rampes et dispositifs mécaniques passifs non précisés	

taxon	Espèce cible	dispositif	Pays
		Egalement pour les tortues. Il est signalé que si des « murs barrières » (« barrier wall ») sont intégrés au remblai de la route, les reptiles peuvent sortir partout en sautant ou tombant.	
Moyenne et petite faune	Petite faune	Tremplins échappatoires (largeur 1.5 x longueur 2 m jusqu'à la hauteur de la barrière à amphibiens) en terre	
		Rampes pour s'échapper des caniveaux secs ou en eau (rejoint la problématique des échappatoires aquatiques non traitées ici)	
Moyenne et petite faune	Animaux grimpeurs	Poteaux le long de la clôture	
Moyenne et petite faune	Lynx ibérique	Souches d'arbres empilées	
Non précisé		Rampes maçonnées étroites	Espagne A-60
Non précisé		Schémas de rampes maçonnées étroites en "quai de chargement" remplissage terre	Espagne LAV Palencia- Léon
Non précisé		Rampes en terre à mi-clôture	Pays-bas
Non précisé		Schémas de petites trappes largeur 40 x hauteur 50 cm avec butoir grillagé de longueur 100 x hauteur 40 cm	
Moyenne et petite faune / Echappatoires <u>bidirectionnelles</u>	Création d'orifices à contour renforcé en pied de clôtures		

Annexe 5. Rampes – exemples de recommandations de hauteur

Référence	Site	espèce	Hauteur recommandée
(AZDOT 2011)	USA	Wapiti, Cerf mulet et Cerf de Virginie	Recommandation générale de 1.7-1.8 m (5.5-6.0 ft). Estime rédhibitoire une hauteur de chute trop forte (7ft).
(AZDOT, 2013) cité par (Huijser et al., 2015)	USA	Wapiti, Cerf mulet, Cerf de Virginie	Recommandation de 1.7-1.8 m (5.5-6.0 ft).
(Huijser et al., 2015)	Amérique du nord	Wapiti, Cerf mulet, Cerf de Virginie	La plupart des rampes n'ont pas été évaluées en termes d'efficacité. Une certaine efficacité notée entre 1.7-2.0 m (6 à 7 ft). Réponses reçues insuffisantes sur la hauteur nécessaire pour prévenir les contresens.
(MTO, 2016)	Amérique du nord (Ontario)	Cerf de Virginie, Cerf mulet	Utilisation avérée de rampes de 1.8 m (6 ft) des cerfs de Virginie, mais avec des cas de contresens. Efficacité de rampes de 1.5 à 1.8 m pour les cerfs muets. Inefficacité pour les élans en raison de leur moindre agilité (hésitent à sauter sur une surface couverte de végétation ou de glace).
(Jensen, 2018)	Amérique du nord	Cerf mulet	Une hauteur de 2 m suffit à prévenir les contresens mais est peut-être trop haute pour encourager la majorité des individus à sauter.
(Gagnon et al., 2020)	Amérique du Nord (Arizona)	Cerf de Virginie, Cerf mulet, Wapiti, Mouflon du désert	Pour les wapitis, prévoir une hauteur de rampe de 1.80 m (6 ft). Pour les cerfs, prévoir une hauteur de rampe de 1,5 m (5 ft) avec au besoin l'ajout d'une barre transversale si des contresens de cerfs sont avérés par les rampes. La hauteur peut être portée à 1.80 m en présence également de wapitis.

Annexe 6. Exemples de conception pour le soutènement des rampes

Exemple de techniques mises en œuvre	France	Reste Europe	Amérique du nord
Rondins bois imputrescibles assemblés « en cage » sur site par vissage ou tire-fonds avec remplissage de galets (pour limiter les risques de pourrissement) et couverture par terre localeensemencée ou non.	X		
Mur béton réalisé avec des murs en L préfabriqués (type casier de stockage avec semelle en retour pour anti-basculement) avec recoupe des pans latéraux en biais, et remplissage direct avec terre locale.	X		
Traverses de chemins de fer ou rondins plantés en terre et butte en terre.	X	X (Pays Bas)	
Traverses bois sur poteaux bois.			X
Traverses bois sur tubes métal			X
Planches de polymères plastiques étayées par poteaux de clôtures métalliques.			X
Planches en plastique recyclé.	X ?		X
Clôture rigide métal avec butte de galet recouverte de terre végétale.	X		
Lisses métal façon « palplanches » ancrées sur piquet bois avec butte de terre.			X
Mur de soutènement maçonné, béton précontraint, mur armé.	X		X
Mur matricé.			X
Blocs auto-encastrables type « dominos » préfabriqués.			X
Gabions de galets grillagés.			X
Enrochements massifs recouverts de terre.		X (Espagne)	

Annexe 7. Etudes d'efficacité des rampes et portillons en France

Sur A31, APRR²⁹⁶, ²⁹⁷ a suivi 2 rampes et 2 portillons par pièges à empreintes puis pièges photographiques de 2002 à 2004 : l'étude montre de **nombreux franchissements par les rampes et l'absence de collision sur les zones équipées. Sont attestés 33 franchissements de rampes et 28 franchissements de portillons. 44 franchissements par des chevreuils impliquant 51 animaux ont eu lieu**, de façon équivalente, sur les 2 types d'échappatoires. 3 sangliers sont passés par des rampes²⁹⁸. **La comparaison aux données antérieures montre un nombre de collisions passant de 30 en 10 ans à 0 pendant la période de test**, en lien aussi à la réfection des clôtures, à l'entretien des abords, et à la politique de prévention. **Le calendrier des pics de franchissement correspond à celui des pics de collisions dans les zones non équipées et sur l'ensemble du réseau, le rapport suggérant que ces échappatoires répondent à la demande de passages aux périodes sensibles (rut, essaimages des jeunes, périodes de fauchage, ouverture de la chasse).**

Sur A89, OGE²⁹⁹ a mené pour ASF des visites de 13 rampes pendant 3 mois fin 2010 avec des relevés de pièges à traces positionnés en crête sur 6 rampes ainsi que de 29 portillons avec des pièges à traces positionnés sur 7 d'entre eux. Les relevés ont porté sur les caractéristiques des échappatoires (emplacement, taille, encombrement par la végétation, etc.) ainsi que sur les indices de présence et les traces d'ongulés (empreintes, fèces). **Au final, la seule donnée est celle du passage supposé d'1 chevreuil sur une rampe. Aucune sortie par les portillons n'a été notée.** Les avis techniques relatifs aux facteurs favorisant ou non l'utilisation ont été inclus dans le corps du rapport.

Sur A51, la FDC05 a suivi 3 rampes par des pièges photographiques placés hors grillage pendant 7 mois en 2012/2013 : **3 passages de chevreuils ont été attestés.** Il est estimé à dire d'expert que l'utilisation n'intervient que lorsque les animaux ont pris conscience de la possibilité de passer de l'autre côté et se sont approprié l'ouvrage, mais le rapport ne documente pas le taux de refus. **En situation de stress, les chevreuils pourraient ne pas utiliser la rampe comme cela a été observé lors de battues organisées par les agents d'entretien. En 2014, des ouvriers qui étaient en train de construire une rampe (hauteur 2 m) ont signalé l'observation fortuite et « en directe » de la sortie d'un chevreuil, l'animal atterrissant sur la butte de réception (hauteur 0.30 m, distance de 1 m entre le mur de la rampe et la crête de la butte de réception).**

Sur LGV Paris Strasbourg, dans le cadre du bilan LOTI³⁰⁰, 7 rampes ont été suivies par pièges photo 2 mois/an en pied de rampe et orientés vers la rampe ou hors emprise face à la rampe (le rapport de suivi 2020 n'était pas disponible à la date de rédaction de ce rapport). **Aucune sortie par les rampes n'a été constatée en dépit de l'observation relativement régulière du Chevreuil à proximité d'une des rampes.** L'analyse précise de la fréquentation des emprises n'est pas documentée (hors étude). L'évaluation à dire d'expert pointe des défauts liés à la conception (clôture d'environ 2.40 m plus haute et parfois décalée de la rampe, pente trop raide, remplissage insuffisant ou érosion, etc.), à l'implantation (manque d'intégration en terrain plat) ou à l'absence de dispositifs d'accompagnement. **Il est donc difficile de conclure si l'absence d'utilisation est liée à ces défauts, au comportement des animaux face aux réalisations concernées ou au manque de candidats à la sortie.**

²⁹⁶ Cagniant Th, 2005, Bilan de l'opération pilote menée sur le district d'Allain, APRR.

²⁹⁷ APRR, Trophées innovation 2007, Expérimentation de sortie des animaux du DPAC, montage ppt.

²⁹⁸ Données sangliers précisées lors de l'enquête.

²⁹⁹ Rapport d'étude : OGE, 2011, Suivi bilan de passages grande faune et de dispositifs de sortie pour les ongulés sur l'A89, ASF (extraits).

³⁰⁰ Rapport « EGIS Environnement, SNCF Réseau, LGV Est européenne, 2ème phase : suivi de la fonctionnalité des échappatoires – campagne 2017, 8 pages » complétés par échanges mails.

Annexe 8. Etudes d'efficacité des rampes en Amérique du Nord

(Bissonette and Hammer, 2000) : en Utah, un test comparatif a été mené entre des rampes et des portillons à dents en peignes recourbés. Le suivi a été fait par des pièges à traces imprégnés d'huile végétale (pour permettre aux empreintes de marquer par temps sec). L'analyse a été basée sur le nombre de passages rapporté au nombre de « jour.équipement ». Elle a pris en compte l'incidence sur la mortalité routière et l'évolution des densités d'animaux et comparé à un site témoin. **L'étude a conclu que les rampes avec une hauteur de chute de 1.5 m ont été 7.9 à 11 fois plus efficaces que les portillons à peignes courbes et ont entraîné une baisse des collisions. Sur la base des coûts cynégétiques, l'analyse coûts / bénéfices a montré un coût d'installation compensé en 1 à 2 ans par la réduction de mortalité.**

(Siemers et al., 2015) : dans le Colorado, 11 rampes ont été suivies pendant 2 ans avec 2 pièges photos par rampe pour observer par photo et vidéo les animaux sur les rampes ainsi que les mouvements derrière les rampes hors emprise. Les résultats ont montré la forte utilisation des rampes avec 1333 sorties de Cerf mulet, principalement à l'aube et au crépuscule avec un pic (novembre et mai) et 25 sorties de wapiti (surtout en avril et juin). Le taux de sortie a toutefois été variable selon les rampes (8,2 % à 70,3 %). 27 cas de contresens ont été notés, uniquement par des cerfs muets, dont 25 sur une même rampe de hauteur 1.80 m. **L'analyse statistique a montré que la sortie des cerfs muets a été favorisée par : une clôture de renvoi perpendiculaire, la proximité de buissons autour de la surface de réception pour toutes les rampes testées, et la relative proximité de l'autoroute (le panel étudié allant de 25 à 155m).** La présence d'une barre sommitale horizontale a été au contraire défavorable et a pu parfois maintenir des entrées à contresens. Pour les wapitis, la rampe la plus visitée a été la plus éloignée (155m) mais l'étude ne met pas en évidence de lien entre distance et succès des sorties. L'analyse coût/bénéfice a documenté la baisse du taux de collisions pour les deux espèces, ainsi que celle du coût de collision et a estimé un **taux de retour sur investissement de 1.35 à 2.20 ans.**

(Huijser et al., 2015) : cette importante revue par bibliographie et enquête en Amérique du nord a fait une synthèse des données sur l'efficacité prouvée des différentes modalités de rampes et indique des **taux d'efficacité ≤40 % pour le Cerf mulet (avec des rampes de 1.8 à 1.9 m de haut), ≤100 % pour le Cerf de Virginie (1.7 m), ≤70 % pour la Chèvre des montagnes rocheuses (2 m) et ≤100 % pour le Mouflon canadien (1.8 m).**

(Huijser et al., 2017) : dans le Montana, des rampes de 1.8 à 2.1 m de haut ont été suivies pendant 5 étés avec des pièges à traces sur 52 rampes et par pièges photographiques sur les 10 les plus fréquentées. **Le taux de sortie est de 14 % des individus en sommet de rampe pour les deux espèces confondues sur la base des pièges à traces. Les suivis photos montrent une différence avec 7 % pour le Cerf de Virginie et 32 % pour le Cerf mulet. Aucun cerf n'est entré à contresens, mais un wapiti si.**

(Jensen, 2018) : il s'agit d'une étude originale documentant le comportement individuel des animaux, leur fidélité au site et leur habitude aux rampes. En Californie, le suivi de 4 rampes de hauteur 2 m pendant 5 ans (2012-2017) conclut à un **taux de sortie pour le Cerf mulet de 20 % ; mais, après décompte des pseudo-répliques, au moins 66 % des évènements sont à considérer comme des passages d'individus déjà observés (les individus ou groupes d'individus uniques sont détectés de 1 à 153 fois).** L'étude documente le comportement d'habitation³⁰¹ et le nombre de retours d'un groupe ou d'un individu avant de sauter. L'auteur note la **différence entre un groupe qui semble apprendre progressivement à sauter et l'autre groupe qui commence à sauter plus rapidement après avoir trouvé la rampe une première fois** : le groupe A revient 107 fois sur 36 mois avant de sortir, puis saute dans 47 % durant les 10 derniers mois suggérant qu'ils se sont habitués à passer, le groupe B ne saute pas à ses 2 premières visites le premier mois puis saute dans 68 % des cas. **Est aussi investiguée l'incidence du sexe (par exemple, 25 % de mâles revisitent les rampes alors que les femelles y retournent dans 67 % des cas) et de l'âge sur l'utilisation des rampes (retours sur les rampes de femelles avec leurs faons).**

(Gagnon et al., 2020) : Il s'agit de l'étude la plus récente parmi celles identifiées à l'occasion du projet ESCAPE XXL. En réponse aux interrogations soulevées par Huijser et al. (2015), cette étude vise à préciser les conditions d'efficacité des échappatoires existantes pour le contexte et les ongulés présents en Arizona : Wapiti, Cerf mulet, Cerf de Virginie et Mouflon du désert. De 2015 à 2018, 32 rampes et sauts de pente ont été suivis ont été réalisés par des pièges photographiques fixés sur la clôture (l'analyse a porté sur 1.8 million d'images collectées lors de ce suivi et 0.5 million d'images issues de suivis antérieurs sur 2011-2015, pour un total de 11 788 photos d'ongulés interagissant avec des échappatoires). Les rampes avaient des hauteurs allant d'environ 1.30 à 2.0 m, ainsi que pour certaines une barre anti-contresens. 7 rampes à l'évidence inadaptées ont été modifiées avant le suivi de façon à permettre d'évaluer la hauteur optimale. L'analyse du taux de sortie et du taux de prévention des contresens en fonction des caractéristiques des équipements a été faite par régression logistique. **Pour les rampes** : le taux de sortie mesuré est de 34 % (sur 999 approches) pour le Wapiti, 13 % (sur 324 approches) pour les Cerfs et 76 % pour le Mouflon (sur 564 approches). Le taux de prévention des contresens est de 98 % (sur 4376 approches) pour le Wapiti, 100 % pour les Cerfs (4 sur 756 approches) et 98 % pour le Mouflon (sur 2129 approches). Pour le

³⁰¹ En anglais « long term acclimation »

Wapiti, en croisant les courbes de sortie et de prévention des contresens selon la hauteur, les auteurs concluent à une hauteur optimale d'environ 1.5 à 1.8 m. Pour les Cerfs, les sorties ont eu lieu par des rampes ayant des hauteurs d'environ 1.3 m à 2 m et les contresens ont eu lieu jusqu'à une hauteur de 1.7 m. Pour le Mouflon, l'ajout d'une barre horizontale a entraîné la baisse du taux de sorties de 94 à 61 % mais il a augmenté le taux de prévention des contresens de +2 % (98 % au total) corrélé selon les auteurs à une baisse de 54.5 % des collisions avec cette espèce sur l'autoroute équipée. Selon les auteurs, « cette baisse du taux d'évasion est un compromis acceptable, car l'ajout de la barre a contribué à maintenir les moutons hors de l'emprise au départ et a conduit à une réduction globale des accidents tout en permettant aux moutons de s'échapper, mais à un taux plus faible. ». **Pour les sauts de pente** : le taux de sortie est de 9 % (sur 278 approches) pour le Wapiti et de 9 % (sur 448 approches) pour les Cerfs. Le taux de prévention des contresens est de 100 % pour le Wapiti (4 entrées sur 1289 approches). Les données ne permettaient pas de déterminer une hauteur optimale pour ces sauts de pente (la grande majorité des sorties ont eu lieu sur des sites presque plats) et la faible utilisation des sauts de pente par le Wapiti et les Cerfs a conduit à interrompre leur suivi. Les données sont précisées également par sexe et âge. **L'analyse statistique conclut que le Wapiti a utilisé de préférence des rampes ayant une zone de réception plane et dégagée, une hauteur maximale d'environ 1.80 m, un soutènement en béton plutôt qu'en gabion grillagé et qui étaient intégrées dans le relief** (l'analyse n'a pas été menée pour les Cerfs). Les critères de largeur d'ouverture de la rampe, longueur ou compaction de la zone de réception, nature ou compaction des matériaux de la rampe n'interviennent pas. Pour le Mouflon, les paramètres qui interviennent sont l'absence de barre horizontale, une hauteur maximale d'environ 1.80 m, une rampe et une zone de réception compactées, une rampe pentue.

Aux USA, plusieurs autres études attestent aussi de l'utilisation des rampes par différentes espèces de cervidés avec des taux de succès variables^{302, 303, 304} et de leur meilleure efficacité comparée aux portillons à dents courbes³⁰⁵ y compris en termes d'analyse bénéfices / coûts³⁰⁶ et en dépit de coûts plus élevés.

³⁰² (Clevenger et al., 2002) résumé par Jensen (2018) et (Siemers et al., 2015) : Sortie avec succès de cerfs (19 %) et wapitis (67 %, n=6/9) et coyotes (25 %),

³⁰³ Bruce Leeson, personal communication cité par Huijsers et al. (2008b) et résumé par Siemers et al. (2015) : Utilisation attestée par le « Cerf » (*Odocoileus sp.*), le Wapiti, l'Elan et le Mouflon canadien.

³⁰⁴ (Gagnon et al. 2013) résumé par Jensen (2018) et (Siemers et al., 2015) : sortie avec succès de mouflons canadiens dans 95 % des cas (hauteur : 1.83 m)

³⁰⁵ (Dodd et al. 2007) et (Gagnon et al. 2009) cité par AZDOT (2011)

³⁰⁶ (Hammer, 2001) cité par AZDOT (2011)

Annexe 9. Etudes d'efficacité des portillons en peignes courbes en Amérique du Nord

Sur la période 1970-1972, Reed et al.³⁰⁷ ont tout d'abord testé 3 types d'échappatoire en enclos sur une clôture séparant un cerf de sa nourriture (dont des essais avec 2 échappatoires à la fois). 8 exemplaires du modèle le plus performant ont ensuite été installés sur autoroutes et suivis par traces et compteur mécanique pendant les migrations : 558 passages dont 223 sorties de cerfs ont été enregistrés à travers 8 échappatoires dont 96 % dans le "bon" sens. De 7 à 335 passages par échappatoire. Sur 3293 cerfs approchant depuis l'extérieur, aucun passage à contresens n'a été noté.

Dans les années 1970, Reed et al.³⁰⁸, dans une étude « Avant / Après », ont montré que des clôtures équipées d'échappatoires réduisaient les collisions avec les cerfs de 68 à 87 %. Une analyse coûts-bénéfices a comparé la mortalité (carcasses) avant/après, l'estimation des réparations de véhicules, la valeur des cerfs et le coût de la clôture (installation et maintenance).

En 1994-1995, Lehnert³⁰⁹ a réalisé un suivi hebdomadaire par pièges à traces de 12 échappatoires pris au hasard et montré qu'une minorité de cerfs sortent par les échappatoires : sur 243 cas de cerfs mulets approchant depuis l'intérieur des emprises, 16 % les utilisent pour sortir. Aucun des 128 cerfs approchant depuis l'extérieur n'est entré à contre-sens. Les cerfs sont réticents à utiliser les échappatoires et beaucoup restent longtemps dans les emprises jusqu'à trouver une autre issue.

De 1997 à 1999, Bissonnette et Hammer³¹⁰ ont suivi des rampes et portillons à peignes à l'aide de pièges à trace "huilés" placés en entrée et sortie d'échappatoires (le passage est considéré comme accompli si des empreintes sont notées des deux côtés ET orientées dans la même direction). Sont également réalisés le suivi de la mortalité routière et le comptage nocturne au phare des cerfs avant/après la construction des échappatoires et sur site-témoin (clôture de 1 m sans échappatoire). L'étude montre que les échappatoires réduisent la mortalité animale. Dans des clôtures de 2.4 m, les rampes (hauteur de chute 1.5 m) sont utilisées pour sortir des emprises par les cerfs 7.9 à 11 fois plus souvent que les portillons à peignes courbes.

³⁰⁷ (Reed et al., 1974)

³⁰⁸ (Reed et al., 1982)

³⁰⁹ (Lehnert, 1997 ; Lehnert, 1996)

³¹⁰ (Bissonnette et Hammer, 2000)

Annexe 10. Résumé et analyse des tests CERA Environnement sur trappes à barreaux indépendants :

En 2000, à l'occasion de tests sur les capacités de franchissement d'une clôture par le Chevreuil, le CERA a aussi testé un système de trappe à sens unique, munie de barreaux indépendants qui pivotent sous une barre transversale.

Protocole : observation de 2 groupes de 6 animaux (dont 2 femelles suitées) et 7 animaux (dont 1 mâle adulte) après habitude avec un trou de 70 x 30 cm puis pose de 2 trappes à grille (en sens inverse) pour étudier passage dans les 2 sens. Hauteur de clôture : 1.40 m de chaque côté des échappatoires et 0.85 m entre les 2. Observation autour de l'aube et du crépuscule. Différents stimuli ont été appliqués : nourriture, séparation du groupe (jeune – mère), dérangement.

Résultats et enseignements pour ESCAPE XXL : les chevreuils ont repéré et utilisé les trappes. Des ajustements semblent toutefois nécessaires car il y a eu forçage dans les deux sens : allègement, rigidification et rapprochement des barreaux. Le CERA préconise de poursuivre les tests in situ, le problème étant alors de diriger les animaux vers ces structures par des attractifs, entonnoirs, plantations de haies, etc. Ce système à barreaux indépendants n'a pas été déployé par la suite certainement à cause des problèmes des cas de forçage rencontrés lors des tests³¹¹, des dispositifs à battants solidaires ont été par la suite privilégiés.

Par ailleurs, pour ESCAPE XXL, des enseignements peuvent être également tirés des autres tests réalisés pour évaluer le franchissement de clôtures disposant d'un « trou ». Ainsi, la mémorisation du passage par une nouvelle brèche demande éventuellement du temps surtout pour un individu perturbé. Des différences individuelles de perception des passages de petite taille ont été relevées, l'animal le plus hardi passant toujours en premier. Un couvert végétal dense sur un passage même déjà connu des animaux peut constituer un obstacle, sauf si une certaine visibilité est conservée.

Il a aussi été montré que les chevreuils ont tendance à chercher des passages au pied des clôtures ou de défauts dans celles-ci plutôt que de sauter par-dessus. Dans le cadre d'ESCAPE XXL, il peut s'agir pour le Chevreuil d'éventuelles limites aux principes du « saut de pente » ou de la « clôture semi-étanche ».

Le comportement de dominance du mâle qui repousse les autres lorsqu'il cherche un passage a été observé. Pour ESCAPE XXL, la question se pose des éventuelles conséquences pratiques de ces interactions entre individus, par exemple lorsque des groupes se présentent ensemble ou que des animaux sont présents hors emprises lorsqu'un candidat se présente en sortie.

Enfin, des passages sont attestés par l'échappatoire placée sur l'ancien trou réalisé dans la clôture mais l'étude ne teste pas l'éventuelle utilisation préférentielle d'une échappatoire placée dans ce contexte par rapport à une pose sur une clôture non endommagée. Les conclusions et les observations complémentaires sur autoroutes citées dans l'étude suggèrent toutefois une incidence de la familiarité des animaux avec les lieux (réutilisation d'itinéraires et points de passage connus). Dans le cadre d'ESCAPE XXL, l'implantation sur le terrain d'échappatoires au niveau de passages d'animaux est un des paramètres pris en compte intuitivement par les praticiens (gestionnaires d'infrastructures ou intervenants naturalistes ou cynégétiques). Pourraient notamment intervenir la mémoire de la brèche existante par un animal qui y est déjà passé ainsi que la trace (olfactive notamment) laissée par les individus précédents et suivie par les nouveaux, ce qui reste à tester.

³¹¹ ASF, comm. personnelle

Annexe 11. Suivis de trappes Sangli-pass

En 2009, le Sangli-pass a été testé en parcs d'élevage (dont un de 100 ha) avec le concours du Cabinet X-AEQUO et de la Fédération des Chasseurs de Vaucluse : de nombreuses sorties de sangliers de moins de 70 kg ont été attestées (avec par exemple 29 passages en 5 soirées ou nuits). **Les observations ont montré les différences de comportement entre individus qui peuvent passer directement ou réitérer des tentatives de plus en plus poussées, l'incidence des relations hiérarchiques et les effets variables du bruit à la retombée.**

De 2011 à 2013, un suivi par pièges à traces a été mené pour ESCOTA par les Fédérations des Chasseurs des Alpes de Haute Provence, des Hautes Alpes, des Bouches du Rhône, du Var et du Vaucluse, ainsi que l'IMPCF. En 3 ans, au moins 23 sangliers ont utilisé 13 échappatoires dans les départements des Bouches du Rhône, du Var et des Alpes de Haute Provence³¹². Ces suivis n'ont pas été poursuivis ensuite mais des observations fortuites sont notées lors de passages de maintenance (traces ou animaux vus en franchissement) : **au 01/02/2019, au moins 20 sorties par des Sangli-pass ont eu lieu et relatives à un effectif de 28 à 36 sangliers** (certaines sorties concernent le même dispositif)³¹³. Une observation visuelle de sangliers « repoussés » par un agent sur ESCOTA et sortant par une trappe Sangli-pass est aussi attestée. Cette donnée est un contre-exemple ponctuel aux mentions indiquant que les animaux stressés ne reconnaissant pas les échappatoires (mais les mentions concernent des cervidés nord-américains face à des portillons à peignes courbes).

En 2013, ESCOTA a confié au bureau AIRELE **un retour d'expérience sur 13 Sangli-pass ayant connu des sorties de sangliers**³¹⁴. Cette étude qualitative a été menée par visites de terrain et entretiens en lien avec le Cabinet X-AEQUO et les Fédérations départementales des Chasseurs. Parmi les conclusions, il ressort que **l'installation des échappatoires dans des angles de clôture ou des culs-de-sac (sur des grillages préexistants ou bien en posant un grillage de rabat) semble une méthode efficace pour guider les sangliers à la trappe, même si d'autres configurations fonctionnent**. À l'inverse, les effets de trouée visuelle, la mise en place de brise vue ou encore d'attractif ne semblent pas être une obligation dès lors que les autres critères de sélection des sites sont respectés. Le rapport conclut qu'il n'existe cependant pas de vérité en la matière car il est difficile de définir des lignes de forces indiscutables, la solution la plus pertinente restant sans doute un panachage des divers outils afin de s'adapter au contexte local.

³¹² Enquête, (Beroud et Buton, 2013).

³¹³ Enquête.

³¹⁴ (Airele, 2013)

Annexe 12. Exemples d'interdistances recommandées entre échappatoires

Mention d'interdistance	source
France	
Sur un tronçon LGV Méditerranée de 25 km dans les Bouches du Rhône Lambesc et Ventabren, recommandent "d'installer de manière régulière (tous les 3 km par exemple), une échappatoire à grands mammifères ».	(LPO PACA, 2016)
Exemple de réalisation : - il n'y a pas d'interdistance fixe théorique pour localiser les échappatoires, - les emplacements résultent des propositions des acteurs cynégétiques ensuite concertées avec les différents interlocuteurs, puis arbitrage et validation par le Maître d'Ouvrage, - dans certains cas, sur un tronçon étudié, la configuration des clôtures et des emprises autoroutières conduit à des échappatoires distantes de quelques centaines de mètres, ou au contraire de plusieurs kilomètres en l'absence de localisation pertinente. Les contraintes maximales de mise en œuvre sont pour les rampes qui peuvent donc être plus difficiles à positionner que les échappatoires.	ESCOTA dans l'enquête
Espagne	
Rampes tous les 250 m en alternance de chaque côté des voies. SAITEC indique que : « une grande partie des infrastructures (les plus anciennes) sont souvent dépourvues de ce type d'élément. (...) La pratique habituelle est de localiser un type d'échappée tous les 500 m, bien que cela soit considéré comme une orientation, et le placement de ces dispositifs est généralement soumis à d'autres limitations qui surviennent lors de la gestion et de l'exécution du projet d'infrastructure. »	(Velasco et al., 1995) cité par SAITEC dans l'enquête
Pays-Bas	
Tous les 250 m.	(Wansink, D.E.H, et al., 2013) cité par Dutch national roads agency Rijkswaterstaat dans l'enquête
Amérique du nord	
Une rampe tous les 800 m de chaque côté de la route.	(AZDOT 2013) cité dans (Jensen, 2018)
Une tous les 400 m.	(Huijser et al. 2015) cité dans (Jensen, 2018)
Peut-être pas d'espacement idéal universel mais le placement peut être plus efficace dans les zones où les animaux sont le plus susceptibles de pénétrer dans le corridor routier (extrémités des clôtures, accès routiers).	(Jensen, 2018)
Pas de standard sur interdistance (4 / mile avec 2 de chaque côté de la route, alors que pour d'autres : 400 m entre 2 échappatoires grands ongulés)	(selon AZDOT, 2013a) cité dans (Huijser et al., 2015)
2/mile dans chaque sens	(AZDOT, 2014) cité dans (Siemers et al., 2015)
4/mile en Utah	(Cramer et al., 2014) cité dans (Siemers et al., 2015)
5/mile par sens	(Huijser et al., 2009) cité dans (Siemers et al., 2015)
1 tous les 0.25 miles et de chaque côté des voies sauf si étude spécifique, réduite à 0.5 mile de chaque côté si mortalité faible ou inconnue et sauf sur 1 mile après les fins de clôtures	(Bissonette and Hammer, 2000)
Il n'y a pas de directives claires sur l'espacement : il doit refléter la mobilité des espèces et le risque sur la sécurité routière d'une éventuelle brèche dans la clôture. Pour les projets de clôtures neuves destinés aux grands ongulés, il est recommandé au moins 2 échappatoires / mile de tronçon autoroutier clôturé, positionnées de chaque côté de la route. Ce ratio résulte d'un équilibre entre la sécurité et la rentabilité de l'investissement (« cost effectiveness ») : il est suggéré de varier les réalisations entre des équipements coûteux (rampes de grande taille ou plus petites) et des mesures « low-costs » comme par exemple des sauts de pente par exemple.	(AZDOT 2011)
Un espacement d'environ 0,5 km sur toute la longueur de la clôture est recommandé et la fréquence devrait être augmentée à chaque 0,25 km environ pour le premier kilomètre aux extrémités de la clôture.	(Golder, 2013) cité dans recommandations (MTO 2016) pour Ontario
Les échappatoires à sens unique devraient être installées à tous les 200 à 300 m	(Van Manen et al., 2001) cité dans (Bellefeuille et al, 2004)
Environ tous les km	Bellefeuille et al. 2004

Annexe 13. Exemples d'études d'équipements faunistiques soulignant l'existence d'une phase d'habitation

Source	Point cité	Équipement concerné
(Jensen, 2018)	Voir dans la fiche sur les rampes les résultats commentés sur les différences de temps d'habitation pour les 2 groupes de cerfs muets suivis. Reprenant (Clevenger and Huijser 2011), il recommande de mener les études sur au moins 2 ans pour laisser aux espèces ce temps d'apprentissage.	Echappatoires
Observations lors des tests Sangli-pass (FDC84, Cabinet X-AEQUO)	Lors des tests en enclos, les sangliers passent directement ou non par l'échappatoire Sangli-pass. Un jeune sanglier de 30 kg revient une dizaine de fois en 1/2h et passe après de nombreux essais de plus en plus poussés.	Echappatoires
Van Wieren et Worm (2001) cités dans (Glista et al., 2009)	Etude sur écopont : les passages de cerfs élaphe ont presque triplé depuis 1989 sans doute en raison d'une habitation des animaux à l'équipement.	Ecoponts
(Clevenger et Huijser, 2011)	Le suivi des structures de passage de la faune montre une période d'adaptation et une courbe d'apprentissage.	Ecoponts
(Clevenger et coll., 2009) cité par MTO (2016)	Les ongulés ont besoin de moins de temps (maximum de un à trois ans) que les carnivores pour s'habituer à une structure.	Ecoponts
(Clevenger et Barrueto 2014) cités par Jensen (2018)	Dans une étude menée au Canada pendant 17 ans, les grands mammifères se sont habitués à la circulation automobile au fil du temps, mais sont restés sensibles à l'utilisation des passages souterrains par les humains. L'utilisation des structures de franchissement par les cerfs muets augmentait avec le temps jusqu'à la huitième année, puis se stabilisait.	Ecoponts
(Clevenger and Huijser 2011) cités par Jensen (2018)	Les grands mammifères peuvent prendre 5 à 6 ans pour s'acclimater à une nouvelle infrastructure routière.	Ecoponts
(Clevenger et al. 2009) cités par Jensen (2018)	Les études de suivi durent en moyenne 17 mois, ce qui est rarement suffisant pour saisir l'adaptation à long terme.	Ecoponts
(Olbrich P., 1984) cité par Putman (1997)	Une étude menée sur les passages à faune en 1984 indique que le temps mis par les cerfs pour surmonter la méfiance initiale vis-à-vis des structures est d'environ 6 mois pour les chevreuils et entre 2 et 3 ans pour les autres espèces.	Ecoponts
(Stull et al., 2011)	La vitesse à laquelle les cerfs en liberté apprennent dépend du résultat de leurs différents essais et notamment de la proportion d'effets négatifs ou positifs obtenus : ce nombre est déterminé par la distribution spatiale et temporelle des cerfs, leur niveau de motivation à traverser et la fréquence de leurs interactions avec la clôture (i.e. moins un animal est confronté à une clôture, moins il peut expérimenter son franchissement).	Clôtures

Annexe 14. Références bibliographiques

Ne sont pas listés ici les rapports internes ou données reçues en réponse à nos enquêtes.

Alligand, G., Hubert, S., Legendre, T., Millard, F., Müller, A., 2018. Guide d'aide à la définition des mesures éviter, réduire, compenser, THEMA. Commissariat général au développement durable.

AZDOT, 2011. Wildlife Escape Measures. AZDOT (Arizona Department of Transportation), Arizona, USA.

AZGFD, non daté. Wildlife Compatible Fencing. AZGFD (Arizona Game and Fish Department).

Badger Gates [WWW Document], n.d. URL <http://www.badgerland.co.uk/pictures/engineering/gates.html> (accessed 6.29.21).

Bank, F.G., Irwin, C.L., Evink, G.L., Gray, M.E., Hagood, S., Kinar, J.R., Levy, A., Paulson, D., Ruediger, B., Sauvajot, R.M., 2002. WILDLIFE HABITAT CONNECTIVITY ACROSS EUROPEAN HIGHWAYS (No. FHWA-PL-02-011). American Trade Initiatives.

Bell, M., Fick, D., Ament, R., Lister, N.-M., 2020. The use of fiber-reinforced polymers in wildlife crossing infrastructure. Sustainability (Switzerland) 12, 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12041557>

Bellefeuille, S. de, Poulin, M., Québec (Province), Ministère des transports, 2004. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés. Ministère des transports, Québec.

Beroud, T., Buton, C., 2013. Les échappatoires à sangliers SANGLI-PASS [WWW Document]. URL <https://docplayer.fr/82430287-Les-echappatoire-a-sangliers-sangli-pass.html> (accessed 4.2.21).

BIOTOPE, 2014. Schéma régional de cohérence écologique du Centre. Volume 3 : plan d'action et dispositif de suivi. (Projet de SRCE). DREAL Centre - Région Centre.

Bissonette, J.A., Hammer, M., 2000. Effectiveness of Earthen Return Ramps in Reducing Big Game Highway Mortality in Utah (Final report). UTCFWRU.

Borda-de-Água, L., Barrientos, R., Beja, P., Pereira, H.M. (Eds.), 2017. Railway Ecology. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7>

Bro E., Guillemain M., 2017. 33rd International Union of Game Biologists Congress. 14th Perdix Symposium. Abstract book.

Buton, C., 2021. Impact naturaliste de la contention périmétrale des sites industriels, éléments de réflexion autour des parcs photovoltaïques.

Buton, C., Lecigne, S., Nowak, N., 2017. Analyse réglementaire et technique - Contrôle et suivi des clôtures Grande Faune. Cabinet X-AEQUO & AIRELE.

Buton, C., Lecigne, S., Nowak, N., 2013. Analyse réglementaire et technique - Cadre juridique des traversées de voies routières par des animaux sauvages (Analyse réglementaire et technique). Cabinet X-AEQUO & AIRELE.

Carsignol, J., Tekielak, G., 2019. Clôtures routières et ferroviaires & faune sauvage - Critères de choix et recommandations d'implantation, CEREMA. ed, Connaissances.

Buton, C., Laforet L., Maurice, S., 2014. L'éco-restanque, la technique des andains écologiques adaptée à des écoponts méditerranéens.

CEREMA, 2021. Les passages à faune. Préserver et restaurer les continuités écologiques avec les infrastructures linéaires de transport, coll. Références.

Clevenger, A.P., Huijser, M.P., 2011. Wildlife crossing structure handbook. Design and evaluation in North America (final report No. FHWA-CFL/TD-11-003). Western Transportation Institute.

Draper Natural History Museum, 2021. The Wires that Shape the World: Fence Ecology and Conservation.

Ecosphère, Grand Lyon Métropole, 2017. Une boîte à outils au service de la trame verte et bleue de la métropole de Lyon. Grand Lyon métropole.

Fédération Départementale des Chasseurs des Bouches-du-Rhône, 2012. Suivi des échappatoires routières pour les sangliers. Chasser en Provence.

- Gagnon, J.W., Loberger, C.D., Ogren, K.S., Beach, C.A., Nelson, H.P., Sprague, S.C., 2020. Evaluation of the Effectiveness of Wildlife Guards and Right of Way Escape Mechanisms for Large Ungulates in Arizona (FINAL (2015 – 2019) No. SPR-729). AZDOT (Arizona Department of Transportation).
- Giráldez, N.A., 2010. Medidas preventivas, correctoras y compensatorias del impacto ecologico de carreteras. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Goldingay, R.L., Taylor, B.D., Parkyn, J.L., Lindsay, J.M., 2018. Are wildlife escape ramps needed along Australian highways? *Ecological Management & Restoration* 19, 198–203. <https://doi.org/10.1111/emr.12319>
- Haaften van, J.L., 1985. Measures to avoid accidents with game animals on Dutch highways., in: *Routes et Faune Sauvage. Actes Du Colloque de Strasbourg*, 5-7 Juin 1985. pp. 353–357.
- Huijser, M. P., and A. V. Kociolek. 2008. Wildlife-vehicle collision and crossing mitigation measures: a literature review for Blaine County, Idaho. Western Transportation Institute, Bozeman, MT., n.d.
- Huijser, M.P., Kociolek, A.V., Allen, T.D.H., McGowen, P., Cramer, P.C., Venner, M., 2015. Construction guidelines for wildlife fencing and associated escape and lateral access controle measures. Western Transportation Institute.
- Huijser, M.P., Whisper Camel-Means, Fairbank, E.R., Purdum, J.P., Allen, T.D.H., Hardy, A.R., Graham, J., Begley, J.S., Basting, P., Becker, D., 2017. US 93 North Post-Construction Wildlife-Vehicle Collision and Wildlife Crossing Monitoring on the Flathead Indian Reservation between Evaro and Polson, Montana (rapport final No. FHWA/MT-16-009 /820). Western Transportation Institute - Montana State University, Montana.
- Iuell, B., Bekker, H.G.J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlaváček, V., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T., Tørsløv, N., Wandall, B. le M., 2007. COST 341 Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport. Faune et Trafic. Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions. Traduction assurée par le Sétra du document original publié en 2003 : *Wildlife ant Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Desining Solutions*, les rapports. SETRA.
- Iuell, B., Bekker, H.G.J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlaváček, V., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T., Tørsløv, N., Wandall, B. le M., 2003. COST 341 Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure WILDLIFE AND TRAFFIC A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research.
- Jackson, S.D., Griffin, C.R., 2000. A Strategy for Mitigating Highway Impacts on Wildlife, in: *Wildlife and Highways: Seeking Solutions to an Ecological and Socio-Economic Dilemma*. The Wildlife Society, pp. 143–159.
- Jensen, A.J., 2018. Crossing Corridors: Wildlife Use of Jumpouts and Undercrossings Along a Highway With Wildlife Exclusion Fencing. Faculty of California Polytechnic State University.
- Jochen Langbein, Rory Putman, Bostjan Pokorny, 2013. Mesures envisageables pour réduire les collisions avec les cervidés.
- Labadie, R., 2009a. Étude et prévention des accidents de la route impliquant le cerf de Virginie dans l'Ouest-de-la-Montérégie. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences géographiques (M. Se.)cheminement Géographie humaine et aménagement. Université de Sherbrooke.
- Labadie, R., 2009b. Étude et prévention des accidents de la route impliquant le cerf de Virginie dans l'Ouest-de-la-Montérégie, Université de Sherbrooke, Canada.
- Lehnert, M.E., 1996. Mule Deer Highway Mortality in Northeastern Utah: An Analysis of Population-Level Impacts and a New Mitigative System. Utah State University.
- Lehnert, M.E., Bissonette, J.A., 1997. Effectiveness of Highway Crosswalk Structures at Reducing Deer-Vehicle Collisions. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* 25, 809–818.
- Littlewood, N.A., Rocha, R., Smith, R.K., Martin, P.A., Lockhart, S.L., Schoonover, R.F., Wilman, E., Bladon, A.J., Sainsbury, K.A., Pimm, S., Sutherland, W.J., 2020. Terrestrial Mammal Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions for Terrestrial Mammals Excluding Bats and Primates. Open Book Publishers. <https://doi.org/10.11647/obp.0234>
- Littlewood, N.A., Rocha, R., Smith, R.K., Martin, P.A., Lockhart, S.L., Schoonover, R.F., Wilman, E., Bladon, A.J., Sainsbury, K.A., Pimm S., Sutherland, W.J., 2020. Install one-way gates or other structures to allow wildlife to leave roadways - Conservation Evidence. *Conservation Evidence Terrestrial Mammal Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions for terrestrial mammals excluding bats and primates.*, 310–316.

- LPO PACA, 2016. Proposition d'actions pour la restitution des corridors biologiques sur le secteur Est Étang de Berre. Diagnostic pour l'amélioration de la transparence des infrastructures linéaires. Faune et Nature 21p + 15 fiches action.
- Ludwig, J., Bremicker, T., 1983. Evaluation of 2.4 m fences and one-way gates for reducing deer-vehicle collisions in Minnesota. *Transportation Research Record* 913 19–22.
- Magnac-Winterton, M.-P., Cibien, C., Cransac-Hewison, N., 1999. Systèmes visant à réduire le nombre de collisions avec les grands ongulés. Analyse bibliographique et perspectives. ECOTONE Recherche et Environnement.
- Margueratt, D., 2004. Mainland Moose: Status, Potential Impacts, and Mitigation Considerations of Proposed Highway 113 - Final Report. Final Report 29.
- McCollister, M.F., Van Manen, F.T., 2010. Effectiveness of Wildlife Underpasses and Fencing to Reduce Wildlife–Vehicle Collisions. *wild* 74, 1722–1731. <https://doi.org/10.2193/2009-535>
- McDonald, M.G., 1991. Moose movement and mortality associated with the Glenn Highway expansion, Anchorage Alaska. [WWW Document]. URL <https://www.conservationevidence.com/individual-study/8105> (accessed 4.7.21).
- McInturff, A., Xu, W., Wilkinson, C.E., Dejid, N., Brashares, J.S., 2020. Fence Ecology: Frameworks for Understanding the Ecological Effects of Fences. *BioScience* biaa103. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa103>
- Meunier, F., 2000. Etude expérimentale du comportement de franchissement d'une clôture par des chevreuils. CERA Environnement.
- Ministère des Transports de l'Ontario (MTO), 2016. Guide environnemental visant à atténuer les répercussions de la route sur la faune (No. Rapport final à jour présenté par Eco-Kare International au ministère des Transports). St. Catharines, Ontario.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Alimentación, Dirección General de Política Alimentaria. Subdirección General del Instituto Nacional de Denominaciones de Origen, Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008. Prescripciones técnicas para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras del efecto barrera de las infraestructuras de transporte. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, Organismo Autónomo Parques Nacionales. ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2011. Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. e-newsletter number 11 [WWW Document]. URL https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/newsletter_FH_T_n11_tcm30-195826.pdf (accessed 6.17.21).
- NORPAC, IDDR, n.d. Guide BBP, Le guide de la biodiversité pour Maîtrise d'ouvrage - Les fiches techniques : fiche pratique Passage à faune [WWW Document]. URL <http://www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Passage-%C3%A0-faune-28-fev.pdf>
- O'Brien, E., Grif van der, E., Elmeros, M., Wilson-Parr, R., Carey, C., 2018. Roads and Wildlife Manual (No. CEDR Contractor Report 2018-3). CEDR (Conference of European Directors of Roads).
- Paige, C., 2015. A Wyoming Landowner's Handbook to Fences and Wildlife: Practical Tips for Fencing with Wildlife in Mind. Wyoming Community Foundation, Laramie, WY.
- Phillips, M., 1999. Wildlife management on arterial highways in New Brunswick. Presented at the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation. September 13-16.
- Putman, R.J., 1997. Deer and Road Traffic Accidents: Options for Management. *Journal of Environmental Management* 43–57.
- Reed, D.F., Beck, T.D.I., Woodard, T.N., 1982. Methods of Reducing Deer-Vehicle Accidents: Benefit-Cost Analysis. *Wildlife Society Bulletin* (1973-2006) 10, 349–354.
- Reed, D.F., Cebula, J.J., 1974. One-way deer gate, United States Patent. US3803763A.
- Reed, D.F., Pojar, T.M., Woodard, T.N., 1974. Use of One-Way Gates by Mule Deer. *The Journal of Wildlife Management* 38, 9–15. <https://doi.org/10.2307/3800194>

Rosell, C., Torrellas, M., Colomer, J., Reck, H., Navàs, F., Bil, M., 2020. Wildlife & Traffic. A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. Maintenance of ecological assets on transport linear infrastructure (No. CR2020- 02). CEDR (Conference of European Directors of Roads).

Le Saint-Hubert, 2012, Sanglier, sortie d'autoroute sans péage, 42–43.

Sielecki, L., 2007. The Evolution of Wildlife Exclusion Systems on Highways in British Columbia., in: Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation. C. L. Irwin, D. Nelson, and K. P. McDermott (eds.), Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, pp. 459–474.

Siemers, J.L., Wilson, K.R., Baruch-Mordo, S., 2015. Monitoring wildlife vehicle collisions : analysis and cost-benefit of escape ramps for deer and elk on U.S. Highway 550 (final report No. Report No. CDOT-2015-05). Department of Fish, Wildlife, and Conservation Biology Colorado State University.

Siemers, J.L., Wilson, K.R., Baruch-Mordo, S., 2013. Wildlife Fencing Escape Ramp Monitoring: Preliminary Results for Mule Deer in Southwest Colorado. Presented at the 2013 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2013).

Sordello R., Bertheau Y., Coulon A., Jeusset A., Ouédraogo D.Y., Vanpeene S., Vargac M., Villemey A., Witté I., Reyjol Y., Touroult J., n.d. Les protocoles expérimentaux en écologie. Principaux points clefs. UMS PatNat, CESCO, Irstea.

Stull, D.W., Gulsby, W.D., Martin, J.A., D'Angelo, G.J., Gallagher, G.R., David A. Osborn, Robert J. Warren, Karl V. Miller, 2011. Comparison of Fencing Designs for Excluding Deer from Roadways. Human–Wildlife Interactions (HWI) 5, 47–57. <https://doi.org/10.26077/3J07-P135>

Transports Canada, 2002. La Gestion de la faune, manuel de procédure. Transports Canada, Direction de la sécurité des aéroports.

Van der Ree, R., Gagnon, J.W., Smith, D.J., 2015. Fencing: A Valuable Tool for Reducing Wildlife-Vehicle Collisions and Funneling Fauna to Crossing Structures. pp. 159–171. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch20>

Vanpeene-Bruhier, S., Dalban-Canassy, J., 2006. Etat des lieux de la connaissance et des attentes des acteurs sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages et les écosystèmes. Synthèse bibliographique au niveau de l'arc alpin frontalier des connaissances acquises sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages, les écosystèmes et la biodiversité. CEMAGREF.

Wansink, D.E.H, G.J. Brandjes, G.J. Bekker, M.J. Eijkelenboom, B. van den Hengel, M.W. de Haan, H. Scholma, 2013a. Leidraad Faunavoorzieningen bij Infrastructuur. Rijkswaterstaat, Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving / ProRail, Nederland.

Wansink, D.E.H, G.J. Brandjes, G.J. Bekker, M.J. Eijkelenboom, B. van den Hengel, M.W. de Haan, H. Scholma, 2013b. Leidraad Faunavoorzieningen bij Infrastructuur. Bijlagen. Rijkswaterstaat, Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving / ProRail, Nederland.

Exemples en images :

- Photographies de Huijser M. :
 - o Blog. URL <https://www.marcelhuijserphotography.com/blog/keyword> (accessed 4.12.21).
 - o Wildlife guards and gates. URL <https://www.marcelhuijserphotography.com/wildlifeguardsgates> (accessed 4.12.21).
 - o Wildlife jump-outs or escape ramps. URL <https://www.marcelhuijserphotography.com/wildlifejumpouts> (accessed 4.12.21).

Annexe 15. Liste des principaux organismes contributeurs de données

○ *En France :*

Le réseau « ongulés sauvages OFB-FNC-FDC » avec la participation des fédérations départementales des chasseurs APRR, CEREMA OUEST, CEREMA SUD OUEST, Département de Maine-et-Loire, DIR CENTRE-OUEST, IMPCF, MAXILOR, Office de Génie Ecologique (OGE), SNCF Réseau, VINCI Autoroutes (réseaux ASF, Cofiroute et ESCOTA),

○ *Ailleurs en Europe :*

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), Agency for Roads and Traffic, Dutch national roads agency Rijkswaterstaat, Faculty of Veterinary Medicine Zagreb, Forest Research Institute, Leibniz-Institute for Zoo and Wildlife Research, Rijkswaterstaat (Public Services, environmental engineering), Wageningen Environmental Research

L'équipe d'ESCAPE XXL remercie l'ensemble des personnes qui ont répondu aux différentes phases d'enquête.