

# Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre





# **Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre**

## Rédacteurs

- Alain MORAND (Cerema Est)
- Jean CARSIGNOL (Cerema Est)

## Relecture

- Luc CHRETIEN (Cerema Est)
- Marine PAULAIS (DGITM)
- Nora SUSBIELLE (DGITM)

**Remerciements** pour leurs contributions notamment lors des deux ateliers conduits en région Auvergne-Rhône-Alpes et Grand-Est, la mise à disposition de documents et d'illustrations :

- Damien AUMAITRE (CEN Lorraine)
- Laurent ARCELLIN (CD Moselle)
- Jérôme BACQUERT (CD Pas de Calais)
- Thierry BOHNENSTENGEL (karch)
- Guy BERTHOUD (Econat)
- Virginie BILLON (Cerema Centre-Est)
- Christian BULLE (CD Doubs)
- Marc CHEYLAN (EPHE, CEFÉ CNRS Montpellier)
- Audrey COCU (Cerema Est / Université de Lorraine)
- Hervé COFFRE (LPO Isère)
- Anne-Sophie CROYAL (CD Isère)
- Jean-Christophe De-MASSARY (MNHN/AFB)
- Lucile DEWULF (ARB Ile de France)
- Sébastien DIDIER (LPO Alsace)
- Baptiste DOUTAU (LPO Haute-Savoie)
- Cécile DOUAY-BERTRAND (Cerema Est)
- Rémi DUGUET (Alcedo Faune & Flore)
- Marc GIGLEUX (Cerema Est)
- Laurent GODE (Parc naturel régional de Lorraine)
- Fanny GOSSELIN (BUFO)
- Jean-Luc GROSSI (AVENIR)
- Jean-Paul GULIA (Photographe naturaliste bénévole)
- Christophe HERVE (LPO Champagne-Ardenne)
- Pierre JOLY (Université Lyon 1 & CNRS)
- Marion JOUFFROY (SHF/Natagora)
- Jonathan JUMEAU (CD Bas Rhin / Université de Strasbourg & CNRS)
- Fabrice LEVRESSE (CD Bas-Rhin)
- Fabien LANTOURNE (SODILOR)
- Olivier LEBRUN (SODILOR)
- David LESBARRÈRES (Laurentian University, Dpt Biology (Canada))
- Grégory MAILLET (RNN Etang du Grand Lemps)
- Claude MIAUD (CEFÉ CNRS Université de Montpellier)
- Victoria MICHEL (BUFO)
- Jean-Louis MICHELOT (ECOSPHERE)
- Alix MICHON (LPO Franche-Comté)
- Thierry MOUGEY (Fédération des Parcs naturels régionaux)
- Céline MULLER (Cerema Est / Université de Lorraine)
- Jean MURATET (Ecodiv)
- François NOWICKI (Cerema Est)
- Julian PICHENOT (Cerema Est)
- Jérôme PRUNIER (CNRS Station Biologique de Moulis)
- Anaïs QUILGHINI (Cerema Est / Université de Lorraine)
- Dominique ROBERT (ATENA 78)
- Gérald TEKIELAK (Cerema Est)
- Guillaume TESTUD (CEFÉ CNRS Université de Montpellier)
- Jean-Pierre VACHER (BUFO)
- Thomas WALTZER (Atelier des Territoires)

# Sommaire

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 - Les amphibiens : des espèces étonnantes, utiles et menacées</b>                             | <b>6</b>  |
| 1.1 - <i>Un cycle de vie complexe entre la terre et l'eau</i>                                      | 6         |
| 1.2 - <i>La dispersion et les migrations</i>                                                       | 7         |
| 1.3 - <i>Les amphibiens en France : menaces, protection et statut</i>                              | 8         |
| <b>2 - Les mesures et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre</b> | <b>17</b> |
| 2.1 - <i>La fermeture temporaire des routes pendant les migrations</i>                             | 17        |
| 2.2 - <i>Les installations temporaires de protection</i>                                           | 18        |
| 2.3 - <i>Les installations permanentes de protection</i>                                           | 25        |
| 2.4 - <i>Les ouvrages non spécifiques à amphibiens</i>                                             | 39        |
| <b>3 - Mesures compensatoires et d'accompagnement</b>                                              | <b>40</b> |
| 3.1 - <i>La création d'habitats aquatiques (mares de substitution)</i>                             | 40        |
| 3.2 - <i>Habitats terrestres (sites d'hivernage, territoire de chasse, etc)</i>                    | 41        |
| <b>4 - Mesures « E, R, C » : éléments de coût et acceptabilité socio-économique</b>                | <b>42</b> |
| <b>Bibliographie</b>                                                                               | <b>43</b> |
| <b>Annexes</b>                                                                                     | <b>47</b> |
| Annexe 1 - <i>Liste des espèces d'amphibiens et de leur statut de protection</i>                   | 48        |
| Annexe 2 - <i>Exemple de détermination chez les Anoures et les Urodèles</i>                        | 51        |
| Annexe 3 - <i>Créer et entretenir un plan d'eau à amphibiens : quelques principes généraux</i>     | 53        |
| Annexe 4 - <i>Mesures « E, R, C » : quelques éléments de coût</i>                                  | 55        |

# 1 - Les amphibiens : des espèces étonnantes, utiles et menacées

Environ 8000 espèces d'amphibiens se distribuent aujourd'hui à la surface de la terre sur presque tous les continents [1]. Ils se répartissent en trois groupes : les Anoures (grenouilles et crapauds), les Urodèles (salamandres et tritons) et les Gymnophiones (amphibiens apodes ou sans membre). Seuls les deux premiers groupes sont présents en Europe et la France métropolitaine compte une quarantaine d'espèces dont plusieurs espèces introduites (voir Annexe 1) [2].

## 1.1 - Un cycle de vie complexe entre la terre et l'eau

Si quelques espèces d'amphibiens demeurent toute leur vie dans l'eau ou sont au contraire totalement affranchies du milieu aquatique<sup>1</sup>, la grande majorité des amphibiens européens occupent les milieux d'interface [3, 4] et présentent un cycle de vie complexe ou biphasique « type » (voir figure ci-dessous), avec l'alternance d'une phase aquatique (œufs et larves aquatiques) puis, au terme d'une métamorphose, d'une phase terrestre (stade juvénile, puis adulte). Ils ne retournent dans l'eau qu'à maturité sexuelle, pour se reproduire. Ils effectuent des allers et retours autant de fois que leur longévité le permettra.

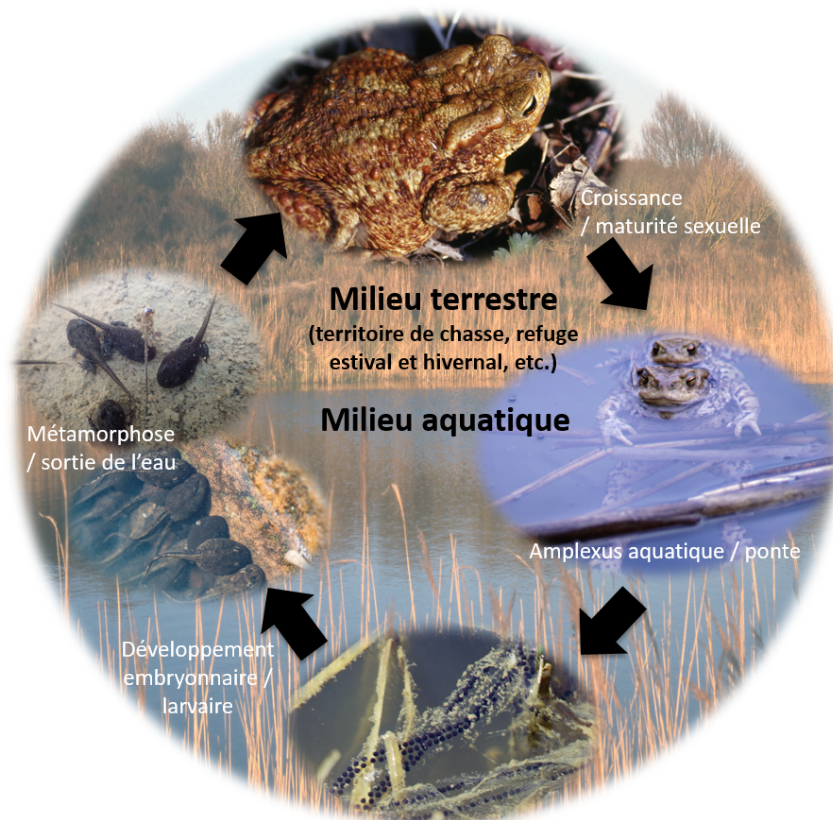


Figure 1 : Illustration du cycle de vie complexe et biphasique « type » d'un amphibien : exemple du Crapaud commun (*Bufo bufo*) (Source : © A. Morand et J-P Gulia)

L'espérance de vie adulte (ou longévité en milieu naturel) est en moyenne de 5 à 10 ans mais il est courant de trouver des individus âgés de plus d'une quinzaine d'années chez certaines espèces longévives (Triton crêté, Sonneur à ventre jaune). La maturité sexuelle est atteinte entre 1 et 3 ans selon les espèces et le sexe de l'individu, elle est variable toutefois selon la latitude et l'altitude [5].

<sup>1</sup> Font exception en France, plusieurs espèces d'Urodèles totalement affranchies du milieu aquatique : les salamandres noires alpines (*Salamandra atra* et *Salamandra atra*), au mode de reproduction « vivipare » ; le Spélérpes de Strinatii (*Spelerpes strinatii*), ovipare et unique représentant en France de la famille des pléthodontidés, habitant les grottes et les ripisylves ; les populations de la sous-espèce de Salamandre tachetée (*Salamandra atra fastuosa*).

Le caractère amphibie de ces animaux leur impose de disposer de plusieurs types d'habitats pour accomplir leur cycle de vie : un habitat de reproduction, un habitat d'alimentation (de chasse), un site d'estivation (quartier d'été) et un site d'hivernage (quartier d'hiver). Selon les espèces, les amphibiens ont développé des capacités locomotrices et de comportements migratoires plus ou moins marqués. Les différentes formes de déplacement sont liées à la reproduction (migration pré et post-nuptiale), à la métamorphose (migration post-larvaire), à des mouvements restreints à l'intérieur du territoire de chasse, aux déplacements plus conséquents vers les quartiers d'hiver ou d'été.

S'ajoute la dispersion et les déplacements exploratoires d'individus qui en assurant la conquête de nouveaux territoires contribuent au fonctionnement de la population voire d'un ensemble de populations subdivisées mais connectées entre elles (fonctionnement en métapopulation). Les populations déclinent si les pertes par les processus de "mortalité/émigration" excèdent les gains par ceux de "recrutement/immigration" [6, 7].

## 1.2 - La dispersion et les migrations

La plupart des amphibiens ont de faibles capacités de dispersion, notamment en raison de leur morphologie et de leur comportement [8]. Leur peau très perméable, leur dépendance à l'humidité voire à l'eau (stade œuf et larve) expliquent leur faible mobilité et leur grande dépendance aux zones humides. S'ajoute un caractère assez sédentaire de plusieurs espèces d'amphibiens, tout du moins lors de leur vie adulte. Qu'ils s'agissent d'espèces semi aquatiques (Grenouille verte) ou au moeurs davantage terrestres (Crapaud commun ; Pélobate brun ; Triton crêté ; Triton alpestre ; Salamandre tachetée), beaucoup sont reconnues comme étant très fidèles à leur site de ponte, qui correspond souvent aussi à leur site de naissance. Toutefois, il existe parfois des distances importantes entre les différents types d'habitats d'alimentation et de croissance ou encore les refuges hivernaux, des habitats aquatiques de reproduction. La distance entre les différents types d'habitats, le lieu de naissance et d'autres sites visités peut donc varier de plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres. Lors de la migration de reproduction, il a été mesuré quelques distances records allant jusqu'à 10 km pour la Grenouille rousse et la Rainette arboricole et jusqu'à 15 km pour la Grenouille « verte » de Lessona [9] !

Pour minimiser les coûts énergétiques des déplacements, éviter les risques de dessiccation et de prédation, les amphibiens recherchent généralement la plus courte distance pour se déplacer (trajectoire « en ligne droite »). Ils tentent de franchir les obstacles sans chercher à les contourner, entraînant de fortes dépenses d'énergie et du stress. Il est par conséquent fréquent de voir des individus épuisés au cours des migrations prénuptiales. Lors des déplacements, les amphibiens exploitent le maximum d'informations de leur environnement qu'ils sont en mesure de détecter et d'analyser. L'expérience et l'acquisition d'informations même sommaire de leur environnement s'acquiert au cours du développement de la larve à l'adulte.

### Encadré 1 - Les mécanismes de l'orientation

L'orientation chez les amphibiens repose sur un système multi sensoriel incluant des informations acoustiques, magnétiques, mécaniques, olfactives, et visuelles. Certaines espèces privilégient un sens plutôt qu'un autre et cette spécificité peut avoir lieu au niveau de la population, de l'individu et son stade de vie ou de son sexe !

Si la vision joue un rôle incontestable sur de courtes distances, elle offre peu de « hauteur de vue » de la part d'animaux vivant au ras du sol. Les amphibiens, qui se déplacent, sont donc d'abord sous l'influence de caractéristiques grossières de l'habitat et répondent à une certaine ambiance de l'environnement pour s'orienter. Ils peuvent suivre ainsi un gradient d'humidité. Il a été démontré également durant la période de reproduction que les salamandres ou crapauds peuvent utiliser les étoiles ou la lune pour s'orienter pendant la nuit ou bien encore le soleil pendant le jour. L'utilisation du champ magnétique terrestre a été démontré chez différentes espèces. Des cellules photoréceptrices dans la glande pinéale ou épiphyse du cerveau (dite aussi 3<sup>e</sup> œil des vertébrés) et des particules métalliques interviennent, la direction générale est donnée par un « compas » comme chez les oiseaux migrateurs. Près du site aquatique de reproduction, les salamandres et les tritons comme plusieurs espèces d'anoures utilisent les odeurs pour s'orienter plus finement. La nature chimique des odeurs mises en jeu n'est pas identifiée mais l'odeur de la mare d'origine est mémorisée et permet d'y retourner lors des migrations prénuptiales. Enfin, s'il est communément admis que les amphibiens anoures utilisent les sons et en particulier les signaux sonores de leurs congénères, des études expérimentales récentes montrent que plusieurs espèces de tritons utilisent des chants d'appel sexuel d'autres espèces d'amphibiens syntopiques (qui vivent dans le même environnement) pour repérer leurs mares de reproduction [10, 11, 12].



Photos 1 et 2 : Les tritons marbrés, en vue de repérer leurs mares de reproduction, peuvent utiliser les chants d'appel sexuel d'amphibiens anoures, ici d'une rainette méridionale mâle au sac vocal gonflé (Source : © A. Morand, Cerema Est)

### 1.3 - Les amphibiens en France : menaces, protection et statut

Le déclin des amphibiens partout dans le monde et l'extinction de leurs populations sont aujourd'hui confirmés [2, 13, 14]. Parmi les vertébrés terrestres, c'est le groupe le plus menacé et si rien ne change, 1/3 des espèces pourraient disparaître dans les deux décennies à venir.

Sur la quarantaine d'espèces en France métropolitaine qui se répartissent respectivement chez les Anoures (8 familles) et les Urodèles (2 familles), plus de la moitié des espèces indigènes sont menacées ou quasi-menacées (voir Annexe 1). Six espèces exotiques (voir Annexe 1) sont considérées comme potentiellement « invasives » [2] sachant qu'une seule, la grenouille taureau, est inscrite sur la liste européenne (règlement 2016/1141).

#### 1.3.1 - Les impacts globaux

- **La destruction et fragmentation de l'habitat** sont les causes les plus importantes pour la disparition des amphibiens<sup>2</sup>. Sous nos latitudes tempérées et dans nos régions urbanisées, de telles menaces sont essentiellement liées à l'agriculture intensive (remembrements et disparition des haies, monoculture intensive et drainage, simplification des paysages), l'exploitation d'autres ressources naturelles (enrésinement des forêts, extraction de granulats dans les plaines alluviales, pêche de loisir dans les lacs d'altitude) et l'urbanisation (assèchement des zones humides) ainsi qu'aux transports (voies ferrées, routes et canaux). Les caractéristiques biologiques des amphibiens et leur fonctionnement biodémographique les rendent particulièrement vulnérables à de tels impacts sur les paysages. En effet, la plupart des espèces présentent des populations de plus en plus éloignées et isolées les unes des autres limitant les contacts et les échanges génétiques. Les déplacements réguliers au sein du domaine vital et la dispersion nécessaire par les corridors naturels entre les populations se font de plus en plus difficilement. Ils sont pourtant indispensables au maintien de populations viables pour de telles espèces en raison même du fait que la survie des populations en dessous d'une certaine valeur "seuil" (ou "taille minimale viable") est souvent compromise.
- **La dégradation de la qualité des milieux** : le mode de vie terrestre et aquatique des amphibiens et leur peau très perméable les rendent plus vulnérables que les autres espèces de vertébrés terrestres aux toxines (pesticides, métaux lourds, biocides, nitrates, sels de déverglaçage) présentes dans l'environnement. Tous ces agents polluants, pris individuellement ou par effet « cocktail », sont des composés à l'origine de phénomènes de mortalité, de malformation et difformités ou d'échec de la reproduction voire de stérilité.
- **Les agents pathogènes et nouvelles maladies émergentes** : enfin, au côté de ces menaces déjà bien identifiées s'ajoutent de nouveaux dangers liés aux changements globaux. Un nouvel agent pathogène *Batrachochytrium dendrobatidis* appelé aussi "chytride" n'épargne désormais aucune région de France et ni même les zones protégées [15]. L'existence en France d'un Ranavirus [16] est une nouvelle menace pour des populations déjà fragilisées par la prédation élevée des écrevisses, amphibiens et poissons introduits dans les milieux aquatiques [17,18].

<sup>2</sup> <http://www.globalamphibians.org>

### 1.3.2 - Les impacts spécifiques liés aux infrastructures de transport terrestre

En France, une part non négligeable de la mortalité des amphibiens conduisant en certains lieux à l'extinction de populations est liée à la densification du réseau des infrastructures de transport terrestre (ITT). La perte d'habitats, la fragmentation des milieux et leur dégradation en sont les principales causes. Les possibilités de déplacement des amphibiens dans de tels paysages se réduisent de plus en plus alors même que la plupart des espèces ont un cycle de vie qui impose des dispersions et migrations entre les milieux terrestre et aquatique.

Les infrastructures de transport terrestres (ITT) impactent les amphibiens de deux manières :

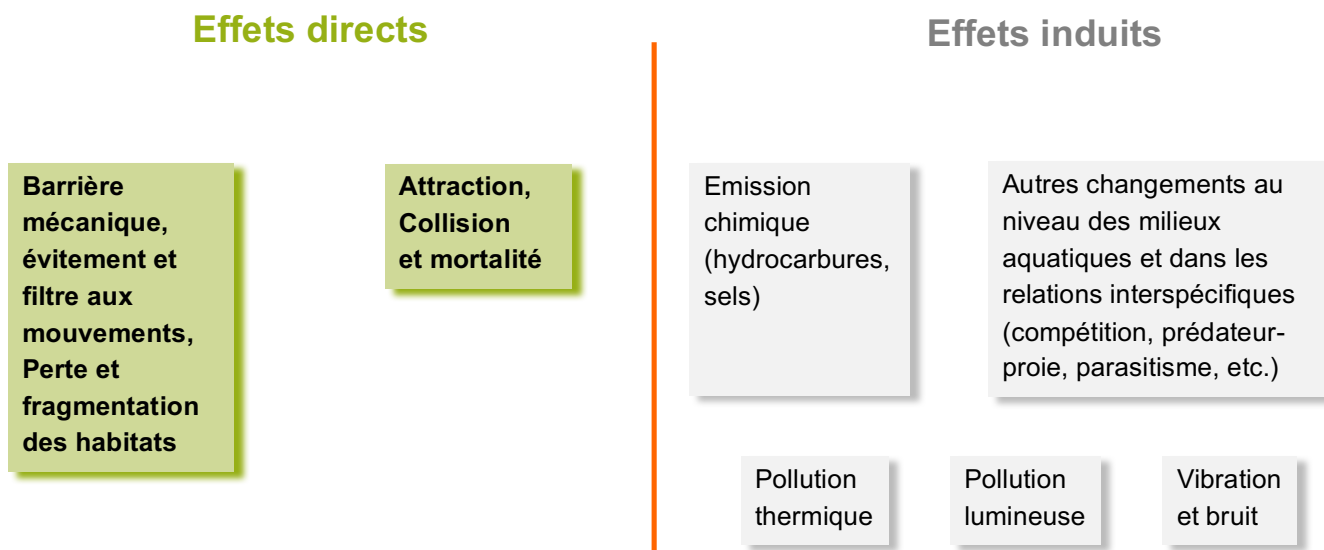


Figure 2 : Les infrastructures de transport et les deux types d'impacts sur les amphibiens  
(Source : adaptée d'après [17, 18])

#### L'impact indirect des ITT

##### Les émissions chimiques

La pollution des milieux adjacents est un facteur à prendre en compte qui est de deux ordres : chimique, à la suite des rejets des véhicules, et sonore, de par le bruit de ces mêmes véhicules. Le réseau routier, en raison des flux importants de véhicules, contribue donc à l'apport global de pollutions dans les cours d'eau et habitats aquatiques de reproduction qu'il longe ou traverse. On appelle effluents l'ensemble de ces apports polluants ou non dont le risque s'accroît considérablement lors d'épisodes de pluie violents. Les conséquences sur les amphibiens ont fait l'objet de plusieurs types de travaux portant sur le degré d'exposition et les effets à plus ou moins long terme sur les organismes. Une toxicité aiguë peut se produire allant jusqu'à la mort rapide des individus exposés, elle concerne des composés chimiques tels les chlorures de sodium attribuables au salage des chaussées ainsi que métaux lourds (plomb, zinc) au risque non nul en l'absence de piégeage par les sédiments ou les végétaux, etc. Une autre toxicité plus insidieuse implique des molécules "d'hydrocarbures aromatiques polycycliques" (HAP) qui ne présentent pas par elles-mêmes de dangers particuliers mais induisent des interactions avec le matériel génétique [21, 22].

## Encadré 2 - Les bassins d'orage : quelle qualité d'habitat de reproduction pour les amphibiens ?

D'une manière générale, il est recommandé d'empêcher l'accès aux amphibiens des bassins de traitement des eaux des plateformes routières fortement polluées. Des dispositions doivent être prises pour empêcher l'accessibilité des bassins de traitement aux amphibiens, notamment par des clôtures adaptées [23] tout autour du bassin, la pose de barrière canadienne ajustée à leur entrée, etc. En revanche, les bassins de rétention des eaux du bassin versant ou bien les bassins d'écrtage à l'aval des bassins de traitement peuvent être des milieux d'accueil et de reproduction des amphibiens sous réserve d'une surveillance régulière de la qualité des eaux. Dans certain contexte, notamment les régions très urbanisées ou agricoles, les bassins d'orage, malgré ces mesures, sont colonisés. Ils jouent le rôle d'habitats-refuge dans un paysage particulièrement hostile aux amphibiens posant la question du succès de la reproduction dans un tel milieu [24], etc.



Photos 3 à 8 : En haut à gauche : Site de Molsheim et son paysage agricole à culture intensive de grande surface ; En haut à droite : Crapaud vert (*Epidalea* - anciennement *Bufo* - *viridis*) en migration à la recherche de sites aquatiques potentiels de reproduction ; Au centre à gauche : Crapaud vert écrasé ; Au centre à droite : Bassin de rétention, entouré de grillage à grande et petite faune, barrière protectrice en acier et barrière canadienne à l'entrée de l'ouvrage pour entretien. Il est observé quelques chanteurs de Crapaud vert dans de tels bassins ; En bas à gauche : Buse de grande taille sous la chaussée de la 2x2 voie ; En bas à droite : Mare artificielle creusée sur affleurement de la nappe réalisé dans le cadre de mesures compensatoires (Sources : © J-P Vacher / Bufo & A. Quilghini, A. Morand, Cerema Est)

Les bruits d'origine anthropique sont connus pour leur impact et dérangement sur les communautés animales [25], en partant de l'hypothèse que l'augmentation du bruit perturbe tout particulièrement la communication acoustique alors même que ces échanges de signaux agissent sur le rapprochement de partenaires lors de la reproduction, la défense de territoire voire la perception de prédateurs. Il suffit d'un passage de véhicule pour inhiber un chanteur isolé de rainette arboricole, mais pas un chœur, probablement parce que l'émergence du chant est affectée seulement dans le premier cas [26]. Certaines équipes de recherche étudient, de manière expérimentale et en conditions contrôlées, le stress physiologique chez les rainettes. Les individus mâles soumis au stress développent des taux de corticostérone plus élevés à l'origine d'une déficience immunitaire et visible sur la coloration des sacs vocaux chez les mâles devenus moins attractifs pour les femelles [27].

En ce qui concerne la lumière, peu d'études démontrent des effets avérés sur les amphibiens même si l'on peut supposer raisonnablement qu'avec le bruit, l'implantation d'un giratoire éclairé peut perturber les déplacements et les migrations. Par ailleurs, les lampadaires attirent les insectes mais aussi les amphibiens prédateurs s'en nourrissant avec des risques accrus d'écrasement. L'éclairage des voies de circulation n'étant plus une priorité, le risque devrait s'amenuiser. Il peut toutefois subsister à proximité des agglomérations.

### L'impact direct du trafic routier sur les populations

En plus de la destruction et fragmentation des milieux, les collisions mortelles avec les véhicules affectent directement la démographie de nombreuses espèces mais peu d'études et suivis à long terme évaluent précisément l'importance de ces impacts [28, 29] sur la dynamique des populations même s'il est très probable qu'elles contribuent fortement en certains lieux à leur extinction.

#### Perte d'habitats et fragmentation des milieux (effet barrière, rupture des corridors)

La destruction et la fragmentation des milieux se traduisent par une cascade d'effets sur les habitats et les populations d'amphibiens : morcellement des habitats en mosaïque, allongement des lisières, augmentation des distances entre les habitats d'hivernage et de reproduction, isolement des populations, difficulté des amphibiens à se disperser et à conquérir de nouveaux territoires. Les conséquences sont un déficit démographique, l'absence de flux d'immigration. Dans les paysages fragmentés, les connectivités spatiales et fonctionnelles sont altérées. La colonisation de nouveaux territoires et les migrations liées à reproduction ou à l'alimentation sont rendues difficiles voire impossibles.

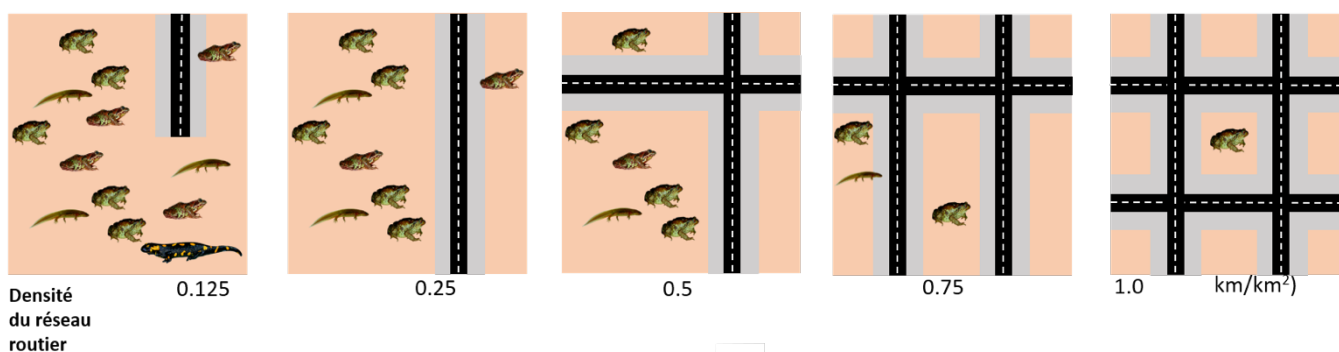


Figure 3 : Illustration du phénomène de fragmentation des habitats - Les infrastructures de transport terrestre, en particulier les routes sont à l'origine d'une perte et dégradation de l'habitat dus à la destruction directe et l'effet des perturbations (ou effet bordure) de part et d'autre de l'ITT (en gris) et l'isolement. Lorsqu'un tel réseau d'ITT s'accroît, la superficie des habitats naturels (en beige) diminue et ils deviennent inaccessibles. Les fragments d'habitat peuvent être aussi trop petits et/ou dégradés pour satisfaire l'écologie du cycle de vie des différentes espèces d'amphibiens, entraînant l'extinction de leurs populations à court, moyen ou plus long terme (Source : adapté d'après [30] ; © J. Muratet, Ecodiv)

### Encadré 3 - Les effets directs (emprise et terrassement) et induits des Aménagements Fonciers Agricoles et Forestiers (AFAF) liés aux chantiers lors des projets d'aménagement routier ou de voies ferrées

La consommation d'espace et destruction des habitats naturels lors des travaux de dégagement des emprises et les terrassements sont les facteurs qui affectent le plus les populations d'amphibiens. En moyenne, pour 1 kilomètre d'autoroute ou LGV, environ 10 à 15 ha disparaissent et il est très difficile de compenser à l'identique la perte de certains habitats n'ayant pas tous la même fonctionnalité et le même rôle dans l'écosystème. Les emprunts et les dépôts de matériaux peuvent transformer des surfaces importantes d'habitats naturels. La prise en considération de ces destructions est à envisager de la même manière que les pertes d'habitats sous emprise des ITT. Toutefois les emprunts et dépôts peuvent faire l'objet de réaménagements écologiques favorables aux amphibiens en milieux secs et humides.

Dans le cadre de l'autoroute A 31 (gestionnaire APRR), la carrière de la Chalandrue a servi à fournir les matériaux de remblais nécessaires au contournement de Dijon. L'emprise de la carrière est de 15 ha partagée en deux par l'A31, la profondeur de fouille de 17 m. En fin d'exploitation, une mare de 17 000 m<sup>2</sup> est creusé dans ce milieu sec. Un an après l'aménagement les premières pontes de Grenouille rieuse, d'Alyte accoucheur et de Pélodyte ponctué sont observées, les conditions favorables à leur développement ayant été réunies dans ce milieu neuf tant au niveau du plan d'eau (ceintures d'hélophytes et hydrophytes) qu'au niveau de l'environnement immédiat terrestre (éboulis, etc.). Débutée en 1992, cette expérience a fait l'objet d'une convention de suivi de 10 ans durant laquelle un conseil de gestion s'est réuni auprès d'APRR qui reste propriétaire du terrain. En ce qui concerne ce type de projet, la création de milieux aquatiques et terrestres favorables, une certaine expérience a été acquise et améliorée au fil des années. Toutefois, le maintien de milieux pionniers favorables à plusieurs espèces patrimoniales d'amphibiens pose la question de leur entretien sur le long terme.



Photo 9 : Une exploitation de granulats en Auvergne-Rhône-Alpes (Source : © A. Morand)

Les AFAF, accompagnant la construction des ITT, entraînent également une perte d'habitats et une banalisation des paysages qui impactent directement les populations d'amphibiens. Les restructurations foncières favorisent la disparition des éléments fixes du paysage (mares, haies) et l'abandon des cultures prairiales au profit de cultures annuelles intensives. Si les AFAF sont toutefois moins impactantes que les remembrements historiques réalisés sans études d'impacts, ils n'empêchent ni les changements d'usage des sols et les disparitions d'habitats favorables aux amphibiens, ni les ruptures de corridors qu'ils empruntent. Les grands projets d'infrastructures (LGV, Autoroutes) sont réalisés dans des conditions particulières : rapidité d'exécution, tensions liées aux disparitions d'emprises (10 à 12 ha/km), importance des linéaires et surfaces restructurées (250 ha/km). De ce fait, les AFAF intègrent avec difficulté les éléments fins du paysage (micro habitats, corridors locaux, sites de croissance et de chasse, d'hivernage ou de reproduction) indispensables à la conservation des amphibiens. Les conséquences sur les dynamiques de population aux échelles locales ou régionales ne sont pas évaluées, elles sont probablement élevées si l'on considère les surfaces impactées et l'importance des changements d'usage des sols.

*A contrario*, les grandes ITT génèrent des « dépendances vertes » non négligeable en termes de surface et de linéaire. L'idée de les utiliser comme habitats de substitution ou comme trame verte longitudinale fait son chemin. Les dépendances vertes offrent potentiellement un intérêt pour la faune terrestre dans son ensemble (y compris les amphibiens). Leur contribution au fonctionnement des réseaux écologiques doit considérer les éléments favorables (surface, naturalité, linéaire) et défavorables (pollution de proximité, risques d'écrasement, modes de gestion souvent incompatibles avec une gestion conservatoire), sans oublier que les dépendances vertes sont toujours des corridors en « pas japonais » interrompus à chaque franchissement de l'ITT par des voies secondaires (risque d'écrasement élevé à chaque intersection).

## Mortalité par collision

Les écrasements par les véhicules automobiles affectent directement la démographie de nombreuses espèces. Peu d'études et de suivis évaluent précisément les conséquences, à long terme, sur la dynamique des populations même s'il est très probable qu'elles contribuent fortement, en certains lieux, à leur extinction.

Un trafic de 10 véhicules à l'heure entraînerait la mort de 30 % des crapauds communs adultes en migration tandis qu'entre 24 et 40 voitures par heure, 50 % des Crapauds communs seraient éliminés et 90 % avec 60 véhicules / heure [31, 32, 33]. Cette mortalité est aussi évaluée pour d'autres espèces d'amphibiens (anoures et urodèles) entre 34 et 61 % lors de la traversée d'une route à fort trafic (3200 véhicules / jour). La mortalité augmente entre 89 à 98 % sur autoroute (trafic supérieur à 20 000 véhicules par jour) [28, 34]. Les données chiffrées du nombre d'amphibiens tués sur les routes sont rares. Après une nuit d'orage, c'est 456 tritons palmés, 314 rainettes méridionales, 2 crapauds calamites et 2 grenouilles rieuses qui ont été trouvés écrasés sur un tronçon de 60 m d'une route à faible trafic, située près de Montpellier (Cheylan com. pers.). A titre de comparaison, après une nuit ou une matinée de comptage lors de déplacements d'amphibiens en migration de reproduction, il est trouvé respectivement près de 800 et 3600 amphibiens écrasés (Grenouille rousse et Crapaud commun, pour l'essentiel) sur un tronçon de route d'une longueur respective comprise entre 300 m (Le Cheylas en Isère) et 1,5 km (Kruth-Wildenstein dans le Haut-Rhin). Ces valeurs sont élevées et renforcent l'hypothèse que certaines populations subissant de lourdes pertes peuvent s'éteindre en quelques années si aucune mesure correctrice liée à l'impact de la route n'est effectuée. L'évaluation du nombre d'amphibiens tués sur les routes peut aussi être effectuée, de manière indirecte, par le biais des dispositifs temporaires et le nombre d'individus collectés chaque saison de reproduction. En France, différentes équipes de bénévoles recensent dans les dispositifs temporaires de franchissement en une saison des quantités allant de 10 000, 20 000 jusqu'à 45 000 individus qui traversent une seule route. C'est donc quelques centaines de milliers d'amphibiens qui sont sauvés chaque année de l'écrasement mais pour combien d'amphibiens tués sur les routes !

Les biologistes et herpétologues suisses<sup>3</sup> estiment à environ 5 millions d'amphibiens adultes écrasés en Suisse chaque année lors de leur migration (principalement de reproduction). De cette évaluation, c'est entre 25 à 50 millions d'amphibiens adultes qui périssent, en France, chaque année [35]. A ces chiffres déjà impressionnants s'ajoutent plusieurs millions de juvéniles qui subissent très probablement le même sort. Un trafic de 60 véhicules par heure élimine presque la totalité des crapelets en migration post-métamorphique.

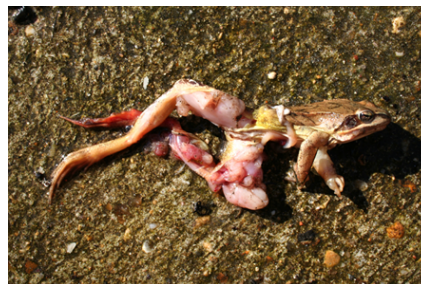


Illustration et Photos 10 à 13 : En haut à gauche : Vue du pneu (Source : dessin de Marion Jouffroy pour le Colloque de Namur, 2016) ;  
En haut à droite : Grenouille agile (Source : © ATENA 78) ;  
En bas à gauche : Triton crêté (Source : © ATENA 78) ;  
En bas à droite : Crapaud commun (Source : © A. Morand, Cerema Est)

#### Encadré 4 - Fragmentation des populations et isolement génétique

La connectivité des habitats est un élément clé de la viabilité régionale des populations d'amphibiens [36]. Les amphibiens sont un excellent modèle pour tester en grandeur nature et selon une approche en génétique, l'hypothèse d'une barrière infranchissable à la dispersion que jouent les grandes infrastructures dans les paysages fragmentés [37]. En France, deux études récentes montrent que le cloisonnement du paysage par les ITT (ferroviaire et autoroutière) est une problématique complexe et que la barrière génétique ne s'exerce pas de manière systématique même sur des autoroutes anciennes ou des LGV récentes dépourvues de passage spécifiques à la petite faune (et de crapauducs).

Une première étude de génétique du paysage, par le programme Copafaune en partenariat avec les gestionnaires d'infrastructure RFF et APRR [38, 39, 40], montre que l'autoroute A6 en Bourgogne ne constitue pas une barrière à la dispersion du Triton alpestre. Dans le contexte étudié, les tritons alpestres empruntent accidentellement et en nombre suffisant des ouvrages hydrauliques non dédiés. Ils franchissent l'autoroute avec succès et assurent un brassage génétique. De plus, le travail réalisé sur l'A6 laisse également apparaître que les fossés de drainage de l'autoroute faciliteraient la dispersion le long de l'infrastructure. Dans le programme « Trans-fer » [41], quatre tronçons d'environ 20 km constitués de deux voies ferrées classiques, la LGV Est-Européenne en Lorraine et la LGV Paris-Lyon en Bourgogne ont fait l'objet d'une analyse génétique appliquée à la Salamandre tachetée. Malgré une structuration génétique des populations liée à la distance et la surface de l'habitat, le réseau ferré n'a aucun effet barrière sur les populations. Les quelques individus qui franchissent avec succès les voies ferrées et les LGV assurent un brassage génétique suffisant à cette échelle d'étude. En absence d'ouvrage dédié aux amphibiens, il existe donc malgré tout une transparence interne aux LGV avec des possibilités de traversées tous les 310 m sur la LGV Est-Européenne et 390 m sur la LGV Sud-Est.

Les LGV offrent en définitive, suffisamment de possibilité de traversées occasionnelles d'individus pour éviter l'isolement génétique des sous populations. L'analyse génétique appliquée au Triton alpestre (A6) et à la Salamandre tachetée (quatre tronçons de voies classiques, LGV Est et Sud-Est) conclue à l'absence de barrière génétique. Les ITT agiraient comme des filtres plutôt que comme des barrières. Ces résultats confirment l'intérêt de concevoir les ouvrages hydrauliques et les ouvrages agricoles ou forestiers comme des ouvrages mixtes utilisables par les amphibiens. Chez la Salamandre tachetée en région parisienne, un effet négatif des voies routières rapides a été détecté. En revanche, la même étude a démontré l'absence d'effet de la ligne RER et des LGV situées dans l'aire d'étude [42].

Il faut néanmoins être prudent sur l'interprétation de tels résultats et les liens de cause à effet ou au contraire l'absence de lien. Ces résultats confirment d'une part l'intérêt des petits ouvrages hydrauliques à concevoir comme des ouvrages mixtes facilement utilisables par la faune terrestre - y compris les amphibiens - et d'autre part le rôle que pourraient jouer certaines emprises pour assurer la transparence génétique et un fonctionnement envisageable en métapopulation aux échelles locales et régionales. Il s'agit toutefois d'associer à de telles études de génétique du paysage, d'autres approches complémentaires, notamment de dynamique des populations cibles. Il se pourrait que l'extinction de la population advienne peu après la création d'une infrastructure même en l'absence d'un effet de différenciation génétique. Les conséquences de la fragmentation sont une problématique qui doit être considérée au cas par cas selon le contexte, chaque espèce ainsi que les populations étudiées.

### 1.3.3 - Les services rendus par les amphibiens

Les amphibiens rendent de nombreux services méconnus et sous-évalués [43]. Ils sont à la fois prédateurs (fourmis, vers, limaces, cloportes, etc.) et proies, à l'état adulte, notamment de différentes espèces de reptiles, d'oiseaux et de mammifères (couleuvres, héron, chouette, putois, loutre, etc). Leurs larves et têtards sont une nourriture de choix pour les poissons et les invertébrés prédateurs aquatiques (dytique, larve de libellules). Ils recyclent la matière organique et contribuent aux transports de matières entre les milieux aquatiques et le milieu terrestre [3]. Plusieurs découvertes médicales majeures se sont appuyées sur les amphibiens (test de grossesse) ou font l'objet d'enjeux majeurs actuels de recherche (régénération des membres après amputation). L'asthme, les maladies de peau, certains cancers en ont bénéficié également ou font l'objet de pistes de recherche actuelles.

Enfin, du point de vue socio-culturel, ils sont omniprésents en Occident et trouvent aujourd'hui un capital "sympathie", tout particulièrement les rainettes et tritons, auprès des citoyens de nos sociétés urbaines. Ils sont utilisés très fréquemment et à juste titre comme l'un des symboles d'une bonne qualité de notre environnement !

### 1.3.4 - Quelle protection et quel statut ?

Le statut des différentes espèces eu égard au droit est précisé en **Annexe 1** :

- le **droit international** (convention de Berne, 1979) engage les parties signataires à prendre les mesures nécessaires pour assurer, entre autres, la conservation des espèces animales listées dans deux annexes. L'annexe II cite les espèces à protéger strictement, et l'annexe III celles dont l'exploitation, qui reste autorisée, doit être réglementée en vue de leur protection ;
- le **droit européen** avec l'annexe IV de la Directive « Habitat-Faune-Flore » (92/43/CEE) du 21 mai 1992 liste les espèces bénéficiant d'une protection stricte. Les espèces en France inscrites à l'annexe II de cette directive bénéficient d'une protection stricte incluant leurs habitats. Les espèces de l'annexe V voient leur exploitation réglementée en vue de leur protection ;
- le **droit national français** avec l'article L.411-1 du Code de l'Environnement et par l'arrêté du 22 juillet 1993 du B.O. (remplacé par celui du 19 novembre 2007) fixe la liste des amphibiens et reptiles protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection (tous les amphibiens sont protégés, avec des dérogations ou non selon les départements - pêche, capture et mise en vente - pour la grenouille verte commune et la grenouille rousse). La simple manipulation d'un individu en vue de son identification doit faire l'objet d'une demande d'autorisation de capture à la DREAL de la région concernée ; lorsque des destructions d'individus sont inévitables, une demande exceptionnelle de dérogation motivée est adressée au Conseil Scientifique Régional de Protection de la Nature (CSRPN) et au Conseil National de Protection de la nature (CNP). Les déplacements d'individus font également l'objet d'une autorisation. Le CSRPN et le CNPN sont particulièrement exigeants lorsqu'il s'agit d'espèces faisant l'objet d'un Plan National ou Régional d'Action.

Ces statuts de protection contribuent à établir certains Plans d'Action Nationaux définissant des actions de conservation et de restauration des espèces menacées à l'échelle du territoire. Des déclinaisons régionales concernent les espèces les plus menacées. Trois plans nationaux d'action ont été réalisés (PNA Sonneur à ventre jaune 2011-2015, PNA Crapaud vert 2014-2018, PNA pélobate brun 2014-2018). Plusieurs plans régionaux d'actions (PRA Sonneur à ventre jaune, Pélobate, crapaud vert, etc.) ont été également effectués.

Le tableau en **Annexe 1** synthétise pour chaque espèce située dans son groupe taxonomique (ordre et famille), les niveaux de protection et les statuts de même que l'existence d'un PNA.

Les listes rouges d'espèces menacées sont bien connues des spécialistes et médiatisées auprès du grand public. Elles sont devenues des instruments largement utilisés pour attirer l'attention publique et politique sur les problèmes d'érosion de la biodiversité, aussi bien à l'échelle mondiale qu'au niveau national et régional. L'attribution d'une espèce à une catégorie de menace repose sur l'avis de plusieurs spécialistes, réunis lors de sessions de travail nationales ou internationales. Les listes rouges sont évolutives et sans cesse améliorées ces dernières années, de même que l'IUCN s'est lancée dans l'élaboration de listes rouges régionales. Nous renvoyons au site de l'IUCN<sup>4</sup>.

---

4 <http://www.iucn.org>

### 1.3.5 - Les méthodes de dénombrement et de suivi

Les amphibiens de France occupent des milieux très variés. Les méthodes d'observation et de détection des différentes espèces dépendent de leurs exigences écologiques, de la période de prospection et de l'objectif poursuivi (présence / absence, dénombrement qualitatif, quantitatif).

En fonction des groupes d'espèces et des objectifs de l'étude, il existe aujourd'hui un panel de techniques d'échantillonnage et de détection assortis de précautions d'emploi. Nous renvoyons aux travaux existants [44, 45, 46].

Quels que soient les techniques, il s'agit de bien connaître l'écologie des espèces que l'on souhaite observer et notamment les conditions météorologiques qui leur sont favorables. Deux facteurs influencent tout particulièrement l'activité des amphibiens : l'humidité et la température. Les déplacements se font souvent lors des nuits tièdes et humides. Des redoux exceptionnels lors de certains hivers avancent la migration. Inversement une chute brutale ou tardive des températures stoppe ou retarde les migrations. Les activités de chant sont aussi largement sous l'influence de la présence ou non de vent.

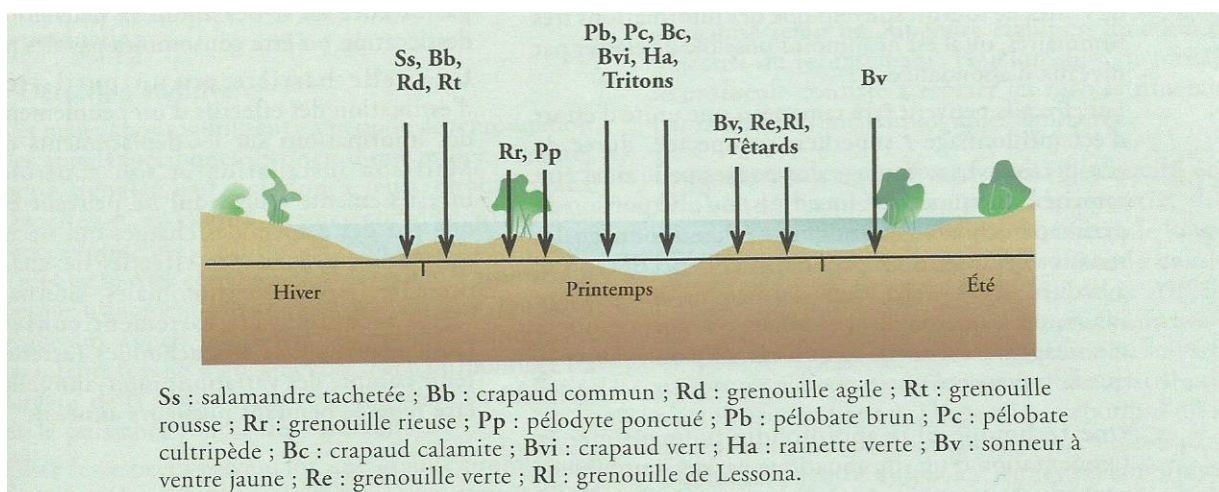


Figure 4 : Calendrier des périodes de reproduction dans une région du centre de la France (Source : D'après [43]).

Chaque observation doit faire l'objet d'une détermination précise à l'aide de guides et clés d'identification, d'enregistrements audio tous reconnus comme valides [8, 47, 48]. Les confusions en matière d'identification sont possibles malgré le faible nombre d'espèces (à nuancer cependant avec le grand nombre de stade de vie possibles chez les amphibiens : œuf, larve, adulte), par conséquent il est nécessaire de s'adjoindre la collaboration et les conseils de naturalistes et scientifiques reconnus aptes à obtenir des autorisations d'études et de prélèvement auprès des instances administratives compétentes.

L'**Annexe 2** illustre pour quatre espèces (2 anoures ; 2 urodèles) et différentes écophases (larve et adulte) différents critères de détermination morphologique utilisés par les spécialistes.

**Recommandation importante** : en raison de la possibilité de propagation de maladies émergentes d'une population infectée à une population saine, quelle que soit la technique utilisée (pour les milieux aquatiques), il s'agit de réaliser, après chaque inventaire et campagne d'observations dans un secteur, un nettoyage complet du matériel utilisé - dont les bottes ou le pantalon de pêche - à l'eau de javel diluée à 10 % (trempage et brossage)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Dejean T., Miaud C. & Ouellet M., 2007.- Proposition d'un protocole d'hygiène pour réduire les risques de dissémination d'agents infectieux et parasites chez les amphibiens lors d'intervention sur le terrain. Bulletin de la SHF, 122, 40-48.

## 2 - Les mesures et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre

La doctrine "Eviter, Réduire, Compenser" (E, R, C) invite, en théorie, à prévenir plutôt que guérir [49], donc à prendre en compte, dans un premier temps, la présence de sites d'intérêt biologique en amont des travaux. Les sites de reproduction, les routes migratoires et de déplacement privilégié des amphibiens constituent des sites à éviter. Le choix du tracé de nouvelles infrastructures de transport terrestre de même que les projets de requalification de voies existantes doivent tenir compte et éviter, dans la mesure du possible, les impacts.

Les dispositifs de franchissement des infrastructures par la faune, et en particulier par les amphibiens, souffrent encore d'une forte carence en matière de retour d'expérience, et s'appuient sur des techniques qui ont peu évolué depuis plusieurs décennies. Pourtant dans le même temps, l'évolution négative des milieux, l'état des populations, l'émergence des préoccupations de trame verte et bleue imposent de proposer des solutions techniquement, écologiquement et économiquement efficaces. Il ressort des différents colloques et rencontres qui ont été effectués au cours de ces trois dernières décennies [33, 50, 51] et de différents travaux de recherche (méta-analyse, revues) en Europe ou à l'international [34, 52, 53, 54, 55] que cette problématique n'a que peu progressé. Même s'il existe quelques tentatives de guides et préconisations sur cette problématique en ce qui concerne les amphibiens, on manque encore de solutions d'ingénierie pleinement efficaces et au meilleur rapport coût-bénéfice à déployer en différents contextes [46, 56, 57, 58]. Il n'empêche que différentes mesures et dispositifs plus ou moins pérennes dans le paysage visant à réduire la mortalité, et rétablir les flux de part et d'autre de l'infrastructure sont à la disposition des gestionnaires et spécialistes en charge de l'ingénierie des routes et de la planification des transports, entreprises de BTP, etc.). Cette seconde partie a pour objectif de les lister et contribuer à leur meilleure utilisation dans l'attente de leur amélioration et/ou d'innovations futures.

### 2.1 - La fermeture temporaire des routes pendant les migrations

La déviation de la circulation par fermeture d'une section de route protège efficacement les amphibiens en migration. La mesure ne peut être que provisoire (quelques semaines lors des migrations de printemps). Elle est économique mais ne s'applique que si la circulation routière peut être déviée temporairement ou fermée durant la nuit (voie forestière ou touristique).

Citons pour exemple la fermeture de la RD13 (contournement du lac de Kruth-Wildenstein, Haut-Rhin). Un arrêté préfectoral autorise la fermeture de cette voie secondaire (usage touristique essentiellement) sur 4,5 km, de 20h à 7h du matin, durant la migration de reproduction. Une barrière, un panneau d'interdiction et des tri-flashes signalent la fermeture temporaire. Dans le Parc naturel régional « Oise Pays de France », l'Office National de la Forêt et l'Institut de France ferment une section de voie forestière privée (4800 m) lors des migrations prénuptiales des Crapauds communs, Grenouilles agiles et Tritons ponctués. Cette fermeture nocturne (23h-5h) semble offrir le meilleur rapport coût/efficacité.

Dans les autres zones d'écrasements d'amphibiens, il est aussi possible d'observer des panneaux plus ou moins « artisanaux » alertant du risque de chaussée glissante et d'information sur les migrations d'amphibiens. Cette signalisation temporaire, en période de migration, a comme principal objectif d'inciter les automobilistes à ralentir. Elle prend encore davantage d'importance lors des opérations de comptage et de sauvetage (cf. 2.2) par des bénévoles du fait d'un risque d'accident humain. Lorsque cela est possible, il est recommandé d'associer le signal de danger à un tri flash et une limitation de vitesse pour avertir de la présence de piétons à proximité des chaussées. A notre connaissance, la pose de ralentisseur pérenne n'a jamais été mise en œuvre dans le cadre de ce type de projet, ce type d'accompagnement pourrait être un dispositif pourtant bien utile en particulier pour la sécurité des bénévoles et/ou professionnels qui interviennent sur ces opérations de sauvetage.



Photo 14 : Panneau d'interdiction temporaire de la circulation d'une voie forestière proche de la RD 85, Forêt de Carnelle (Val d'Oise)  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 15 : Panneau signalétique informant des enjeux du site Forêt de Carnelle - (Val d'Oise) dont des généralités sur les amphibiens, groupe d'animaux qui bénéficient d'une telle mesure d'interdiction de la circulation  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)

## 2.2 - Les installations temporaires de protection

Les dispositifs temporaires sont mis en place, notamment lors de l'isolement d'un chantier, d'opération de suivi préalable à un projet de voie nouvelle, ou de protection temporaire en attendant un aménagement définitif (sur voie existante). Le principe général est celui de poser cet obstacle le long de la route ou autour de l'emprise d'un chantier pour bloquer son accès. Lorsqu'il s'agit de collecter les amphibiens, elle est associée à un dispositif de piégeage tel que des seaux enterrés dans le sol. Les animaux piégés sont ramassés quotidiennement, durant la nuit ou tôt le matin. Une hauteur minimale de la barrière de 40 cm (optimum 60 cm) est recommandée pour être efficace. Pour dissuader les amphibiens et les autres espèces de grimper, il est aussi important de prévoir un rabat ou d'incliner la barrière. La barrière doit également être enterrée (20 à 40 cm) ou rabattue au sol et lestée par un cordon de terre ou de sable ou bien fixée par des broches. Dans les opérations de comptage ou de protection temporaire, les barrières sont mises en place pour quelques semaines. Pour protéger un chantier, elles peuvent être mise en place pour 3 à 4 ans. Elles doivent alors être solidement fixées au sol et leur efficacité doit être régulièrement vérifiée.

### 2.2.1 - Les barrières provisoires : différents types de matériaux

Différents matériaux peuvent être utilisés pour la barrière provisoire. On peut les regrouper en 4 grands types :

- les *grillages* « *amphibiens* » sont couramment utilisés sur chantier. Ce treillis improprement désigné « grillage batracien » n'est pas une barrière totalement étanche. La maille (6,5 x 6,5 mm) stoppe les crapauds et grenouilles adultes mais laisse passer les tritons de petite taille (adultes et juvéniles). Le treillis métallique n'est pas réutilisable (démontage délicat, encombrement, poids, coût). Son utilisation se généralise sur autoroute pour clôturer les emprises, en complément des treillis grande faune. Il est réservé à la protection de la petite faune et son efficacité vis à vis des amphibiens est partielle. Pour stopper l'ensemble des amphibiens y compris les tritons (juvéniles et adultes) des mailles de 3 mm sont nécessaires. Ces très petites mailles n'existent pas en treillis métallique mais sont disponibles en grillage de plastique extrudé (polyéthylène) ;
- les *films ou géo membranes bâches* (polyéthylènes, polychlorures de vinyle) sont déclinées en différentes épaisseurs (30 microns : film mince et fragile, 50 à 80 microns : film à usage agricole). Au-delà, les bâches gagnent en résistance et longévité mais deviennent lourdes à manœuvrer. Elles peuvent être renforcées par une grille de polyester (bâche de sous toiture). Les bâches en polyéthylène sont plus économiques que celles en PVC. La toile polypropylène tissée (80 à 130 g/m<sup>3</sup>) utilisée en horticulture comme toile de paillage est souvent utilisée comme barrière. Les films, bâches et toiles peuvent être équipés d'œilletons de fixation et fabriqués sur mesure. A la différence des grillages, le vent, le « souffle » des camions, les venues d'eau peuvent détériorer les bâches, il s'agit donc d'éviter autant que possible les écoulements d'eau et de s'éloigner des chaussées ;

- les *dispositifs mixtes* : il s'agit de treillis métalliques (« grillage à poule » ou « grillage à mouton ») associé à un treillis en plastique souple. Ce dispositif combine les avantages des deux produits et permet d'adapter facilement un retour de grillage ou bavolet présentant un angle infranchissable pour les animaux. Il s'agit d'installer ce dispositif du côté opposé au sens du déplacement par les amphibiens que l'on souhaite empêcher ;
- les *géotextiles non tissés*, les brises vues, filets pare grêle (maille de 0,5 x 0,7 mm) sont à éviter (possibilité d'escalade, fragilité).

*Photo 16 : L'un des enjeux est d'éviter que les amphibiens (ci-contre adultes de petits tritons et juvéniles de Salamandre tachetée) ne grimpent l'obstacle. Ci-contre, la bâche lisse et l'absence de bavolet n'empêchent pas les amphibiens d'escalader et passer de l'autre côté (Source : © M. Gigueux, Cerema Est)*



## 2.2.2 - Les piquets et les seaux de capture des amphibiens

**Les piquets** sont généralement en échelas ou tuteur en différentes essences (châtaigner, acacia, eucalyptus, mélèze) fournis en différentes formes (rond, demi rond, fendus ou sciés). Les tasseaux de pin (13x27, 32x32 mm) sont fragiles et de coût élevé. Les piquets de bois sont mis en place à la barre à mine ou à la masse (avec ou sans pré trou). Ils s'abîment après quelques années d'utilisation et sont parfois difficiles à déterrer.

Les piquets de clôture électrique équipés de passe fil et d'un appui pour enfonçage peuvent être une solution efficace. Les piquets de fer à béton (diamètre 0,8 cm), sont facile à planter et à déterrer, et ils sont durables. Peu volumineux, ils sont faciles à stocker mais nécessitent des dispositifs particuliers de fixation (type clôture électrique pour béton).

Pour ne pas gêner les déplacements des amphibiens le long de la bâche, les piquets sont placés à l'intérieur des emprises.

La tension de la bâche est assurée par un fil de fer fixé sur le sommet des pieux en bois par des cavaliers ou bien sur un fer à béton, accroché à des isolateurs électriques ou passe-fil pour clôture électrique. Des tendeurs améliorent la tension. La fixation est assurée par des agrafes ou les œillets intégrés à la bâche. La pose est simplifiée en doublant la bâche à cheval sur le fil de tension (pas de fixation, gain de temps mais on double la surface de bâche utilisée).

**Les seaux de capture** : ils doivent avoir une profondeur de 25 à 40 cm. La distance recommandée entre les seaux est de 10 m (urodèles) à 20 m (anoures). Ils sont percés (quelques trous de 3 mm à la mèche à bois) et posés, de préférence, sur un lit de gravier pour faciliter l'évacuation de l'eau et éviter la noyade des animaux piégés. Le bord des seaux doit être situé au niveau du sol, au plus près de la bâche. Ils peuvent être remplacés par un tuyau de PVC (même diamètre).



*Photo 17 : Dispositif le plus utilisé, soit un seau enterré dans le sol placé près de la clôture pour recueillir les amphibiens, ici des crapauds communs. Attention, il ne semble pas y avoir sur ce dernier des trous évacuant l'eau, etc.  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)*



*Photo 18 : Exemple d'amélioration d'un seau avec l'existence d'une section de tube PVC ouvert directement sur le sol nu et muni d'un couvercle lorsque il s'agit d'interrompre la capture sur la RD 940 - (dunes de Slack)  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)*

Les seaux alimentaires à bords verticaux (obtenus dans les restaurants collectifs) possèdent un couvercle qui peut être découpé au cutter en laissant un rebord de 2 à 3 cm pour empêcher les animaux de s'échapper (Ø 27 cm, h 26 cm).

Les conteneurs horticoles offrent des dimensions intéressantes et sont équipés d'orifices à la base pour évacuer l'eau (Ø 26 cm, h 28 cm ou diamètre 30 cm, h 27 cm). Les seaux à eaux, évasés (diamètre 26 à 32 cm, h 24 à 28 cm) selon les contenances (10 à 15 l) n'ont pas de couvercle et sont facilement escaladés par les tritons.

Pendant le pic de migration et en fonction du nombre d'animaux, il est recommandé d'inspecter très régulièrement les seaux (1 relevé tôt chaque matin complété par 1 à 3 relevés selon les nuits).

Afin d'éviter le risque de dessiccation, en particulier des plus jeunes individus de certaines espèces, il est recommandé d'ajouter au fond du seau, des feuilles mortes, un peu de terre afin de conserver une certaine humidité. Une éponge régulièrement mouillée peut également être utilisée.

Dans l'objectif d'anticiper la mise en place d'un éventuel dispositif pérenne, il est fortement suggéré de numéroté les seaux dans la partie supérieure au marqueur indélébile ou au stylo de blanc correcteur. La toile peut aussi faire l'objet d'une numérotation. La numérotation correspond à un numéro d'ordre croissant ou parfois au métrage à partir du point d'origine, elle sera indispensable pour identifier les zones de passage privilégiées par les amphibiens utiles à la localisation des traversées sous-chaussées (cf. 2.2.6).

### 2.2.3 - Où se les procurer ?

Il existe de nombreuses solutions « fait-maison » et aussi de très nombreux fournisseurs quant aux choix des barrières, des seaux et piquets. Aujourd'hui, certains se sont même spécialisés (Maibach, Diatex, Agrotel, etc.) et proposent différents kits solides prêts à l'emploi. Les barrières mobiles comprennent une bâche en PVC de 0,70 m de large (rouleau de 50, 100, 500 m), des piquets de maintien tous les 2 m, des épingles de fixation au sol lorsque la barrière n'est pas enterrée, des tendeurs. Le dispositif intègre un bavolet anti-escalade. Le matériel est complet, léger, mobile (installation et désinstallation rapides). Ces systèmes robustes, réutilisables durant plusieurs décennies sont parfois utilisés comme barrière définitive associée à des traversées sous chaussée.



Photos 19 et 20 : Un exemple, en cours de montage sur la voie RN 57 des Mercureaux (en 1999) de « kit » de dispositif de protection temporaire qui comprend une bâche polyester de 50 cm de large, des piquets ajustables en hauteur, des éléments de fixation coudés (45°) en partie supérieure pour former un bavolet infranchissable à placer tous les 2 m  
(Source : © M. Gigueux, Cerema Est)

## 2.2.4 - Illustration et exemples des grands types de barrières provisoires

En ce qui concerne la pose de ces dispositifs temporaires de protection, on peut distinguer plusieurs configurations qui répondent à différents objectifs et mouvements d'amphibiens.

### Le dispositif « simple » d'un seul côté de la route

Généralement, le dispositif de protection temporaire avec seaux est placé d'un seul côté de la voie. C'est le cas le plus fréquent qui protège les amphibiens adultes, en général, des espèces à reproduction explosive traversant les chaussées routières en migration pré-nuptiale (durée environ 2 mois tout au plus). Lorsque les migrations aller et retour se chevauchent, les amphibiens en migration retour se retrouvent piégés par le dispositif. Une solution pour minimiser ce risque, est d'adapter du côté de la barrière, un système incliné (ou bavolet) qui permet aux animaux sur le retour de franchir l'obstacle. Il n'empêche toutefois qu'un certain nombre d'animaux adultes risquent malgré tout d'errer sur la chaussée et de mourir écrasés. L'enlèvement du dispositif suffisamment tôt évite ce risque. Lors de l'émergence des métamorphosés par centaines de milliers d'individus, le risque d'écrasements demeure évidemment fort si le trafic est dense à cette période !

### Le dispositif « double » des deux côtés de la route

Les doubles barrières avec seaux sont rarement mises en œuvre en protection temporaire sur la voirie existante (coût plus important du matériel, durée de l'opération). Au droit du lac du Der-Chantecoq (Marne), la LPO Champagne Ardenne a installé les bâches plastiques durant plusieurs années au préalable de la construction d'un passage pérenne de chaque côté de la RD 13 sur 700 ml (x2) durant les 3 mois des migrations pré- et post nuptiales des amphibiens reproducteurs adultes.

Un très faible nombre d'installations temporaires a été utilisée, de manière volontaire, en France pour la migration retour des jeunes métamorphosés depuis les sites aquatiques jusqu'à leurs habitats terrestres. L'opération conduite par le gestionnaire EDEN 62 sur la dune de Slack (site N2000, Grand Site de France) est l'une des rares expériences dans l'attente de la construction d'un dispositif permanent (solution à l'étude par le Conseil départemental du Pas-de-Calais). Elle concerne, notamment l'aide au franchissement d'une espèce à fort enjeu (le triton crêté, Annexe 2 et 4 Directive Habitats) et est conséquente en moyens humains mobilisés chaque année, bien que localisée à un tronçon réduit (150 ml) présentant le plus grand risque d'écrasements.



Photo 21 : Un dispositif temporaire, installé seulement du côté de l'habitat terrestre (ici une forêt), qui bloque pendant quelques semaines le déplacement des amphibiens en sortie hivernale et migration prénuptiale (RD 71) en direction de l'étang - Il est recommandé de ne pas implanter les piquets du côté d'où arrivent les amphibiens (Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 22 : Un exemple de dispositif quasi-pérenne sur la RD 940 - dunes de Slack et site du Conservatoire (Atelier Chantier Insertion Rivages Propres & Eden 62) : barrière permanente d'une centaine de mètres des deux côtés de la voie (RD 940) avec collecte des amphibiens 6/12 mois (Source : © A. Morand, Cerema Est)

**Le dispositif en protection de chantier** est placé de chaque côté des limites d'emprise, sans seau de comptage (le but étant d'éviter toute incursion sur le chantier). Les bâches ou treillis peuvent rester sur site durant 4 années (nécessité d'une surveillance régulière).



Photo 23 : Dispositif avec bavolet sur le chantier de la voie rapide de Pierre-Villers (Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 24 : Dispositif avec bavolet sur le chantier de la RN4 à Heming (Source : © A. Morand, Cerema Est)

## 2.2.5 - Les dispositifs temporaires de protection : coût-efficacité et préalable aux dispositifs pérennes ?

Les installations temporaires de protection, correctement mises en place et régulièrement entretenues (sur chantier ou sur infrastructure existante) sont très efficaces. Toutefois, l'efficacité doit être évaluée sur plusieurs années.

La mise en place et la gestion quotidienne des installations temporaires nécessitent des personnes en nombre qui circulent sur les accotements à proximité immédiate des véhicules. Les intervenants traversent les voies de circulation. Parfois des visites d'enfants sont organisées à titre pédagogique. Le danger est permanent de nuit comme de jour. Un tel dispositif doit être signalé aux automobilistes (signalisation temporaire de danger) et tous les intervenants (bénévoles, prestataires, scolaires) doivent porter des gilets fluorescents. Il s'agit de s'assurer de ce strict minimum en matière de sécurité en informant les services compétents (services gestionnaires de la voie et Mairie).

Le coût total des dispositifs temporaires est sous-estimé parce que ces installations sont, le plus souvent, mises en œuvre par des bénévoles. Les barrières temporaires sont considérées comme étant une alternative économique aux crapauducs. Il a été évalué toutefois que sur 10 années de cette opération de sauvetage, le dispositif de protection temporaire et sa gestion représente environ ¼ du coût de l'aménagement d'un dispositif permanent. Pour autant, ce type d'opération ne dure généralement pas au-delà de 10-15 ans (lassitude, épuisement et non renouvellement des bénévoles). Sur le barrage réservoir du Der, l'opération « SOS Grenouille » a duré 11 ans (2001 à 2011) puis le Conseil Général de la Marne a réalisé le crapauduc, fonctionnel en 2012 [59]. Sur ce site, la LPO Champagne-Ardenne a mobilisé au total 24 bénévoles pour assurer les relevés quotidiens des seaux durant 3 mois sur 1,4 km de bache. La mise en place du dispositif a mobilisé une dizaine de bénévoles durant une journée. La gestion des relevés quotidiens (de 30 mn les jours de gel à 4h lors des pics de migration), représente 300 h de présence auxquelles s'ajoutent une cinquantaine d'heures nécessaires à l'organisation des plannings de relevé et à la saisie des données. Lorsqu'elles sont installées et suivies par des salariés, le coût peut vite devenir élevé, motivant une pré-étude pour la création d'un dispositif permanent de type « crapauduc ». C'est le cas de plusieurs espaces protégés ou services « environnement » en charge de ce type de dispositifs depuis ces dernières années.

Quelle que soit la motivation à l'abandon d'un dispositif temporaire en vue d'étudier une solution pérenne, il s'agit d'envisager avec rigueur les avantages et inconvénients, de même que la faisabilité d'une telle solution en ce lieu. L'un des enjeux majeurs est de connaître l'ensemble des points chauds d'écrasements et d'évaluer où un dispositif pérenne est le plus prioritaire.

## 2.2.6 - Les conditions d'implantation et ses enjeux associés

Il est essentiel de bien connaître la répartition spatiale des déplacements lors des migrations pour le choix de l'emplacement des barrières et passages sous la chaussée de même que la longueur de l'ouvrage. Une étude préliminaire est donc nécessaire. Elle s'appuie généralement sur les données déjà disponibles par la pose d'une barrière temporaire (dans le sens des migrations vers le site de ponte) et de seaux enterrés numérotés. En fonction des quantités d'amphibiens trouvés chaque matin dans les seaux, il est possible de définir les routes migratoires ou couloirs préférentiels de migration et en conséquence le linéaire qu'il s'agit d'aménager voire le nombre de tunnels nécessaires. L'information sur les stades de vie peut être très instructive également. Cette connaissance fine, de la nature et de la quantité des individus qui se déplacent, peut s'accompagner de la recherche des sites d'hivernage et de l'ensemble des autres sites de ponte. Ces nouvelles informations font appel à d'autres méthodes de prospection pouvant être utiles afin de préciser encore davantage les enjeux du projet, à savoir quelles espèces occupent le site en phase terrestre et ses alentours, celles communes et abondantes ou encore celles patrimoniales. Elles feront alors l'objet d'attentions spécifiques en amont du projet, etc.

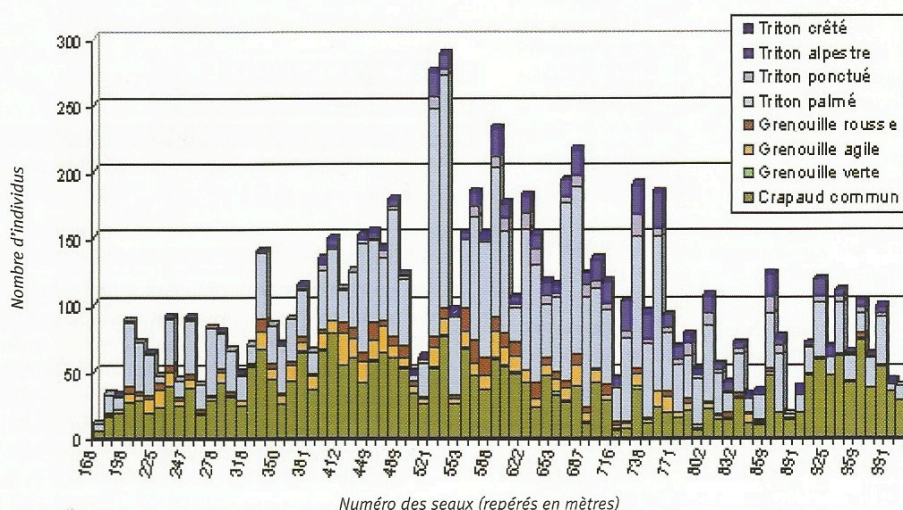


Figure 5 : Amphibiens comptabilisés dans les seaux en 2003 de la réserve naturelle nationale de l'Etang du Grand Lemps (Isère). Les Tritons, en particulier les espèces de petite taille représentent l'essentiel des animaux capturés dans le dispositif. Le diagramme détermine la section à enjeux de conservation (seaux 278 à 702) sur laquelle a été aménagée le batrachoduc à raison d'une traversée tous les 40 m. Aux extrémités, les mouvements sont plus réduits et les inter-distances entre les traversées sont plus importantes (Source : Figure extraite d'après [60])

## Encadré 5 - Identifier les sites d'écrasement et les hiérarchiser : une action prioritaire à l'échelle des territoires de grande superficie

Deux exemples ont été choisis en vue d'illustrer cet enjeu important : en régions Auvergne-Rhône-Alpes dans le département de l'Isère (38) et Ile de France dans le PNR Oise et Pays de France.

Dans les années 2000, le Conseil général de l'Isère (devenu Conseil départemental), en partenariat et sous l'impulsion du monde associatif local (principalement la FRAPNA, le CORA Isère - devenu aujourd'hui la LPO Isère - et AVENIR) se sont donné pour objectif d'établir les priorités d'études et d'actions en ce qui concerne le problème de l'écrasement des amphibiens sur les routes. Une grande enquête et mobilisation citoyenne est effectuée en 1997 afin de réaliser cette expertise des sites d'écrasements auprès de 533 communes iséroises ainsi que des associations communales de chasse agréée (ACCA), de pêche et de protection de la nature. 40 sites d'écrasement sont identifiés [61] et notés de 1 à 3 en fonction de plusieurs actions à réaliser. 4 sites ont fait l'objet d'une opération de sauvetage dans l'année, 10 sites ont nécessité une évaluation quantitative et localisation plus précises, 26 sites présentaient des données insuffisantes et de nombreux autres ont été évalués comme étant à écrasements nuls et/ou très faibles. De cette expertise de grande ampleur, différents réseaux (d'alerte, de comptage), une centralisation et une base de données sont nés peu après. Ces outils ont dynamisé le réseau de bénévoles et favorisent encore aujourd'hui une plus grande réactivité de la part des pouvoirs publics. Ils ont permis également de capitaliser l'expérience acquise sur cette problématique en bonne synergie avec le monde associatif. Cette collaboration a été à l'origine de la construction de plusieurs ouvrages permanents de type « crapauducs » mis en place sur les sites prioritaires et à enjeux élevés.

Le PNR Oise et Pays de France couvre 60 000 ha dont 20 000 de forêt pour 62 communes. Dans le cadre de ses missions de protection et gestion adaptée des milieux naturels et du paysage accompagné du monde associatif, de nombreux sites d'écrasement ont été identifiés. Sur les 11 sites suivis de manière approfondie, 10 sont équipés chaque année d'un dispositif de barrières provisoire (4,5 km de voies privées, communales et départementales) et 1 est en interdiction temporaire de circulation (4,8 km de voie forestière). 26 000 adultes sont capturés et transférés lors des migrations pré-nuptiales. Face à cette mobilisation bénévole conséquente depuis plusieurs années, le PNR a confié en 2008 une analyse comparative des sites sous protection temporaire au CETE de l'Est et une pré-étude technique et financière des sites à aménager en priorité (4 sites) [62]. Cette réflexion globale à l'échelle d'un PNR a permis de hiérarchiser les interventions et d'évaluer les difficultés techniques. Ainsi, lorsque sur le territoire du parc, des travaux sont programmés sur le réseau routier, le PNR dispose des éléments techniques (pré-étude de faisabilité des dispositifs permanents) à intégrer au projet. L'Ile de France, via Naturparif devenue en 2017, l'Agence Régionale de la Biodiversité, s'est doté d'un observatoire et d'une cartographie dynamique de la répartition des observations d'écrasements d'amphibiens et des dispositifs mises en place (voir carte ci-dessous).

Les observatoires régionaux de la biodiversité qui se mettent en place progressivement dans les différentes régions de France devraient permettre une meilleure prise en compte de cette problématique en lien avec l'Agence Française pour la Biodiversité.

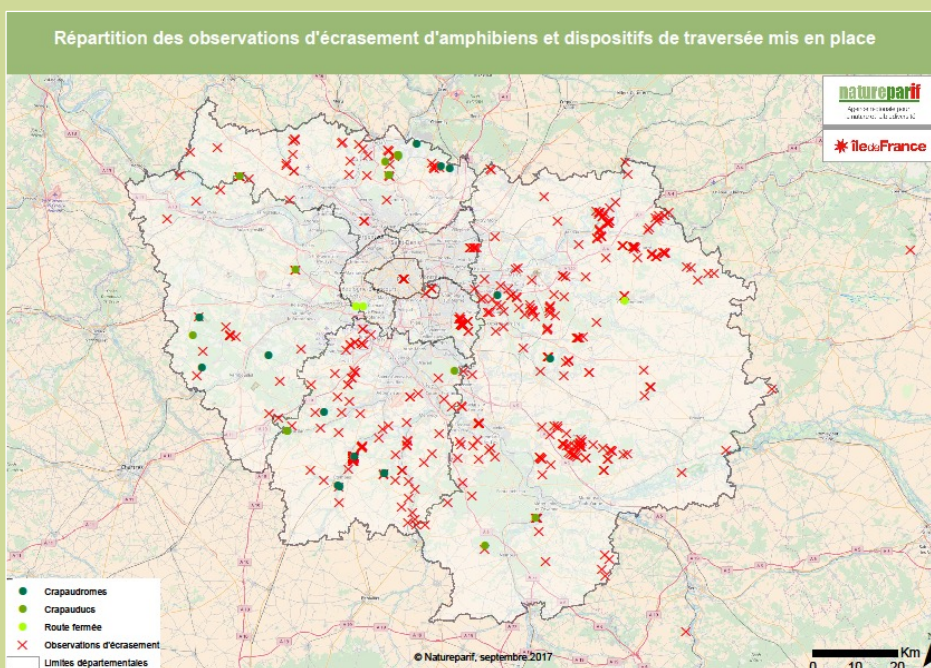


Figure 6 : Cartographie dynamique de la répartition des zones et points chauds d'écrasement (Source : Naturparif)

## 2.3 - Les installations permanentes de protection

Les installations permanentes améliorent durablement la transparence des ITT et réduisent localement les conséquences liées à la fragmentation et à la mortalité.

Elles sont aménagées sur :

- la voirie existante (route départementale et communale) pour rétablir une section de route traversée par les amphibiens (forte mortalité) et préalablement identifiée par des comptages pluriannuels. Les installations permanentes remplacent alors les installations temporaires ;
- dans les projets neufs, elles sont considérées comme des mesures de réduction d'impacts et sont envisagées dans les évaluations (étude d'impact, Natura 2000) ou les dossiers de dérogation relatifs aux espèces protégées. Elles sont aménagées sur route et autoroute (peu de réalisation sur les LGV, les concepteurs considérant que les passages petite faune suffisent).

Les installations permanentes de protection des amphibiens sont des passages spécialisés pour la faune sauvage. Ils ont comme objectif essentiellement de rétablir les mouvements migratoires pré et post-nuptiaux des adultes reproducteurs, les déplacements massifs et groupés des juvéniles et les déplacements liés à la recherche de nouveaux territoires. Dans la typologie nationale [46], ils correspondent au type II déclinée en IIa, IIb, IIc selon le type et la fréquence des traversées sous chaussée. Ce type d'ouvrage appelé "crapauduc" ou "batrachoduc" est, parmi les mesures de protection, celle qui est la plus médiatisée et la plus spectaculaire.

### Encadré 6 - Attention, les passages « petite faune » ne sont pas des batrachoducs !

Les passages « petite faune », ne sont pas des batrachoducs. Un batrachoduc ou crapauduc est prioritairement installé et conçu pour assurer les traversées des amphibiens. Il peut être utilisé par d'autres espèces de la faune sauvage mais ne doit pas être confondu avec un passage à petite faune (Type I dans la nomenclature nationale).

Les passages « petite faune » sont aménagés tous les 300 m environ alors que les traversées pour amphibiens sont espacées de 30 à 100 m selon les situations.

En définitive un passage petite faune (type I) au sens strict correspond à une traversée sous chaussée (pouvant être aussi utilisée par des amphibiens) alors que le crapauduc correspond à plusieurs traversées sous chaussée et est placé sur des sections d'ITT reconnues comme dangereuses pour les amphibiens. Ces traversées sont espacées de 30 à 40 m pour les types IIa et IIb et 100 m pour le type IIc. Elles sont également utilisables pour la petite faune et c'est pourquoi en certaines régions ou départements de France, ce type d'ouvrage porte l'appellation de passage petite faune, appellation qui favorise l'acceptation d'un tel ouvrage au coût non négligeable mais qui peut être utile à plusieurs groupes d'espèces et pas seulement les amphibiens en fonction de sa conception, etc.

### 2.3.1 - Les différents types d'installations permanentes de protection

Il existe en France plusieurs dizaines d'ouvrages pérennes ou « batrachoduc » de franchissement des infrastructures de transport terrestre qui concernent essentiellement le réseau routier et autoroutier et plus rarement les voies ferroviaires [63, 64, 65].

On peut les réunir en quelques grands types selon qu'il ont été réalisés :

- sur des départementales et routes communales, la très grande majorité ;
- sur des voies rapides (2 x 2 voies) et autoroutes ;
- sur des voies ferrées (classique ou LGV).

Sur les routes départementales et routes communales, les dispositifs de traversées sous chaussées sont de types :

- double conduits à sens unique, chaque traversée (type IIa dans la typologie nationale, Sétra 2005) est constituée de deux conduits étroits (0,40 x 0,40 m), l'un pour la migration aller, l'autre pour la migration retour. La collecte est réalisée dans un caniveau en U. Des fosses de captures sont placées aux entrées. Des rampes ou des entonnements sont placées à la sortie. Ces dispositifs à doubles conduits sont efficaces pour les amphibiens. Ils sont peu utilisables par les petits mammifères terrestres et en définitive ne servent que quelques mois dans l'année aux amphibiens ;
- simple conduit à double sens de circulation, le dispositif de traversée est constitué d'un seul conduit (ou dalot) unique, en général de 1 m de large et 0,60 à 0,70 m de haut. Dans ce type de conduit (type IIb dans la typologie nationale, Sétra 2005), les amphibiens réalisent plusieurs types de déplacements (aller et retour des adultes reproducteurs, jeunes imago en migration post-nuptiale, déplacement aléatoire d'individus et des juvéniles « disperseurs » en fonction de l'exploitation de leur domaine vital tout au long de l'année). Leur conception les rend utilisable pour la petite faune, en particulier les reptiles et micromammifères ainsi que quelques mammifères de taille moyenne bien que *sensu stricto*, ils ne sont pas des « passages petite faune » (voir encadré n° 6).

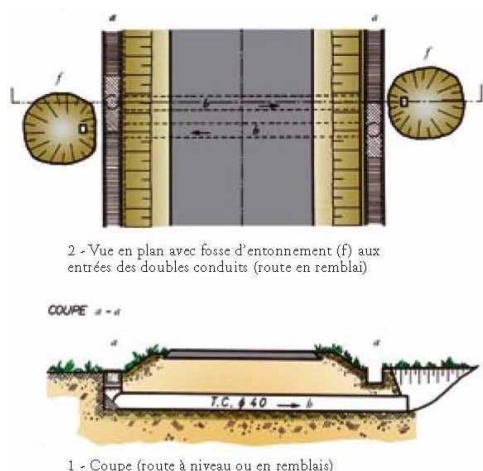


Figure 7 : Schéma de principe d'un passage de type II a.  
(Source : Guide technique Aménagement et Mesures pour la petite faune, Sétra 2005).

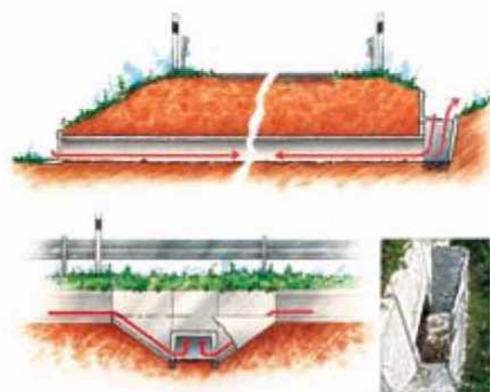


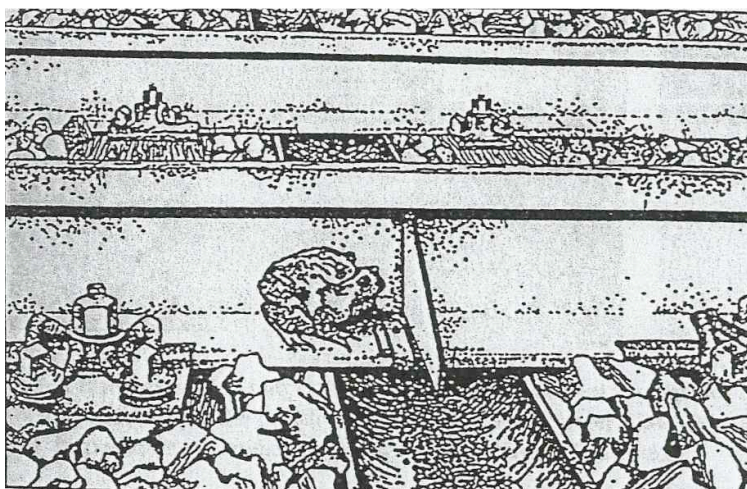
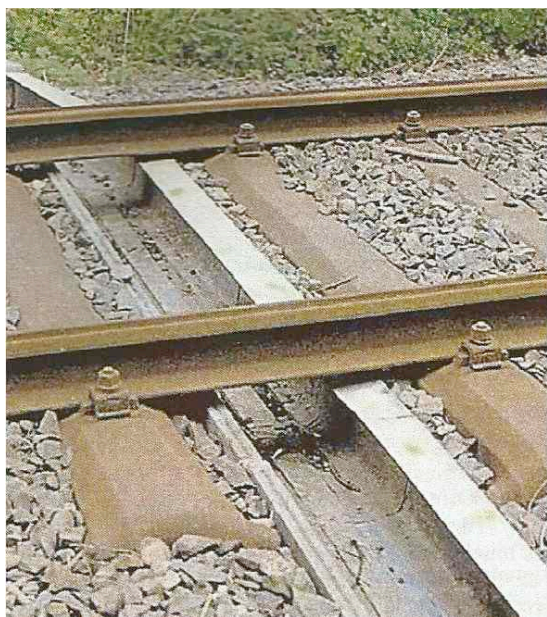
Figure 8 : Schéma de principe d'un passage de type II b.  
(Source : Guide technique Aménagements et Mesures pour la petite faune, Sétra 2005).

A l'origine, les crapauducs de type IIa (doubles conduits à sens unique espacés de 30 à 40 m) sont construits pour les populations d'amphibiens dont les migrations de reproduction sont les plus visibles, notamment celles qualifiées d'espèces précoces à reproduction explosive chez les anoues (Crapaud commun, grenouilles « brunes » (rousse et agile)). Les populations abondantes de Tritons palmé et ponctué de même que l'emblématique Salamandre tachetée bénéficient également de ce type de dispositifs pérennes. Les individus métamorphosés de ces espèces utilisent aussi en théorie les crapauducs lors de leur première migration depuis le plan d'eau jusqu'à leur territoire terrestre. Aujourd'hui, la tendance est moindre d'effectuer des traversées de type IIa spécialement dédiées aux amphibiens. Ces installations ont tendance à être remplacées par des simple conduits (IIb) à double sens espacés également de 30 à 40 m. Ces dispositifs plus simples à mettre en œuvre, a priori plus économiques, se généralisent. Les passages de type IIa ne seraient utilisées qu'une courte partie de l'année pour les amphibiens mais risquent d'être sous utilisés, le reste de l'année, par les autres groupes fauniques, en raison notamment de la taille des conduits et de la forme des entrées difficilement accessibles. A l'inverse, les passages de type IIb seraient utilisés par les amphibiens non seulement durant les périodes de pic de migration mais ils offriraient aussi l'avantage d'être utilisable par l'ensemble de la petite faune sauvage tout au long de l'année. Cet avantage leur a valu quelquefois l'appellation faussement justifié de « Passage à petite faune ».

La controverse demeure entière toutefois sur la différence d'efficacité de l'un ou l'autre de ces dispositifs, notamment en relation à la collecte ou piégeage forcé du type IIa et le libre choix a priori du type IIb, etc. En effet, dans le premier cas, les amphibiens, une fois collectés, ne peuvent s'en échapper et sont donc contraints de traverser. Au contraire les passages de type IIb sont un peu moins contraignants par principe pour les amphibiens et autres petits animaux (reptiles, micro mammifères) qui ont la possibilité de ne pas s'engager dans le conduit mais, à contrario, toutes ces espèces peuvent s'engager plus facilement dans les traversées qui resteront fonctionnelles toute l'année.

Depuis les années 2005 avec l'émergence de la notion de corridor et la politique TVB/SRCE et des avis plus exigeants des CSRPN et du CNPN, une attention particulière est portée aux habitats et aux espèces les plus menacées dont celles bénéficiant de Plan national d'actions (PNA) [exemples : 66, 67]. Pour ces espèces à enjeux patrimoniaux élevés, souvent qualifiées chez les amphibiens, d'espèces vagabondes et pionnières aux déplacements plus aléatoires et dispersés (ex. : Crapauds vert et calamite, Rainette arboricole, Sonneur à ventre jaune, etc), il a fallu adapter ce type de dispositif appelé type IIc avec des inter-distances de 100 m entre chaque traversée. Le dispositif IIc est un compromis entre les simples passages à petite faune placés tous les 300 m environ et les dispositifs permanents et spécialisés pour les amphibiens placés tous les 30 à 40 m. Il est préconisé en protection permanente des espèces pionnières. Il est également recommandé dans les projets neufs lorsque l'ITT traverse des habitats d'espèces, bien que sédentaires (à reproduction explosive) mais dont les sous populations sont installées durablement et se déplacent de manière diffuse hors des grands axes de déplacements migratoires liés à la reproduction. On trouve de tels dispositifs sur des **voies rapides ou le réseau ferroviaire à grande vitesse** (voir encadré n° 7).

En ce qui concerne les **aménagements sur voie ferrée classique** (voir illustration ci-dessous) ils consistent à aménager des vides sous les rails pour y placer un demi-tuyau en polyéthylène de 25 à 30 cm de large. Un butoir guide les animaux qui circulent sur le patin du rail. La distance entre les passages sur rail est de 15 à 25 m.



*Photos 25 et 26 : A gauche : Une demi-buse posée sous la voie ferrée*

*(Source : D'après © U. Bolz [68])*

*A droite : Une cloison en feuille d'acier oblige les amphibiens à sauter dans la demi-buse*

*(Source : D'après Müller & Berthoud, 1994 ou [57])*

## Encadré 7 - La traversée de la forêt de Vigneulles par la LGV Est Européenne

Le bois de Vigneulles (25 km<sup>2</sup>), dans le département de la Meuse, est traversé par la LGV sur 5 km. Le domaine forestier est parcouru par un réseau dense de ruisseaux, et d'étangs forestiers. Les espèces présentes et abondantes sur le site ont un fonctionnement en métapopulation. Les mouvements sont diffus à l'intérieur du bois et aucun déplacement privilégié et important n'a été identifié. Dans ce contexte, pour rétablir la transparence écologique sur un linéaire de 5 km, aménager un crapauduc de type IIb (inter-distance de 40 m entre les traversées) revenait à créer une centaine de traversées occasionnellement utilisées (faible rapport coût/efficacité). Pour maintenir les échanges entre les sous-populations, le gestionnaire RFF a opté pour l'aménagement d'une dizaine de traversées ou dispositif de protection de type IIc sous la voie distante de 100 à 200 m ainsi que deux passages inférieurs grande faune.



*Photos 27 à 29 : Dispositif de protection permanent de type IIc*  
*En haut à gauche : sur le réseau ferré, les lignes LGV sont infranchissables par les amphibiens en raison de la forme du rail et de sa hauteur (17 cm). Le ballast compacté offre peu d'interstice. Le souffle des rames lancées à 320 Km/h est mortel pour les animaux qui parviennent à s'approcher des rails ;*  
*En haut à droite : un conduit en béton associé à une clôture (type grande faune + grillage à amphibien). Il existe une dizaine de traversées sous la voie distante de 100 à 200 m ;*  
*En bas à droite : un passage inférieur « Grande faune », plusieurs ont été construits ;*  
*(Source : © A. Morand, Cerema Est)*



### 2.3.2 - Les éléments constitutifs des installations permanentes de protection

Une véritable technologie s'est développée autour des crapauducs ou batrachoducs. Quel que soit le type choisi (a, b ou c), le dispositif est constitué de deux éléments :

- le « collecteur », construit le long de la chaussée, il empêche les animaux d'accéder aux voies de circulation sur une portion délimitée et fait ainsi office de barrière et de guide ;
  - et les « traversées sous chaussées » régulièrement disposées sur toute la longueur du collecteur à intervalles réguliers (entre 30 et 40 m ou 100 m selon le type).
- ✓ **Le dispositif de collecte et de guidage** : il empêche les amphibiens d'accéder aux voies de circulation et les guide vers les traversées sous chaussées. Des petits aménagements (corniche de retour) empêchent toute tentative d'escalade. Il est essentiel d'éviter les obstacles qui ralentiraient ou immobiliseraient les animaux. Il s'agit d'éviter les « accidents » de parcours source de stress, de pertes d'énergie et de risque de dessiccation. La hauteur (hors sol) du collecteur est supérieure ou égale à 0,40 m (0,60 m si présence de Grenouille agile). Le collecteur doit constituer un obstacle infranchissable dans le sens de leur migration.

Il existe deux familles de collecteurs :

- les **collecteurs en U (ou caniveaux)** constituent l'installation standard des traversées de type IIa. Les amphibiens tombent dans ces caniveaux, ils ne peuvent plus en sortir et sont obligatoirement guidés vers les traversées. Les dimensions sont imposées par le comportement locomoteur des amphibiens. La profondeur de 40 cm est minimale pour empêcher les animaux de ressortir en sautant. L'épaisseur conseillée de 5 cm doit offrir une résistance suffisante aux tassements de terrain créés par des véhicules qui stationnent en bordure de chaussée, pour éviter d'écraser le caniveau. Les collecteurs en U sont associés aux dispositifs de traversée à double conduit. Ils comportent des échappatoires, des fosses de captures et des fosses d'entonnement en sortie qui complexifient le système de protection et augmentent les coûts. Pour ces raisons, ils sont de moins en moins utilisés et sont de moins en moins recommandés sauf configuration particulière. A ces difficultés, s'ajoute la maîtrise de l'eau qui ne doit en aucun cas stagner dans les caniveaux en U. Cette accumulation d'eau peut favoriser la ponte ou provoquer la noyade. Il est indispensable de dissocier le réseau d'assainissement de celui des collecteurs.



*Photo 30 : Collecteur standard en U des installations de type IIa (béton préfabriqué avec couvercle, bavette, fosse de capture). Ils sont, par leur poids et leur stabilité, durables. Leur efficacité est reconnue (supérieure aux collecteurs en L) mais les difficultés de mise en œuvre et d'entretien sont suffisamment importantes pour que ce dispositif soit peu à peu remplacé par les murets de collecte (Source : PNR Gâtinais français, marais de Larchant ou d'après [69])*



*Photo 31 : Collecteur en U (côté migration aller) à l'étang de Bonne famille  
(Source : © Conseil départemental de l'Isère)*

- Les **collecteurs en L (murets, ou cornières)** représentent l'installation standard des dispositifs de type II b et II c. Ils sont utilisés soit dans des conditions particulières telles que la proximité immédiate d'un étang, des talus d'accotement trop raides ou simplement parce que l'espace disponible est trop limité, soit par choix d'une contrainte moins importante. Les amphibiens sont bloqués par ces murets de 0,40 à 0,60 m de haut qu'ils ne peuvent pas escalader (présence, en général, de corniche anti-escalade de 3 à 5 cm à la partie supérieure). Ce type de dispositif aller ou retour bloque les animaux au pied de l'obstacle mais ils peuvent faire demi-tour ce qui est impossible dans un caniveau en U. La base horizontale du muret en L placée à l'extérieur de la route offre une bande dégagée (berme) qui facilite le déplacement des amphibiens et surtout l'entretien. Le collecteur est enterré de 0,30 m pour empêcher les micromammifères de construire des galeries qui seraient immédiatement utilisés par les amphibiens. Selon la nature du dispositif de guidage, la partie enterrée peut être un béton maigre, ou une paroi métallique.



Photo 32 : Installation standard ou collecteur en L préfabriqué en béton avec une petite corniche en béton. Source : Le Lac du Der (Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 33 : Collecteur préfabriqué en béton avec corniche anti-escalade ou bavolet conséquent « en prévision » de la Rainette arboricole sur le site du Cheylas (Source : © H. Coffre, LPO 38)



Photo 34 : Collecteur métallique (0,40 m en acier) avec pied empêchant le développement de la végétation, et qui facilite l'entretien et le déplacement des animaux. Exposés au soleil, les pieds métalliques peuvent toutefois devenir très chauds pour les juvéniles et entraîner un risque de dessiccation (Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 35 : Collecteur en plastique recyclé, matériau prometteur mais très fragile en l'état actuel (Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 36 : Barrière mixte : glissière de sécurité en bois et tablier métallique pour protection des motards à Condé sur Vesgre (dpt 78) (Source : © ATENA 78)



Photo 37 : En bois. Sur le batrachoduc de Sorques (dpt 77) en région Ile de France (Source : © A. Morand, Cerema Est)

En résumé, quelques avantages / inconvénients de ces matériaux :

- le bois : malgré la résistance de certaines espèces (robinier, mélèze, douglas, chêne), les installations sont soumises à de fortes contraintes et se dégradent rapidement. En raison de l'alternance de périodes de forte humidité et de sécheresse les planches en bois se disjoignent, les amphibiens passent au travers. Des traverses épaisses résistent mieux aux contraintes routières mais sont hors de prix en comparaison d'autres matériaux (béton, acier). Le bois est donc à déconseiller sauf sur de petits linéaires dans des conditions très particulières où la recherche de l'esthétique peut être une priorité ;
  - l'acier devient assez utilisé en obstacle de guidage voire directement en application contre la clôture.
  - le plastique recyclé est un matériau prometteur sous réserve d'une forte épaisseur souvent nécessaire. Il est une solution d'avenir probablement mais demande encore à être expérimenté. A notre connaissance, il n'existe pas de conduit en matériau plastique qui a été construit et testé sur ce type d'ouvrage ;
  - le béton polymère reste très utilisé. Il a fait ses preuves en terme de résistance et de durabilité.
- ✓ Plusieurs types de **traversées sous chaussée** sont envisageables, nous présenterons des exemples en type II b et c :

Différentes formes et des dimensionnements variés existent pour ce type d'ouvrage. Certaines dimensions sont imposées par la route (largeur, nombre de voies) et son trafic ainsi que le type de véhicules qui circulent.

#### • Cadre fermé en béton

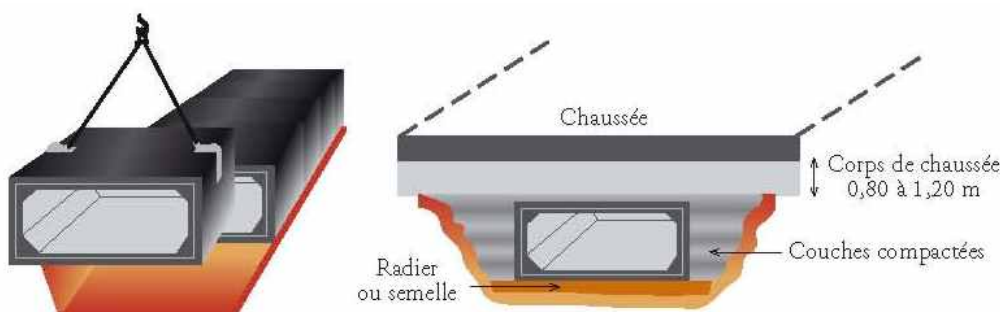


Figure 9 : Schéma d'un passage de type II b avec cadre fermé  
(Source : Guide technique Aménagements et Mesures pour la petite faune, Sétra 2005)



Photos 38 à 40 : A gauche, tunnel sous chaussée de type II b (batrachoduc de Gaumont) ;  
Au centre, tunnel sous chaussée de type II b (batrachoduc de Soufflenheim) ;  
A droite, tunnel sous chaussée de type II c (Molsheim) (Source : © A. Morand, Cerema Est)

Plusieurs fournisseurs proposent ce type de produits (Bonna Sabla, Chapsol, Matière, Silix). Les cadres (dimensions intérieures = 1,00 x 0,60 m) sont posés sur un lit de pose compacté ingélif (calcaire) de 0,10 à 0,20 m d'épaisseur. Le remplissage latéral est réalisé sur 0,40 m de large (matériau ingélif). Pour des parois standards de 0,10 m d'épaisseur, le recouvrement est réalisé avec un remplissage de 0,20 m de calcaire et 0,55 m de grave non traitée. Avec une couche de roulement, il faut compter une profondeur de fouille de 1,80 à 2,00 m. Il est possible de limiter le remplissage en choisissant des dalots à parois épaisses et renforcées (20 cm, contre 10 cm pour les dalots standards) ou en plaçant une dalle de répartition. La fourniture et pose de cadres fermés en béton est évaluée entre 400 et 535 € le mètre linéaire.

## • Cadres ouverts en béton



Photos 41 et 42 : A gauche, passage de type IIb avec cadre ouvert en béton) ;  
A droite, avec cadre ouvert en mini-tunnel (l=0.50 m) (Source : Maibach)

La société allemande Maibach (fabricant) et Sodilor (importateur), commercialisent un cadre ouvert en béton de 1 m de large décliné en 0,60 - 0,80 et 1 m de haut (intérieur). Ces éléments sont fournis en 2,50 m de long. Ils sont placés sur un lit de pose (0,10 à 0,20 m). L'épaisseur des parois (0,20 m) et du plafond (0,25 m) permet de les utiliser sans recouvrement de grave bitume ou de grave laitier. Ces éléments sont particulièrement bien adaptés aux amphibiens en raison d'une circulation sur un sol naturel humide. Une hauteur intérieure de 0,60 m est suffisante et correspond à une fouille de 1 à 1,20 m de profondeur avec comme avantages des terrassements et matériaux de remplissage et de fondation limités (absence de blindage).

La fourniture et pose de cadres ouverts en béton est évaluée entre 300 et 535 € le ml.

Le tableau ci-dessous est extrait du dernier ouvrage international (ou Handbook) en écologie routière [56].

Les auteurs tentent une synthèse et aide à la décision en ce domaine, intégrant la forme et longueur des traversées à partir de quelques données en Europe et en Amérique du Nord. Sans être une norme, ce tableau donne une tendance générale qu'il s'agirait d'améliorer en ajoutant et comparant plusieurs autres ouvrages construits en France et en Europe sur lesquels nous avons un retour d'expérience suffisant en terme d'efficacité.

| Forme         | Longueur des traversées sous chaussée      |                                            |                                           |                                        |                                        |
|---------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|               | 20                                         | 20-30 m                                    | 30-40 m                                   | 40-50 m                                | 50-60 m                                |
| Rectangulaire | 1,0 x 0,75 m<br><b>0,75 m<sup>2</sup></b>  | 1,5 x 1,0 m<br><b>1,5 m<sup>2</sup></b>    | 1,75 x 1,2 m<br><b>2,1 m<sup>2</sup></b>  | 2,00 x 1,5 m<br><b>3 m<sup>2</sup></b> | 2,3 x 1,75 m<br><b>4 m<sup>2</sup></b> |
| Circulaire    | <b>1,0 m<sup>2</sup></b>                   | <b>1,2 m<sup>2</sup></b>                   | <b>1,6 m<sup>2</sup></b>                  | <b>2 m<sup>2</sup></b>                 | <b>2,5 m<sup>2</sup></b>               |
| Arche         | 1,0 x 0,7 m<br><b>≈ 0,50 m<sup>2</sup></b> | 1,4 x 0,7 m<br><b>≈ 0,70 m<sup>2</sup></b> | 1,6 x 1,1 m<br><b>≈ 1,3 m<sup>2</sup></b> | -                                      | -                                      |

Pour les routes départementales et nationales, nous recommandons autant que possible le dalot par rapport à la buse. Selon plusieurs observations, différentes espèces d'amphibiens, en particulier chez les Urodèles (salamandres et tritons), auraient tendance à vouloir grimper le long des buses circulaires, compromettant sérieusement leur chance de traverser et augmentant le risque de dessiccation. En ce qui concerne la longueur des traversées, elle doit être fonction de la largeur de la voie et ne pas être inférieure à une certaine taille minimale en hauteur comme en largeur. Pour le revêtement, les gestionnaires d'ouvrages existants plaident en faveur d'un sol naturel et humide au niveau de ces tunnels, ce que confirment aussi les rares travaux scientifiques en ce domaine [55, 70]. Si les Crapauds ne réalisent que peu de différence, les grenouilles « brunes » et « vertes » semblent préférer les sols naturels. Cette préférence est à relier très probablement à une influence des odeurs des différents types de substrat plus ou moins "favorables", une différence d'humidité pour laquelle il existe des préférences variables selon les espèces et les stades de vie, les crapauds étant moins sujets à la dessiccation, etc.

### 2.3.3 - Le nombre et l'espace (ou inter distance) entre les traversées

Le nombre de traversées sous chaussée ou tunnels dépend de la longueur de la route à équiper, estimée optimale, pour réduire les écrasements et correspond généralement à la longueur du dispositif temporaire de collecte. Cette longueur peut s'étendre de quelques centaines de mètres à rarement plus d'1 km. Pour exemples, elle est de 400 m à Kruth-Wildenstein (Dpt 68), 700 m au Lac du Der (Dpt 51), 1 km à l'étang du Grand-Lemps (Dpt 38) et 1,6 km au site du Gaumont (Dpt 57).

Ces distances sont issues d'études préalables, souvent conduites à l'aide d'un dispositif temporaire durant plusieurs années par les équipes de bénévoles à l'origine du projet d'ouvrage pérenne. Un espacement optimal de 25 à 30 m est généralement recommandé, tout particulièrement chez les urodèles. Il peut être porté à 60 m au maximum, notamment si une longue distance est à équiper. L'objectif étant d'éviter une trop longue errance, un stress ajouté et un risque mortel de dessiccation voire de prédation, le plus faible écartement doit être privilégié. Son extension se fera sous réserve de l'avis de spécialistes et de données de suivi des routes migratoires suffisamment précises.

### 2.3.4 - La lumière et l'aération

Il est communément admis de respecter le phototropisme des amphibiens, aux déplacements en général nocturnes. Il s'agit, qu'au terme du tunnel à traverser, la lumière soit visible et les attire etc. Il est donc préférable d'isoler la traversée de toute lumière à l'exception de la sortie, etc. Nous ne recommandons pas les chaussées ouvertes au niveau de leur toit et éclairant l'ensemble du tunnel. L'un des autres points négatifs des ouvertures tout le long de la chaussée, directement sous le revêtement de la route, est le risque loin d'être négligeable d'apports d'eaux à forte concentration de sels sur les routes soumises à des opérations de dessalage, éléments très toxiques pour les amphibiens à la peau nue et vulnérable !



*Photo 43 et 44 : Lumière au bout du tunnel et substrat végétalisé naturellement dans le conduit, respectivement sur le batrachoduc de Sorques (77) et celui de l'étang de Laurêre (25) sur la RD 14  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)*

### 2.3.5 - Fosses (ou sas d'entrée) et rampe d'accès

Les amphibiens adultes, lors de leur déplacement migratoire en direction des sites aquatiques de reproduction, se heurtent à l'obstacle que constitue le collecteur. Ils sont ainsi empêchés d'aller tout droit pour peu que ce collecteur et barrière empêche de le grimper, l'objectif étant qu'ils soient guidés ou dirigés vers l'entrée des tunnels. Au niveau de l'entrée des traversées sous chaussée, il est parfois possible de créer des fosses pour forcer le passage. Une fois tombés à l'intérieur, ils sont amenés à traverser le conduit en direction de la lumière. Les fosses peuvent ne pas être totalement identiques de part et d'autre de la voie. L'un des enjeux de ce petit aménagement est de faciliter la traversée lors de la migration pré-nuptiale des adultes. La pente ne doit pas être trop importante au cas où un animal envisagerait de rebrousser chemin sans s'épuiser de même qu'il est censé de permettre la remontée des individus adultes ou juvéniles, la période de reproduction passée, en direction de leurs habitats terrestres, etc.



Photos 45 : Batrachoduc du lac de Der : une rampe à pente douce  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photos 46 : Batrachoduc de Gaumont : la pente est un peu « raide » au point que le Parc naturel régional de Lorraine, l'un des porteurs du projet, a dû poser du géotextile sur les traversées les plus fréquentées par les amphibiens  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)

### 2.3.6 - L'évacuation des eaux

La prise en compte de l'hydrologie du site est cruciale pour l'efficacité de l'aménagement. En effet, l'ennoiment sur une durée longue ou prépondérante au cours de la migration de reproduction, peut rendre le dispositif complètement inopérant. Il est fondamental que l'eau ne stagne pas à l'entrée ou dans les tunnels, sa présence pouvant empêcher le déplacement de certaines espèces (risque de noyade des salamandres) ou déclencher les pontes d'espèces opportunistes (Grenouille agile) qui se contentent parfois de petites pièces d'eau.



Photo 47 et 48 : Une buse perpendiculaire au pied d'une clôture renforcée sur le dispositif temporaire de la Dune de Slack  
Dpt du Pas de Calais (Source : © A. Morand, Cerema Est) ;  
A droite, un aménagement conséquent « drain-fossé » pour évacuer les eaux sur le site d'Esh-Belval (dpts 54/57)  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)



### 2.3.7 - Mise en sécurité

La mise en sécurité du site peut imposer des aménagements complémentaires d'autant plus importants qu'il existe des rigoles, fossés proche de la chaussée. La pose d'un caniveau en U, au niveau du sol, présente ainsi un danger pour les usagers. Afin de répondre aux conditions de sécurité routière, le système de blocage, lorsqu'il est situé proche de la chaussée, est constitué d'un Mur Véhicule Leger (MVL), en béton coulé sur site.



*Photos 49 et 50 : Mur Véhicule Léger en bordure de chaussée  
A gauche, Batrachoduc du lac de Der ; A droite Batrachoduc de Gaumont (dpt 57)  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)*

### 2.3.8 - Accès aux emprises privées (terre agricole) ou d'intérêt général (parking, accès chemin)

Selon la longueur de la section à aménager, il peut être nécessaire d'envisager un aménagement permettant la sortie des véhicules vers le chemin ou autre site desservi, mais empêchant les animaux de pénétrer sur l'emprise, et les guidant vers le dispositif de collecte.



*Photo 51 et 52 : Une grille de type passage canadien en droit d'un chemin d'accès  
(Source © A. Morand, Cerema-Est)*

### 2.3.9 - Entretien et suivi des installations permanentes

#### L'entretien

Des différentes expériences connues et valorisées sur ce type d'ouvrage, il ressort que l'entretien est nécessaire sous peine d'un risque de le rendre inopérant à moyen terme. Cet entretien est peu coûteux en temps et en qualification. Dans les zones enneigées (exemples : site de Kruth-Wildenstein, étang du Grand-Lemps), il s'agit de visiter le dispositif à la sortie de l'hiver, en tous les cas avant les migrations printanières. L'enjeu est de vérifier les puits (fosses) d'entrée et d'enlever les feuilles mortes, pierres, terres accumulées etc. On peut nettoyer aussi tout le long des collecteurs tout en laissant un minimum de végétations favorables aux amphibiens. La présence de déchets diminue également l'efficacité des ouvrages.

Il est important dès le projet d'évoquer l'entretien du dispositif (collecteurs et traversées et petits équipements associés) et sa prise en charge par une convention qui rappelle les engagements de chacun (Conseil départemental, commune, organisme gestionnaire d'espace naturel, association, etc.).

## Suivi de l'efficacité

Il nous faut insister sur l'importance des suivis des ouvrages de franchissement réalisés ainsi que des autres mesures compensatoire et d'accompagnement. D'une part, en vue de réajuster certains aménagements et finitions rapidement après la construction. D'autre part afin de pouvoir évaluer l'ouvrage au regard des objectifs définis à sa genèse. Il s'agit donc de respecter une certaine méthodologie avant la mise en œuvre d'un suivi. Il faut définir et prioriser les objectifs du suivi et répondre à quelque unes de ces interrogations : Pourquoi un suivi ? Quelles espèces suivre, toutes ou certaines plus particulièrement ? Comment évaluer l'adaptation des populations d'amphibiens à l'ouvrage ? Quelles catégories d'individus souhaite-t-on suivre (adulte ou juvénile) et quelle migration (pré ou postnuptiale) ? Enfin, quels moyens y consacrer au regard de ressources financières et humaines limitées ?

Une fois une réflexion commune entre les partenaires au projet, menée autour de ces quelques questions, on peut envisager le suivi au cours de la période « optimale » de migration et fonction de la détectabilité des espèces cibles (ex. février-mars pour les espèces à reproduction explosive de type Grenouille rousse ou Crapaud commun, avril-mai pour les espèces à reproduction plus tardive comme la Rainette arboricole, le Crapaud vert). Il s'agit de conduire un suivi, si possible sur plusieurs saisons de reproduction afin d'atténuer le poids des facteurs climatiques et de dynamique naturelle des populations. A titre d'exemple, pour un suivi post création, l'espacement du pas de temps peut être, après un premier suivi l'année qui suit la création de l'ouvrage, de 3 à 5 ans puis 10 ans.

Pour tout projet neuf de passage à amphibiens et dans l'objectif d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage, nous recommandons d'envisager en amont un dispositif adapté dès la conception. A l'image de certains ouvrages existant, il peut être ainsi envisagé une trappe en béton (avec couvercle) directement à la sortie (et/ou l'entrée également) du tunnel des traversées sous chaussée en veillant à ce qu'il n'y ait aucun risque d'ennoiement de tel dispositif préjudiciable à la survie des individus capturés.



Photos 53 à 58 : Illustration de quatre techniques de suivis utilisées - De la gauche vers la droite et de bas en haut : le dénombrement d'animaux vivants ou écrasés réalisé sur une portion de route de l'ouvrage ainsi qu'à ses extrémités, ici un amplexus de crapaud commun et une salamandre tachetée (Source : © A. Morand) ; les dispositifs « trappe », à relève régulière et sur une durée définie - ici sur le PPF ou batrachoduc du Gaumont ou intégré de manière pérenne, exemple du PPF de l'étang de Laurêtre (Source : © C. Muller, Cerema Est) ; les pièges photos (Source : © G. Tekielak, Cerema Est) ; la télémétrie - suivi des déplacements du crapaud commun, via une antenne portable à l'étang du Grand Lemps (RNN), étude sous le pilotage de P. Joly et G. Maillet (Source : © J. Prunier)

## Encadré 9 : Quelques retours d'expériences sur le suivi de l'efficacité de plusieurs batrachoducs suivis<sup>6</sup>

Durant tout le mois d'avril 2013 sur le site du Cheylas (Isère) [71], toutes les nasses ont été inspectées, de même qu'en parallèle un suivi a été mené sur la route durant deux mois (fin février-avril) pour évaluer les écrasements à proximité de l'ouvrage sur plusieurs centaines de mètres et différents tronçons de route. Sur 500 individus et 5 espèces d'amphibiens (Crapaud commun pour l'essentiel ; autres espèces : Grenouille rousse, Rainette arboricole, Salamandre tachetée et Triton palmé) qui ont tenté le franchissement de la route, c'est près de 80% qui utilisent l'ouvrage construit. Certaines buses étaient plus utilisées que d'autres. Par exemple, un seul individu (Grenouille rousse) a été retrouvé dans l'une des buses retour. C'est aussi environ une centaine d'individus (20%) qui ont emprunté une voie de migration hors ouvrage de franchissement !

En conclusion, malgré des réserves sur la période de suivi, la détectabilité des cadavres d'amphibiens, notamment en raison d'un trafic élevé et d'un lessivage de la chaussée par la pluie, deux résultats se dégagent : l'efficacité de l'ouvrage pour la capture et le franchissement de l'ouvrage par la Rainette (une première en France) ainsi qu'une diminution des effectifs d'individus écrasés, toutes espèces confondues, après la création de l'ouvrage. Ces premiers résultats doivent être toutefois confirmés sur le plus long terme.

A l'étang du Grand-Lemps, dans le département de l'Isère également, un suivi de plus de quinze années, révèle un bon fonctionnement en migration aller des adultes des différentes espèces avec la restauration de l'ouvrage et des aménagements complémentaires en 2013 [72, Maillet, com. pers. 2016]. La migration retour des métamorphosés quittant le milieu aquatique est beaucoup plus mitigée en ce qui concerne l'efficacité des tunnels ; elle pose aussi de nombreux problèmes en terme de méthodologie de suivi [73, 74, Joly, com. pers. 2017]. Récemment, l'analyse des données cumulées suggère une tendance inquiétante et continue à la baisse des populations de plusieurs espèces d'amphibiens, notamment pour le Crapaud commun, espèce parmi les plus abondantes (Joly, com. pers. 2017).

Sur le passage à petite faune du Lac de Der-Chantecoq (Marne) [59], un bilan de quatre années (2012-2015) de suivi, dont deux années avec un dispositif de capture, a été effectué. Il est positif pour les anoues (90 % des Crapauds communs et Grenouilles rousses) mais demeure préoccupant pour les tritons (Triton alpestre et ponctué), certaines observations nocturnes montrant l'errance de nombreux individus le long de la barrière collectrice (Hervé, com. pers. 2016).

Sur le passage à petite faune de la commune de Larchant (PNR Gâtinais, Ile de France) [69], un suivi de l'efficacité de 73 jours pendant la migration pré-nuptiale (entre le 25 janvier et le 8 avril 2011), via l'utilisation de trappes à amphibiens semble démontrer l'utilisation de tous les tunnels (à l'exception d'un tunnel ennoyé) par les 5 espèces présentes (Crapaud commun, Grenouille agile, les Grenouilles « vertes », Triton palmé, Triton ponctué) avec toutefois des effectifs très faibles d'urodèles.

En ce qui concerne les autoroutes, un suivi du réseau « Vinci autoroute » [75] sur plusieurs dizaines d'ouvrages (22 traversées sous-chaussée dont certaines atteignant une cinquantaine de mètre) a démontré à l'aide de pièges à vibration et pièges photos en time-lapse (déclenchement minute), la présence et le passage de plusieurs espèces d'amphibiens en période de reproduction et à l'automne (Salamandre tachetée, crapaud commun, notamment).

Ces données par les pièges-photos demeurent toutefois qualitatives en regard d'autres suivis, par piégeage des individus, semi-quantitatifs sur les routes départementales... Toutefois, le choix du type de piège-photo est important. Ceux, à la fonction « Time-lapse » (avec paramétrage du nombre et de la fréquence de vue en seconde et à des horaires pré-programmés) peuvent être très performants mais ils génèrent de grandes quantités d'image à analyser. Des logiciels de traitement et d'automatisation des images capturées sont à l'étude...

D'autres techniques sont testées (de type Radio Frequency Identification ou RFID) dans les suivis de l'efficacité des ouvrages de franchissement des ITT ou écopassages. Elles peuvent donner de riches informations sur le comportement et la dynamique des populations d'amphibiens mais sont toutefois lourdes à mettre en œuvre, le plus souvent dans le cadre d'un programme de recherche. Par ailleurs, elles font l'objet d'une demande d'autorisation argumentée très sérieusement de par le caractère invasif de telles méthodes (marquage d'un échantillon d'individus par transpondeurs ou pit-tags) sur les amphibiens.

---

6 En Suisse, une enquête a été menée sur 17 ouvrages de type « crapauduc » démontrant d'une part l'efficacité supérieure d'une grande ouverture des tunnels chez deux espèces (Crapaud commun et Grenouille rousse) et d'autre part la difficulté de cette comparaison dans l'interprétation des résultats en raison de la fluctuation naturelle des populations étudiées et le fait que chaque installation est une combinaison unique de type, longueur, largeur de tunnel et système de guidage. Rapport complet téléchargeable sur le site du karch.

### 2.3.10 - Panneau d'informations et autres outils de communication et de sensibilisation

La signalétique permanente visant à informer le public n'a pas le même objectif que la signalétique temporaire de danger. Il s'agit ici d'informer le public sur les enjeux du site et justifier l'argent public utilisé pour de tels aménagements. Le rôle des associations est prioritaire et très dynamique en ce domaine [81]. Des articles de presse, des lettres d'informations, des animations (grand public et scolaire), des documentaires télévisuels [82] et reportage peuvent utilement compléter le dispositif d'information et d'acceptation sociale etc.



Photo 59 : Panneau du crapauduc de Kruth-Wildenstein  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)



Photo 60 : Panneau du batrachoduc de Gaumont  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)

## 2.4 - Les ouvrages non spécifiques à amphibiens

Différents travaux scientifiques en génétique du paysage (voir aussi Encadré 4) ont mis en évidence, le long des voies ferrées, le rôle des petits ouvrages hydrauliques auparavant sous-estimés, comme étant des zones de déplacement pour les amphibiens (Salamandre tachetée, Triton alpestre) et favorisant un brassage génétique suffisant pour les espèces considérées.

Les passages spécifiques pour la petite et grande faune ainsi que les passages non spécifiques destinés à rétablir la circulation pour les activités humaines (agriculture, randonnée) ou le passage d'un cours d'eau peuvent constituer des zones pouvant être utilisés naturellement par les amphibiens lors de leur déplacement. Dans certaines configurations très favorables (pour exemple, le cas ci-dessous de la RN59), il est même possible de trouver plusieurs espèces d'amphibiens. Cet exemple de l'un de ses passages inférieurs pour la grande faune (voir photos ci-dessous) reste toutefois une situation relativement rare. L'ouvrage se trouve d'une part, en plein cœur d'un massif forestier « coupé en deux » par la route. Cette forêt abrite d'autre part, des populations abondantes de différentes espèces d'amphibiens, dont celle de Sonneur à ventre jaune (espèce à enjeu élevée bénéficiant d'un PNA décliné à l'échelle régionale). Enfin, la relative forte richesse batrachologique dans l'ouvrage s'explique par la grande taille du passage inférieur et une luminosité suffisante de par la hauteur du toit, qui favorise le développement d'une végétation aquatique et terrestre. Il existe également un ruisseau traversant un substrat naturel et limono-sableux, l'ensemble offrant des conditions ambiantes humides favorables aux amphibiens.



Photo 61 et 62 : Exemple de conditions favorables aux amphibiens sous un passage inférieur « grande faune » : la présence d'un cours d'eau, de flaques sous l'ouvrage favorise l'occupation et la présence de juvéniles de Crapaud commun, Grenouille verte et Sonneur à ventre jaune, ici en position ventrale. Quelques adultes et têtards de Sonneur à ventre jaune ont été également trouvés attestant d'une possible reproduction  
(Source : passage inférieur sous la RN59 © A. Morand & M. Gigueux, Cerema Est)

## 3 - Mesures compensatoires et d'accompagnement

### 3.1 - La création d'habitats aquatiques (mares de substitution)

Selon le type de projet (projet neuf, requalification, etc), les conséquences sur les milieux aquatiques utiles à la reproduction des amphibiens sont variables. Destruction totale ou partielle, dégradation, séparation et isolement des autres milieux favorables aux amphibiens sont autant d'exemples de situations possibles. La création d'habitats aquatiques peut donc avoir comme objectif de remplacer (ou déplacer), lorsqu'il se trouve sur le tracé, les sites détruits ou isolés situés de l'autre côté de la route, et réduire les franchissements ou encore d'attirer les animaux et favoriser la traversée, etc. Les mesures de compensation ou d'accompagnement peuvent être de créer, restaurer et entretenir un (ou plusieurs, de préférence) plan(s) d'eau. C'est un moyen concret et qui peut être efficace pour pallier la disparition de zones humides naturelles ou plans d'eau d'origine par le projet d'aménagement et préserver la continuité écologique entre les milieux. Cette solution a fait quelquefois ces preuves mais la réussite d'une telle entreprise doit faire appel à des compétences avérées d'ingénierie écologique tenant compte à la fois de la complexité du fonctionnement des écosystèmes et des exigences écologiques des espèces cibles d'amphibiens [76, 77, 78].

Quels que soient les objectifs à l'origine de la création d'habitats aquatiques pour les amphibiens, il faut réfléchir à tous les aspects du projet avant son aboutissement, ce qui permettra d'éviter bien des erreurs lors du creusement et bien des problèmes qu'il ne serait plus possible de résoudre lors de la mise en eau. Un certain nombre de questions doivent être posées, parmi lesquelles : Combien de sites et quelle configuration ? Où seront-ils le plus utile ? La distance par rapport aux autres sites est-elle raisonnable par rapport à ce que l'on sait des capacités dispersives des espèces dans la région ? etc.

Il existe différents exemples de création de mares dans le cadre d'une mesure compensatoire ou d'accompagnement mais peu d'entre eux ont été suivis afin d'évaluer de la réussite de l'opération, notamment la colonisation par les espèces locales ou bien leur fonctionnalité et succès du développement larvaire. Il s'agit pourtant de répondre à ces questions par une étude spécifique en s'appuyant avant tout sur la connaissance du terrain (sol, hydrologie, etc.), le contexte naturel et humain aux échelles locales et du paysage. La colonisation naturelle du plan d'eau n'est pas immédiate et seul un suivi rigoureux sur plusieurs années est en mesure d'évaluer le succès de l'opération. Nous renvoyons à **l'Annexe 3** pour quelques grands principes ainsi que d'autres références pour aller plus loin [79, 80].

Dans la plupart des cas, Il faut tenir compte :

- des règles de sécurité (l'eau attire les riverains, etc.) ;
- des pluralités d'intérêt (pêche, chasse, loisir, conservation, etc.) et des usagers à prévenir pour obtenir un accord durable et éviter les conflits d'usage ;
- des peuplements naturels dans l'environnement immédiat et régional qu'il s'agit d'évaluer pour tenir compte de l'évolution globale de son propre site et favoriser son intégration et sa complémentarité possible avec les autres sites aquatiques.



Photo 63 et 64 : Mares créées lors du projet de la LGV Est (Source : © A. Morand, Cerema Est)  
et à proximité de la RN 59 (Source : © M. Gigleux, Cerema Est)

## Encadré 10 - Quelles précautions en cas de translocation d'individus et de populations d'amphibiens ?

Dans le cas d'une mesure compensatoire, suite à destruction programmée d'un site aquatique et habitat de reproduction d'amphibiens, pour accélérer le processus de colonisation et sauver l'essentiel des reproducteurs privés de leur habitat de reproduction d'origine, le transfert d'un lieu de ponte à l'autre peut s'envisager directement par la capture des adultes reproducteurs. Pour contraindre les reproducteurs à pondre dans ce nouvel habitat, on peut les forcer via la pose d'une bâche les empêchant d'en sortir. Le transfert des pontes récoltées sur le site condamné vers la frayère de remplacement est une autre solution. Cette méthode est moins contraignante et donne de bons résultats. Dans les deux cas, le transfert est obligé si l'impact menace les individus, bénéficiant pour la plupart d'un statut de protection. Par ailleurs, cette opération doit se poursuivre durant 4 à 6 ans pour capturer l'essentiel de la population menacée. L'un des enjeux est aussi de s'assurer de l'adaptation de la population à son nouvel environnement. En effet, les individus adultes sont désorientés et pour certains leur attirance que l'on appelle "homing" est forte de retrouver leur habitat d'origine. Les animaux capturés peuvent revenir immédiatement vers le lieu de ponte qui les a vu naître. Ils n'ont, par ailleurs, pas toujours la connaissance des contraintes de leur nouvel habitat et peuvent subir de lourdes pertes liées à des accidents et prédatons jusqu'alors inconnus, etc.

### 3.2 - Habitats terrestres (sites d'hivernage, territoire de chasse, etc.)

Les habitats terrestres à recréer (terrain de chasse, zone d'hivernage) sont, en comparaison des habitats aquatiques, très peu pris en compte en tant que mesures compensatoires ou dans le cadre de mesures d'accompagnement. Ils constituent pourtant un élément fondamental (et facteur parfois limitant) au cours du cycle de vie de la plupart des espèces d'amphibiens concernés par l'aménagement d'infrastructures et leur emprise. Il y a, malheureusement, peu d'expérience en la matière. Il peut s'agir pourtant de mesures simples et peu onéreuses comme l'apport de bois morts, de murets de pierre qui constitue un site d'hivernage (ou hibernaculum) directement à proximité de sites de reproduction aquatique [79]. On peut citer, toutefois pour exemple, l'expérience de la communauté de commune « Val de Moselle » (devenue en 2017, la communauté de communes "Mad Moselle") dans le cadre du projet de batrachoduc du Gaumont avec la création d'une prairie entre le plan d'eau et la route, à la place de terres cultivées (voir photo ci-dessous).



*Photo 65 : Prairie créée sur d'anciennes terres cultivées  
à proximité immédiate du batrachoduc du Gaumont  
(Source : © A. Morand, Cerema Est)*

## 4 - Mesures « E, R, C » : éléments de coût et acceptabilité socio-économique

La doctrine "E,R,C" invite en théorie à prévenir plutôt que guérir [49]. Le choix du tracé de nouvelles infrastructures de transport terrestre doit tenir compte de la présence de sites d'intérêt biologique et chercher à éviter, notamment les lieux importants de passage des amphibiens lors de leur migration.

Pour un projet au tracé défini mais à l'impact non négligeable sur des zones à enjeux, seules les mesures de réduction et de compensation pourront être mises en œuvre. Dans un projet neuf, le budget affecté pour réduire et compenser les impacts environnementaux, comprenant des ouvrages pérennes de type « batrachoduc », est proportionnellement faible par rapport à l'enveloppe globale du projet. En effet, les postes budgétaires les plus importants d'un tel ouvrage d'art, pour exemple, les prix généraux du marché, les travaux préparatoires et le chantier de terrassement/chaussée sont déjà compris dans le projet neuf. Il en est de même dans les gros chantiers de requalification d'ITT (création de piste cyclable, évolution d'une RD vers une 2x2 voies, etc.).

Dans les autres cas, c'est-à-dire sur les infrastructures déjà existantes, les mesures qui peuvent être prises pour éviter, limiter ou compenser l'écrasement des amphibiens sont assez diverses dans leur efficacité, leur facilité de mise en place et leur coût en moyens financiers et humains. Le tableau (**voir Annexe 4**) rend compte de mesures de la séquence « E, R, C » citées dans cet ouvrage et/ou options choisies comprenant le contexte, une fourchette de prix à titre indicatif et les principaux facteurs de variabilités. Ces estimations de coût des passages à amphibiens, subdivisées en plusieurs « postes », s'appuient sur une quinzaine d'ouvrages spécifiques à amphibiens recensés en France, qui ont été construits sur trois décennies et au coût total individuel allant de 50 000 à 550 000 euros. La fourchette indicative de prix est donc parfois basée sur un seul retour d'expérience ou alors quelques-uns ainsi que sur la note d'information [83]. Nous retenons, de manière globale, pour la conception d'un batrachoduc, une fourchette variable, entre 600-1000 € mètre linéaire environ (évaluation à 900 € en Suisse). Il existe une grande variabilité selon les caractéristiques topographique et éco-géographiques du site, les matériaux, les quantités et la dimension des dispositifs principaux de ces ouvrages, à savoir les barrières collectrices et les traversées sous-chaussée. A titre de comparaison, un rond-point coûte en moyenne près de 300 000 euros, ce qui relativise aussi leur coût.

Toutefois, ces ouvrages d'art ont fait l'objet, dans le passé et font l'objet encore aujourd'hui, de controverses. Dans une perspective globale de croissance des infrastructures et de véhicules, il semble prioritaire d'améliorer sur ce type de projet de création de « passage à faune », une information efficace très en amont et de sensibiliser davantage. Il s'agit de convaincre de l'importance d'avoir de « bonnes » infrastructures de transport pour les usagers mais aussi pour toutes les autres espèces animales, à la recherche d'un équilibre de notre environnement naturel et aménagé. Ajoutons que des chantiers de réinsertion ainsi que de nombreuses entreprises locales en bâtiment peuvent être partie prenante des travaux engagés.

Cette question d'acceptabilité sociale est un sujet qui dépasse très largement la seule question des passages à amphibiens ou des ouvrages « faune » en vue d'améliorer la transparence écologique [84]. Cet enjeu nécessite un travail étroit entre élus et techniciens. La recherche de la transparence écologique des infrastructures n'est pas un luxe, elle n'est pas non plus une simple réponse à des exigences réglementaires. Elle est l'un des éléments-clefs d'un développement réellement durable des territoires.

# Bibliographie

[1] [www.globalamphibians.org](http://www.globalamphibians.org)

[2] Lescure J. & Massary de J-C. (coords.), 2012.- Atlas des Amphibiens et Reptiles de France. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires & biodiversité), 272p.

[3] Joly P. & Morand A., 1997.- Amphibian diversity and land-water ecotones. Pp 161-182 in Bravard J-P. and Juge R. (editors). Biodiversity in land-water ecotones. Man and biosphere series. Volume 18. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

[4] Dubois A., 2001.- Les amphibiens. Encyclopédie Clartés. Pp 1-20. Volume 7.

[5] Sinsch U., 2015.- Review: Skeletochronological assessment of demographic life-history traits in amphibians. Herpetological Journal, 5-13, v 25.

[6] Joly P., 1998.- Biologie des populations d'amphibiens, connectivité et aménagement du territoire. Pp 53-62. Dans « Connectivité et aménagement du territoire. Routes et faune sauvage ». Actes des 3èmes rencontres du 30 septembre au 2 octobre 1998. Strasbourg – Conseil de l'Europe.

[7] Joly P., 2004.- Fragmentation et biodiversité. Pp 199-204 Dans « Autoroutes et aménagements. Interactions avec l'environnement » Gasser M., Varlet J. & Bakalowicz M. (sous la dir.)

[8] Duguet R., et Melki F., (eds) 2003.- Les Amphibiens de France, Belgique et Luxembourg. Collection Parthénope, éditions Biotope, Mèze (France), 480p.

[9] Kovar R., Brabec M., Vita R. & Bocek R., 2009.- Spring migration distances of some Central European amphibian species. Amphibia-Reptilia, 30, 367-378.

[10] Sinsch U., 2006.- Orientation and navigation in Amphibia. Marine and Freshwater behavior Physiology, 39, 65-71.

[11] Diego-Rasilla F-J. & Luengo R.M., 2004.- Heterospecific call recognition and phonotaxis in the orientation behavior of the marbled newt, *Triturus marmoratus*. Behav. Ecol. Sociobiol., 55, 556-560.

[12] Madden N. & Jehle R., 2017.- Acoustic orientation in the great crested newt (*Triturus cristatus*). Amphibia-Reptilia, 38, 57-65.

[13] Dubois A. & Ohler A-M., 2010.- Evolution, extinctions : le message des grenouilles. Edition Le Pommier.

[14] Stuart S. N., Hoffmann M., Chanson J.S., Cox N.A., Berridge R.J., Ramani P. et Young B.E., (eds) 2008.- Threatened Amphibians of the World. Lynx Edicions, Barcelona, Spain. IUCN, Gland, Switzerland; and Conservation International, Arlington, Virginia, USA.

[15] Miaud C., 2013.- Un champignon menace les amphibiens. Qu'avons-nous appris sur la chytridiomycose ? Le Courrier de la Nature, 277: 30-36.

[16] Miaud C., Pozet F., Curt Grand Gaudin N., Martel A., Pasmans F. & Labrut S., 2016.- Ranavirus causes mass die-offs of alpine amphibians in the Southwestern Alps, France. Journal of Wildlife Diseases, 52, 242-252.

[17] Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Poulet N. & Soubeyran Y (coordinateurs), 2015.- Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques. Connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 1 (252 p) et 2 (240 p), Collection « Comprendre pour agir ». GT IBMA – ONEMA/MEDDE.

[18] Denoël M, Džukić G, Kalezić ML, 2005.- Effect of widespread fish introductions on paedomorphic newts in Europe. Conserv. Biol. 19: 162– 170.

[19] Beben D., 2012.- Crossing for animals – An effective method of wild fauna conservation. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. V 20 (1): 86-96.

[20] Fahrig L., Pedlar J.H., Pope S.H., Taylor P.D. & Wegner J.F., 1995.- Effect of road traffic on amphibian density. Biological Conservation, 13, 177-182.

[21] Gauthier L. & Ferrier V., 2004.- Effluents autoroutiers et tests de toxicité. Pp 135-146 Dans « Autoroutes et aménagements. Interactions avec l'environnement » Sous la dir. Gasser M., Varlet J. & Bakalowicz M.

- [22] Gauthier L. & Mouchet F., 2008.- Utilisation de larves d'amphibiens pour évaluer le pouvoir génotoxique d'effluents autoroutiers. Pp 31-36. Actes du colloque – 4ème rencontre « Routes et faune sauvage » - 21 et 22 septembre 2005.
- [23] Cerema (Carsignol J. & Tekielak G.), 2018.- Note d'information – Clôture routière et faune. 22p.
- [24] Jumeau J., 2017.- Les possibilités de dispersion et éléments d'habitat-refuge dans un paysage d'agriculture intensive fragmenté par un réseau routier dense : le cas de la petite faune dans la plaine du Bas-Rhin. 498p. PhD de l'Université de Strasbourg.
- [25] Cerema (Dutilleux G. & Fontaine A.), 2015.- Bruit routier et faune sauvage. Rapport d'étude. 26p.
- [26] Lengagne T., 2008.- Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. Biological Conservation, 141:2023– 2031.
- [27] Troïanowski M., Melot G. & Lengagne T., 2014.- Multimodality: a way to cope with road traffic noise ? The case of European treefrog (*Hyla arborea*). Behavioural processes, vol 107, 88-93.
- [28] Hels T. & Buchwald E., 2001.- The effect of road kills on amphibian populations. Biological Conservation, 99 (3), 331-340.
- [29] Glista D.J., Devault T.L. & Andrew DeWoody J., 2007.- Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. Herpetological Conservation and Biology 3(1): 77-87.
- [30] Seiler A., 2001.- Ecological effects of roads: a review. Department for Conservation Biology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 40p.
- [31] Van Gelder J-J., 1973.- A quantitative approach to the mortality resulting from traffic in a population of *Bufo bufo* L. Oecologia, Berl., 13, 93-5.
- [32] Kuhn J., 1987.- Strassentod der Erdkröte (*Bufo bufo* L.): Verlustquoten und Verkehrsaufkommen, Verhalten auf der Strasse. Beih.Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, 41, 175-86.
- [33] Langton T.E.S. (ed.).1989.- Amphibians and roads. Proceedings of the Toad Tunnel Conference. Rendsburg, Federal Republic of Germany, 7-8 january 1989. 199p. ACO polymer products Ltd, Shefford, England.
- [34] Elzanowski A., Ciesiolkiewicz J., Kaczor M., Radwanska J. & Urban R., 2009.- Amphibian road mortality in Europe: a meta-analysis with new data from Poland. Eur. J. Wild. Res., 55, 33-43.
- [35] Morand A. & Carsignol J., 2016.- Amphibians and land transport infrastructure in France. From land management to ecological engineering. Communication orale, colloque international IENE Lyon 2016.
- [36] Marsh D-M. & Trenham P., 2001.- Metapopulation dynamics and amphibian conservation. Conservation Biology, 15, 40-49.
- [37] Sordello R., Amsallem J. & Dubus V., 2012.- Trame verte et bleue - Suivi et évaluation - Faisabilité d'utiliser l'outil génétique. Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) - Service du Patrimoine naturel (SPN) & Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'environnement et l'Agriculture (IRSTEA) - UMR TETIS. 34p.
- [38] Prunier J., 2012a.- Echantillonnage individu centré en génétique du paysage : étude de l'impact de la fragmentation d'origine anthropique sur la dispersion du triton alpestre *Ichthyosaura alpestris*. Thèse de Doctorat de l'Université Claude Bernard Lyon 1.
- [39] Prunier J., 2012b.- Grandes infrastructures de transport et petite faune : le projet Copafaune. Le Courrier de la COFHUAT n°28 (Confédération française de l'habitat, de l'aménagement du territoire et de l'environnement).
- [40] Prunier J.G., Kaufmann B., Léna J-P., Fenet S., Pompanon F. & Joly P., 2014.- A 40-year-old divided highway does not prevent gene flow in the alpine newt *Ichthyosaura alpestris*. Conservation Biology, 15: 453-468.
- [41] SNCF Réseau, Ecosphère, MNHN-SPN, CNRS, CEREMA., 2015.- Programme « Trans-fer » : Analyse et rétablissement de la transparence écologique des infrastructures ferroviaires 2011-2014 – SNCF Réseau, Paris, 245 pp. + annexes.
- [42] Picard D., Gauffre B., Prunier J., Poquet V., Lagarde C., Renault N., Harrache I., Rakotozafy M., Delaunay G. & Sourice S., 2013.- Efficacité des écoducs sur la connectivité de populations d'amphibiens. Rev. Sci. Bourgogne-Nature, 17, 227-244.
- [43] Hocking D.J. & Babbitt K.J., 2014.- Amphibian contributions to ecosystem services. Herpetological Conservation and Biology 9(1): 1-17.

- [44] Joly P., 2001.- Les méthodes d'étude de la batrachofaune. Pp 27-35 dans « Gestion et protection des amphibiens : de la connaissance à la prise en compte dans les aménagements ». Actes de la Journée technique AFIE du 5 octobre 2001, Grenoble.
- [45] Miaud C., 2006.- Méthodes d'inventaire et d'identification des amphibiens. Agence de l'Eau Artois-Picardie & Université de Savoie. 21p.
- [46] Sétra/MEDD (Carsignol J.) 2005.- Aménagements et mesures pour la petite faune. Guide technique. 263p. Réf 0527.
- [47] Muratet J., (ed.) 2008.- Identifier les Amphibiens de France métropolitaine. Association Ecodiv.
- [48] Miaud C. et Muratet J., (eds) 2004.- Identifier les œufs et les larves des Amphibiens de France. 200 p. (nouvelle édition 2018 chez QUAE Editions).
- [49] MEDDE (CGDD/DEB) (Hubert S., Morandeau D., Le Bris C. & Lansiaert M.), 2013.- Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. 229p. (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/developpement-durable>).
- [50] AFIE., 1992.- Gestion et protection des amphibiens : de la connaissance aux aménagements. Actes des journées AFIE du 22 au 23 octobre 1992 à Mulhouse, Edition AFIE, 130p.
- [51] AFIE., 2001.- Gestion et protection des amphibiens : de la connaissance à la prise en compte dans les aménagements, Actes de la journée AFIE du 5 octobre 2001 à Grenoble, Edition AFIE, 161p.
- [52] Puky M., 2003.- Amphibian mitigation measures in central-Europe. Pp 413-429. In "ICOET Proceeding", Chapter 11 Wildlife impacts herpetiles.
- [53] Schmidt B.R. & Zumbach S., 2008.- Amphibian Road Mortality and how to prevent it : a review. Chap. 11, Pp 131-141 In « Urban herpetology », J.C. Mitchell, R.E. Jung Brown & B. Bartolomew (editors). Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- [54] Lesbarrères D. & Fahrig L., 2010.- Measures to reduce population fragmentation by roads : what has worked and how do we know ? Trends in Ecology & Evolution, 374-380.
- [55] Beebee T.J.C., 2013.- Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. Conservation Biology, 0, 1-12.
- [56] Hamer A.J., Langton T.E.S. & Lesbarrères D., 2015.- Making of safe leap forward : mitigating road impacts on amphibian. Pp 261-270 In Handbook of Road Ecology, Eds by van der Ree R., Smith D.J. and Grilo C.
- [57] Berthoud G. & Müller S. 1994.- Sécurité Faune/Traffics. Manuel à l'usage des ingénieurs civils. EPFL. 127 p.
- [58] Perscy C., 2005.- Les amphibiens sur nos routes. Brochure technique n°1, deuxième édition. 62p.
- [59] LPO Champagne-Ardenne., 2015.- Suivi de l'efficacité du batrachoduc d'Arrigny-lac du Der-Chantecoq. 26p.
- [60] Maillet G., 2004.- Amphibiens : des moyens pour leur sauvetage. Réserve naturelle de l'étang du Grand-Lemps (Isère). Pp 24-26. Espaces naturels n°5.
- [61] Coffre H., 1998.- Campagne de protection des amphibiens en Isère. Synthèse des activités 1998 et perspectives 1999. Conseil Général de l'Isère, Région Rhône-Alpes, Centre Ornithologique Rhône-Alpes, section Isère. 18 p.
- [62] CETE de l'Est (Carsignol J.), 2008.- Passages pour amphibiens : hiérarchisation et propositions d'aménagements. Parc naturel régional Oise Pays de France & CETE de l'Est. 69p.
- [63] Mougey T., 1996.- Des tunnels pour amphibiens. Le Courrier de la Nature, n°155, pp 22-28.
- [64] Cerema (Cocu A., Morand A. & Carsignol J.), 2016.- Principaux résultats de l'enquête sur les dispositifs temporaire et permanent de passages à amphibiens. 10p.
- [65] Quilghini A., 2017.- Inventaire des dispositifs permanents de franchissement d'infrastructures de transport par les amphibiens, contribution à l'élaboration d'une base de données et rédaction de fiches retour d'expérience. Rapport de stage. 35p. Cerema-Est & Université de Lorraine.
- [66] Cerema (Decaluwe F.), 2014.- Le Pélobate brun et le Crapaud vert. Prise en compte dans les projets d'infrastructures et d'aménagement dans le Nord-Est de la France. Cerema Dt-Est. 13p.
- [67] Aumaître D., 2014.- Plan National d'Actions du Pélobate brun (*Pelobates fuscus*, Laurenti, 1768).

- [68] Iuell B., Bekker H., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlaváč V., Keller V., Rosell C., Sangwine T., Tørsløv, N., Wandall, B. (Eds.) 2003.- COST 341: Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. Wildlife and traffic. A European Handbook for identifying conflicts and designing solutions.
- [69] Maratrat J., 2012.- Passage à petite faune, Batrachoduc de Larchant. Parc naturel du Gâtinais français. Dossier de consultation. 39p + annexes.
- [70] Lesbarrères D., Lodé T., Merilä J., 2004.- What type of amphibian tunnel could reduce road kills ? *Oryx*, 38 (2), 220-223.
- [71] Bouvis M., 2013.- Campagne de sauvetage des amphibiens en Isère : Evaluation de l'efficacité du passage à petite faune de la RD 523 A Le Cheylas lors de la migration nuptiale des amphibiens. 24p. Université de Perpignan Via Domitia, Master 1 BiMoPoDD.
- [72] Maillet G., 2013.- Aménagements complémentaires sur le passage à petite faune de la route D51b. 13p.
- [73] Lagauzère H., 2005.- Les passages à petite faune : un exemple d'évaluation lors de la migration d'amphibiens juvéniles à la réserve naturelle du Grand Lemps (Isère). 25p + annexes.
- [74] Joly P., Lagauzère H., Thevenin C. & Maillet G., 2005.- Evaluation d'un passage à petite faune : le cas de la réserve naturelle du grand Lemps, Isère. Actes du colloque – 4ème rencontre « Routes et faune sauvage » - 21 et 22 septembre 2005.
- [75] Vinci Autoroutes (Fagart S., Quaintenne G., Heurtebise C. & Chavaren P.), 2016.- Restauration des continuités écologiques sur autoroutes. Synthèse. Retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau Vinci Autoroutes.
- [76] Barnaud G., 2014.- La restauration écologique des zones humides, une longue saga. Chapitre 17, Pp 191-200 dans « Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement : analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité. » (Levrel H., Frascaria-Lacoste N., eds).
- [77] Lesbarrères D., Fowler M.S., Pagano A. & Lodé T., 2009.- Recovery of anuran community diversity following habitat replacement. *Journal of Applied Ecology*, 1-9.
- [78] Sparling D.W., 2009.- Water-quality criteria for amphibians. Pp 105-117 « Amphibian ecology and conservation ». A handbook of techniques. Ed C.K. Dodd, Jr. 529 p. Oxford University Press.
- [79] Faverot P., Castanier B., Gigout L., Joly P. & Miaud C., 2001.- L'aménagement de sites de reproduction pour les amphibiens. Pp 80-85 Dans « Outils pour la conservation de la biodiversité dans les domaines néomoral et boréonémoral européens ». Programme NACONEX.
- [80] Pronatura., 2005.- Réaliser des plans d'eau temporaires pour les amphibiens menacés. Guide pratique. 35p.
- [81] White P., 2015.- Case study: the role of non-governmental organizations (NGOS) and advocates in reducing the impacts of roads on wildlife Chapter 60. Pp 485-487.
- [82] Henry P., 1984.- Pour les beaux yeux du crapaud. Film, Ed. Bagneux, SETRA & COFIROUTE.
- [83] Sétra & CETE de l'Est, 2009.- Eléments de coût des mesures d'insertion environnementales. Exemple de l'Est de la France. Note d'information n°88. 24p.
- [84] Cerema (Chrétien L., coordinateur), 2017.- Ecologie routière. Infrastructures et faune sauvage. Pp 58-61. Revue Générale des Routes et de l'Aménagement, Dossier « Infrastructures et Paysage » n°948, septembre 2017.

# Annexes

**Annexe 1 - Liste des espèces d'amphibiens et de leur statut de protection**

**Annexe 2 - Exemple de détermination chez les Anoures et les Urodèles**

**Annexe 3 - Créer et entretenir un plan d'eau à amphibiens : quelques principes généraux**

**Annexe 4 - Mesures « E, R, C » : éléments de coût et acceptabilité socio-économique**

## Annexe 1 - Liste des espèces d'amphibiens et de leur statut de protection

| Famille            | Espèce - Nom scientifique et commun                                | France (articles 2, 3 et 5) | Convention de Berne (annexes II, III) | DH (annexes, II, IV, V) | LR monde | LR France | PNA                |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------|-----------|--------------------|
| ANOURES            |                                                                    |                             |                                       |                         |          |           |                    |
| <b>Ranidae</b>     | <i>Pelophylax kl.esculentus</i><br>Grenouille commune              | Art.5                       | III                                   | V                       | LC       | NT        | -                  |
|                    | <i>Pelophylax kl. grafi</i><br>Grenouille de graf                  | Art.3                       | III                                   | -                       | NT       | NT        | -                  |
|                    | <i>Pelophylax lessonae</i><br>Grenouille de Lessona                | Art.2                       | III                                   | IV                      | LC       | NT        | -                  |
|                    | <i>Pelophylax perezi</i><br>Grenouille de Perez                    | Art.3                       | -                                     | V                       | LC       | NT        | -                  |
|                    | <b><i>Pelophylax ridibundus</i></b><br><b>Grenouille rieuse</b>    | Art.3                       | III                                   | V                       | LC       | LC        | -                  |
|                    | <b><i>Lithobates catesbeianus</i></b><br><b>Grenouille taureau</b> | -                           | -                                     | -                       | LC       | NAa       | -                  |
|                    | <i>Rana temporaria</i><br>Grenouille rousse                        | Art.5                       | III                                   | V                       | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Rana pyrenaica</i><br>Grenouille des Pyrénées                   | Art.3                       | III                                   | -                       | EN       | EN        | -                  |
|                    | <i>Rana dalmatina</i><br>Grenouille agile                          | Art.2                       | II, III                               | IV                      | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Rana arvalis</i><br>Grenouille des champs                       | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | EN        | -                  |
| <b>Bufonidae</b>   | <i>Bufo bufo</i><br>Crapaud commun                                 | Art.3                       | III                                   | -                       | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Bufo spinosus</i><br>Crapaud épineux                            | Art.3                       | III                                   | -                       | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Epidalea calamita</i><br>Crapaud calamite                       | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Bufo viridis</i><br>Crapaud vert                                | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | NT        | <b>PNA 2014-18</b> |
| <b>Hylidae</b>     | <i>Hyla meridionalis</i><br>Rainette méridionale                   | Art.2                       | II, III                               | IV                      | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Hyla sarda</i><br>Rainette sarde                                | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Hyla arborea</i><br>Rainette arboricole                         | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | NT        | -                  |
|                    | <i>Hyla molleri</i><br>Rainette ibérique                           | Art.2                       | III                                   | -                       | EN       | VU        | -                  |
| <b>Pelobatidae</b> | <i>Pelobates fuscus</i><br>Pélobate brun                           | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | EN        | <b>PNA 2014-18</b> |
|                    | <i>Pelobates cultripes</i><br>Pélobate cultripède                  | Art.2                       | II                                    | IV                      | NT       | VU        | -                  |
| <b>Pelodytidae</b> | <i>Pelodytes punctatus</i><br>Pélodyte ponctué                     | Art.3                       | III                                   | -                       | LC       | LC        | -                  |
| <b>Alytidae</b>    | <i>Alytes obstetricans</i><br>Alyte accoucheur                     | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | LC        | -                  |
|                    | <i>Discoglossus montalentii</i><br>Discoglosse corse               | Art.2                       | II                                    | II, IV                  | NT       | NT        | -                  |
|                    | <i>Discoglossus sardus</i><br>Discoglosse sarde                    | Art.2                       | II                                    | II, IV                  | LC       | VU        | -                  |
|                    | <b><i>Discoglossus pictus</i></b><br><b>Discoglosse peint</b>      | Art.2                       | II                                    | IV                      | LC       | NAa       | -                  |

|                       |                                                       |       |     |        |    |     |                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|-------|-----|--------|----|-----|----------------|
| <b>Bombinatoridae</b> | <i>Bombina variegata</i><br>Sonneur à ventre jaune    | Art.2 | II  | II,IV  | LC | VU  | PNA<br>2011-15 |
|                       | <i>Bombina bombina</i><br>Sonneur à ventre de feu     | -     | II  | II, IV | LC | NAa | -              |
| <b>Pipidae</b>        | <i>Xenopus laevis</i><br><i>Xénope lisse</i>          | -     | -   | -      | LC | NAa | -              |
| <b>URODELES</b>       |                                                       |       |     |        |    |     |                |
| <b>Salamandridae</b>  | <i>Salamandra atra</i><br>Salamandre noire            | Art.2 | II  | IV     | LC | VU  | -              |
|                       | <i>Salamandra lanzai</i><br>Salamandre de Lanza       | Art.2 | II  | IV     | VU | NT  | -              |
|                       | <i>Salamandra corsica</i><br>Salamandre de Corse      | Art.3 | III | -      | LC | NT  | -              |
|                       | <i>Salamandra salamandra</i><br>Salamandre tachetée   | Art.3 | III | -      | LC | LC  | -              |
|                       | <i>Lissotriton vulgaris</i><br>Triton ponctué         | Art.3 | III | -      | LC | NT  | -              |
|                       | <i>Ichtyosaura alpestris</i><br>Triton alpestre       | Art.3 | III | -      | LC | LC  | -              |
|                       | <i>Lissotriton helveticus</i><br>Triton palmé         | Art.3 | III | -      | LC | LC  | -              |
|                       | <i>Triturus cristatus</i><br>Triton crêté             | Art.2 | II  | II, IV | LC | NT  | -              |
|                       | <i>Triturus marmoratus</i><br>Triton marbré           | Art.3 | III | IV     | LC | NT  | -              |
|                       | <i>Triturus carnifex</i><br>Triton crêté italien      | Art.2 | II  | II, IV | LC | NAa | -              |
|                       | <i>Calotriton asper</i><br>Calotriton des Pyrénées    | Art.2 | II  | IV     | NT | VU  | -              |
|                       | <i>Euproctus montanus</i><br>Euprocte de Corse        | Art.2 | II  | IV     | LC | LC  | -              |
| <b>Plethodontidae</b> | <i>Speleomantes strinati</i><br>Spélerpès de strinati | Art.2 | III | II, IV | NT | LC  | -              |

**Tableau 1** : Liste des 40 espèces et/ou taxons d'amphibiens (**nom commun et scientifique en rouge, les espèces introduites**) classées selon les groupes et familles, statut de protection et de menaces. DH = Directives Habitats ; LR = Liste rouge ; PNA = Plan national d'actions.

Arrêté national du 19 novembre 2007. Liste des espèces d'amphibiens et de reptiles protégées sur le territoire national métropolitain

L'article 2 désigne les espèces intégralement protégées ainsi que leurs habitats

L'article 3 désigne les espèces intégralement protégées

L'article 5 désigne les espèces partiellement protégées

Convention de Berne (1979, 1990, 1996) : réglemente tous les aspects de la conservation du patrimoine naturel

L'annexe 2 cite les espèces animales totalement protégées

L'annexe 3 fixe la liste des espèces protégées dont les populations peuvent dans certains cas faire l'objet de prélèvements

Directives « Habitats, Faune, Flore » (Annexe, II, IV et V), appelée communément Directives Habitats, s'applique aux pays de l'Union Européenne depuis 1992. Elle a pour objet d'assurer le maintien de la diversité biologique par la conservation des habitats naturels, ainsi que de la faune et de la flore sauvages. La Directive Habitats est le socle d'un réseau d'espaces naturels gérés durablement appelé Natura 2000.

L'annexe 2 regroupe des espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation (ZSC).

L'annexe 4 liste les espèces animales et végétales d'intérêt communautaire qui nécessitent une protection stricte : elle concerne les espèces devant être strictement protégées.

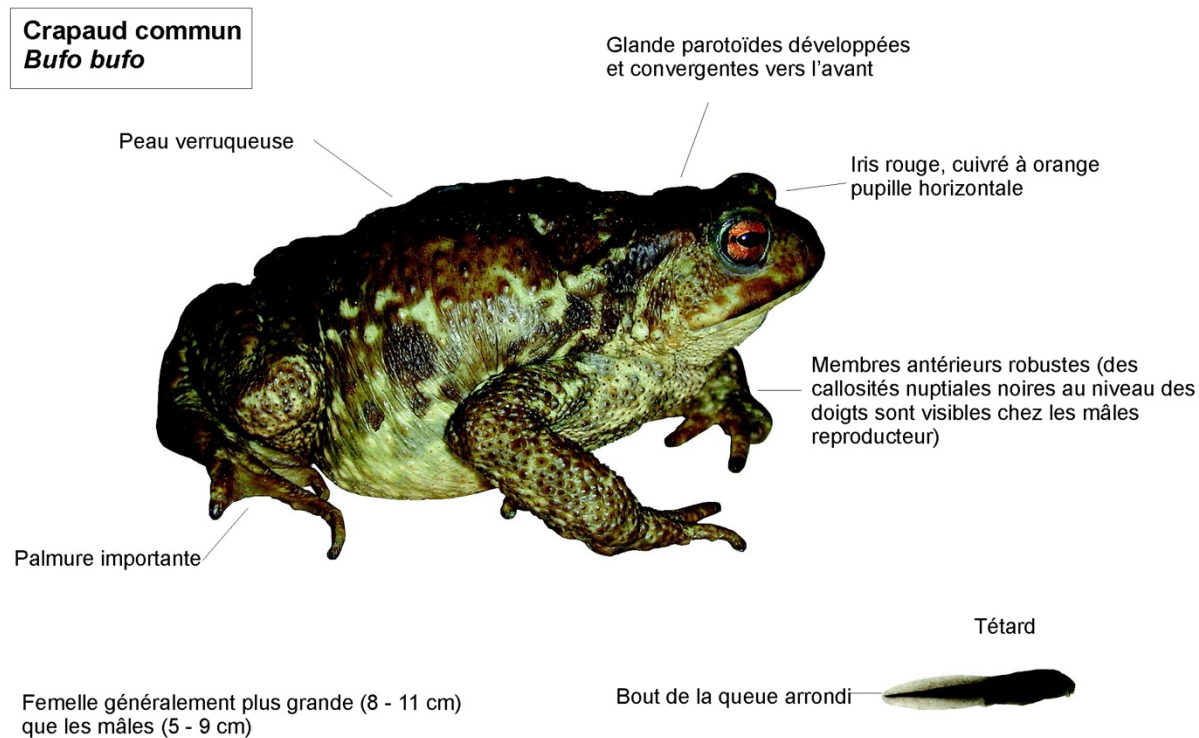
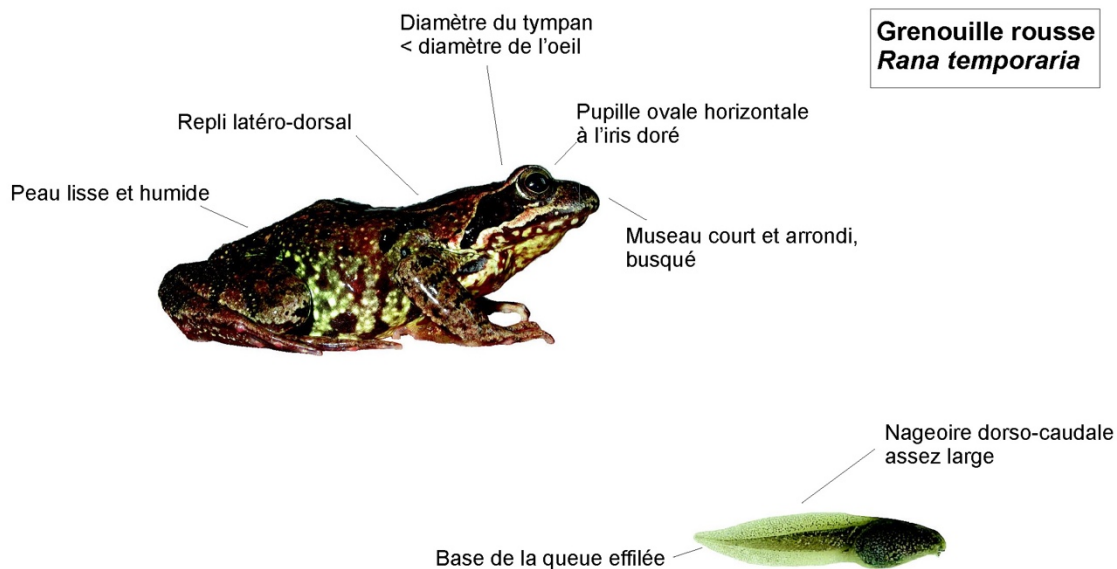
L'annexe 5 concerne les espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont les prélèvements dans la nature et l'exploitation sont susceptibles de faire l'objet de mesures de gestion.

*Liste rouge nationale réalisée en 2015, par le Comité français de l'Union Internationale pour la Conservation, le Muséum d'Histoire naturelle et la Société herpétologique de France* : 8 espèces menacées et 12 espèces quasi-menacées de France métropolitaine **CR** : en danger critique d'extinction ; **EN** : en danger ; **VU** : vulnérable ; **NT** : quasi-menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises) ; **LC** : préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France métropolitaine est faible). 5 espèces introduites en métropole mais non soumise à l'évaluation (NAa), le statut de la grenouille rieuse est sujet à controverse selon les régions.

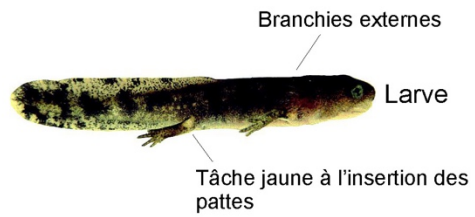
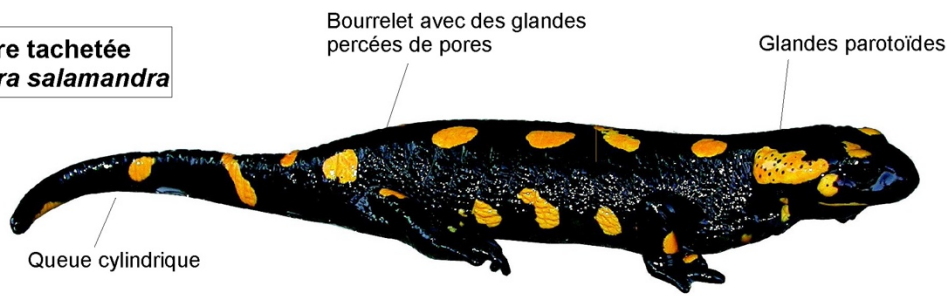
*Liste rouge mondiale* : Cette liste évalue le statut des espèces à l'échelle de leur aire de répartition globale. La dernière évaluation date de 2004 (sauf pour les espèces récemment décrites).

## Annexe 2 - Exemple de détermination chez les Anoures et les Urodèles

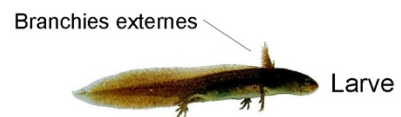
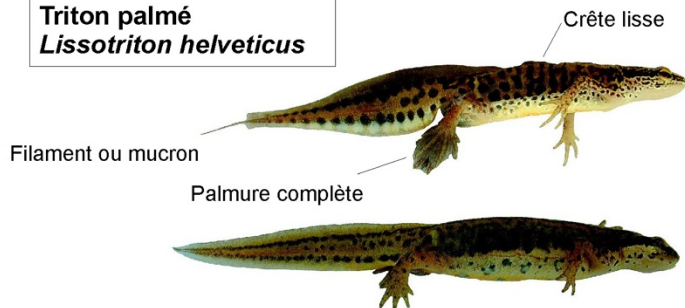
(Avec l'aimable autorisation d'exploitation des photos de J. MURATET)



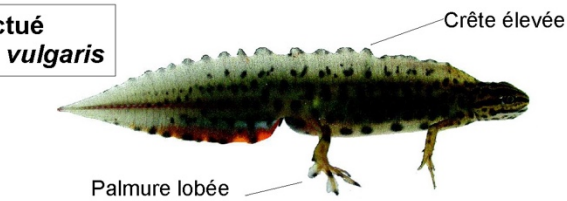
**Salamandre tachetée**  
*Salamandra salamandra*



**Triton palmé**  
*Lissotriton helveticus*



**Triton ponctué**  
*Lissotriton vulgaris*



Remarque : il est possible de confondre les femelles comme les larves entre ces deux espèces



## Annexe 3 - Créer et entretenir un plan d'eau à amphibiens : quelques principes généraux

**Nombre** : Une ou deux mares principales accompagnées d'un chapelet de mares et flaques paraissent souhaitables (modèle du continent-archipel)

**Surface** : Elle dépend du nombre d'espèces et de la taille des populations que l'on veut favoriser. Une surface minimum d'une centaine de mètres carrés s'impose pour les amphibiens.

**Profondeur et volume** : Elle est liée à la permanence de l'inondation pendant toute la durée du développement des espèces attendues. Une profondeur maximale des mares de 1,20 m à 1,50 m est souhaitable pour certaines espèces (Triton crêté, Triton marbré, Pélobate cultripède). Des flaques peu profondes entre 15 et 30 cm sont suffisantes parfois pour les espèces à développement rapide (crapaud calamite et vert, pélodyte...).

**Hydropériode (ou durée de mise en eau)** : Le caractère temporaire des plans d'eau n'est pas un facteur limitant si la présence de l'eau est assurée jusqu'à la métamorphose des larves. A l'inverse, une longue durée de mise en eau favorise le risque de communautés structurées de poissons et d'invertébrés prédateurs de larves d'amphibiens.

**Pente des berges** : Les berges seront de préférence profilées en pente douce pour permettre une gradation des conditions écologiques. Elles favorisent également le développement de la végétation dans laquelle les poissons auront plus de difficulté à trouver les têtards ou les œufs. Elles permettent aussi aux adultes et aux juvéniles d'entrer et de sortir facilement du site.

**Forme et longueur des rives, présence d'îlots** : Si on souhaite créer de nombreux micro habitats, il est important de réfléchir à la forme que l'on donnera à la pièce d'eau. En particulier, il est bon d'augmenter la longueur des rives. La sinuosité du plan d'eau et la présence d'îlots en favorisant les écotones et les refuges (anses, péninsules) sont aussi souhaitables pour les amphibiens. Dans tous les cas, la forme de la pièce d'eau sera modelée au cours des années par suite du développement de la végétation installée sur les berges peu inclinées.

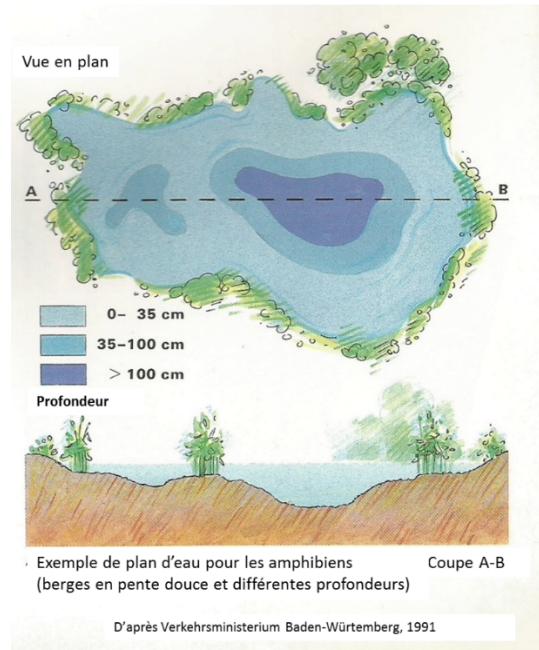
**Nature du substrat** : La nature des sols va influencer l'étanchéité du plan d'eau. Elle conditionne aussi le développement d'invertébrés benthiques dont se nourrissent les larves d'urodèles et l'abondance du périphyton dont se nourrissent les têtards. Lorsque la nature géologique du fond rocheux n'est pas connue, elle sera recherchée dès les premiers travaux. C'est dans les fonds de vallée qu'on a le plus de chances de trouver des épaisseurs d'argile imperméable. Dans le cas des plans d'eau bâchés, un apport d'argile sur une 30 cm d'épaisseur suffit parfois à empêcher les fuites.

**Alimentation en eau** : L'alimentation en eau détermine les aménagements envisagés. On peut souhaiter une alimentation par eaux de pluie essentiellement, eaux de pluie et eaux d'infiltration, eaux de ruissellement d'un cours d'eau raccordé... Une nappe d'eau permanente proche de la surface du sol peut être suffisante pour se passer de tout artifice de création. Il est possible de repérer de tels endroits en parcourant le terrain, les sols y sont constamment gorgés d'eau. Cette alimentation n'est pas sans relation avec la durée de mise en eau (ou l'hydropériode) et la température de même qu'elle influence un certain nombre d'autres paramètres.

**Ensoleillement et température** : Lorsque la mare est peu profonde, les rayons du soleil réchauffent si fortement l'eau au printemps que les algues et les têtards se développent plus rapidement et dans de meilleures conditions. La luminosité est un facteur d'échauffement mais aussi d'oxygénation. Cependant, une production trop élevée d'algues peut entraîner un phénomène d'eutrophisation avec dégradation du surplus de matière organique et consommation d'oxygène dissous dans l'eau.



Mare temporaire créé pour le Crapaud vert  
(Source : © A. Morand)



**pH, teneur en oxygène et salinité** : Le pH et l'oxygène sont rarement des facteurs limitants dans la nature. Les espèces, en particulier les larves, ont besoin d'une oxygénation satisfaisante de l'eau. La plupart d'entre elles présentent une marge de tolérance assez large pour le pH ( $6,5 < \text{pH} < 10$ ). Les variations journalières de température et d'oxygène, d'autant plus accusées par suite du faible volume du plan d'eau, rendent difficile l'évaluation du pH en milieu naturel. Enfin, il est bon de rappeler que les amphibiens (pendant le développement embryonnaire et larvaire) ne supportent pas les salinités élevées (en général  $< 4\text{-}5 \text{ g/l NaCl}$ ) même si certaines espèces (comme le crapaud vert) dépasse du double ses valeurs...

**Végétaux aquatiques** : L'introduction de végétaux n'est très souvent pas nécessaire dans la mesure où la colonisation est naturelle et relativement rapide. Plusieurs espèces pionnières profitent de cette situation provisoire (ex. les Characées). L'accélération des phénomènes ou la volonté de conservation d'espèces végétales rares peut motiver des transferts.

**Coexistence avec les poissons** : La présence de poissons peut être liée à plusieurs origines : une connexion directe à un cours d'eau ou lors de crue, l'apport par des particuliers à des fins de loisirs, l'apport naturel par d'autres voies (transport d'œufs via de la végétation aquatique sur les pattes des oiseaux, etc.). Les conditions d'oxygénation, la taille et le caractère plus ou moins temporaire de la mare peut favoriser l'élimination régulière des poissons ou leur régulation à des densités faibles. De même, la présence d'herbier aquatique dense constitue autant de micro habitats favorables aux larves des amphibiens particulièrement sujettes à la prédation par les poissons !

**Gestion et entretien du plan d'eau** : La dégradation rapide de la qualité des eaux (eutrophisation) et les processus d'atterrissement confèrent à ce type de milieu une espérance de vie faible. Dans de nombreuses situations, l'excès d'éléments nutritifs peut provenir de la décomposition de matériaux organiques (feuilles mortes, etc.). Les engrais agricoles, les éléments toxiques des eaux pluviales s'ajoutent à ces apports naturels. La restauration de la qualité de l'eau et la gestion des niveaux d'eau sont d'une importance cruciale pour la viabilité du site et des populations. Il est donc recommandé de ne pas connecter les mares créées à des drains ou ruisseaux qui peuvent recevoir beaucoup d'éléments riches en MO.

## Annexe 4 - Mesures « E, R, C » : quelques éléments de coût

| Type de mesures                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Contexte                                                                                                                                         | Fourchette de prix (unitaire) en € (HT)                                | Principaux facteurs de variabilité et commentaires                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EVITER</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                  |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Fermeture de route et installation de panneaux préventifs</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <i>Si et seulement si une déviation aisée de la circulation est possible et si le tronçon de route fermé ne comporte pas d'habitation ou peu</i> | Panneaux : 100-500 €                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>quantités</li> <li>conception/fournisseur</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| <b>REDUIRE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                  |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Dispositif (ou opération) de sauvetage temporaire</b><br>= barrières / seaux / piquets)                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Lorsque la configuration le permet (accotement suffisamment large, peu de chemins d'accès latéraux...</i>                                     | 1 000 - 5 000 €<br>Hors main d'œuvre salariée ou bénévole (en général) | <ul style="list-style-type: none"> <li>fournisseur et type de matériaux</li> <li>quantité (linéaire à équiper)</li> </ul>                                                                                                                                                    |
| <b>Dispositif permanent</b> (batrachoduc ou crapauduc)<br><i>Lorsque la configuration des lieux le permet (topographie, accotement de la route suffisamment large, longueur raisonnable des traversées sous chaussée...) et lorsque le corridor de déplacement des amphibiens est suffisamment étroit et bien délimité le long de la voie à équiper...</i> |                                                                                                                                                  |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Avant projet sommaire, étude préalable à une assistance à maîtrise d'ouvrage, étude de faisabilité, etc.                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                  | 10 000 - 20 000 €                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maître d'ouvrage</li> <li>Données et connaissances antérieures disponibles</li> <li>Objectifs</li> </ul>                                                                                                                              |
| Barrière collectrice (Fourniture + pose)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                  | 100 - 200 € ml                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>matériaux</li> <li>quantités (linéaire à équiper)</li> </ul>                                                                                                                                                                          |
| Traversée sous chaussée (Fourniture + pose) –<br>(Exemple d'ouverture « tunnel » = 1,2/1,5 m²)                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                  | 300 - 550 € ml                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>matériaux</li> <li>quantités (linéaire à équiper)</li> <li>dimension</li> <li>profondeur</li> </ul>                                                                                                                                   |
| Petits aménagements (système d'évacuation des eaux, fosses d'entonnement, barrières canadiennes, etc.)                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                  | 5 000 - 10 000 €                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>quantités (linéaire à équiper)</li> <li>type</li> </ul>                                                                                                                                                                               |
| Entretien (quelques journées en début de chaque saison de reproduction)                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                  | 2 000 - 3 000 €                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>type et coût de la main d'œuvre</li> <li>quantité (linéaire à entretenir)</li> </ul>                                                                                                                                                  |
| Suivi de l'efficacité                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                  | 10 000 - 20 000 €                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Objectifs/précisions du suivi sur quelques années</li> </ul>                                                                                                                                                                          |
| <b>COMPENSER</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                  |                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Création d'habitats aquatiques</b><br>(mares de substitution ou d'accompagnement)                                                                                                                                                                                                                                                                       | <i>Le(s) nouveau(x) site(s) doit(vent) assurer l'ensemble des conditions favorables aux amphibiens, à minima équivalent à l'ancien</i>           | 30 - 100 € m²                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>question du foncier</li> <li>savoir-faire</li> <li>quantités</li> <li>dimension</li> <li>imperméabilisation</li> <li>si intégré à un chantier ou non (léger surcoût si en surplus)</li> <li>autre rôle (ex. mare incendie)</li> </ul> |
| <b>Création d'habitats d'hiver et d'été</b><br>(refuge hivernal, prairies ou territoire de chasse et de croissance)                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                  | 100 - 500 € m²                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>question du foncier</li> <li>savoir-faire</li> <li>quantités</li> <li>types</li> </ul>                                                                                                                                                |

© 2019 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires.

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination et suivi d'édition › Cerema Infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia.

Mise en page › Cerema Infrastructures de transport et matériaux

Illustration couverture › Crapaud commun (Bufo bufo), traversant une route de nuit, a peu de chance de s'en sortir vivant - Source : © H. Coffre

ISBN : 978-2-37180-328-2

ISSN : 2417-9701

#### **Éditions du Cerema**

Cité des mobilités

25 avenue François Mitterrand

CS 92803

69674 Bron Cedex

Pour commander nos ouvrages › [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

Pour toute correspondance › Cerema - Bureau de vente - 2 rue Antoine Charial - CS 33927 - 69426 Lyon Cedex 03

ou par mail › [bventes@cerema.fr](mailto:bventes@cerema.fr)

**[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr) › Nos publications**



## La collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

### Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre

Les infrastructures de transport terrestres (ITT) font courir 2 risques majeurs aux amphibiens : la fragmentation (disparition, diminution, dégradation et isolement des surfaces d'habitats favorables, extinction des petites populations) et la mortalité directe par les collisions. Divers dispositifs associés aux mesures « Eviter, Réduire, Compenser » (ERC) sont destinés à éviter l'impact ou le supprimer, atténuer ou réduire ces risques ou tenter de compenser les dommages.

Après un rappel des principales caractéristiques biologiques des amphibiens et des menaces qui pèsent sur ce groupe, le présent ouvrage précise les enjeux de protection et les impacts des ITT, en particulier les routes. Il présente les dispositifs temporaires et permanents de protection des amphibiens, en particulier les « crapauducs » (ou « batrachoduc »), et les principes de conception.

Les méthodes de dénombrement, les mesures d'accompagnement, l'entretien et le suivi de l'efficacité de ces mesures, la pérennisation des corridors rétablis (politiques foncières) et quelques estimations de coût sont également abordés.

Cet ouvrage s'adresse principalement aux concepteurs de ces installations et aux gestionnaires d'infrastructures mais également à tous les autres acteurs qu'ils appartiennent à des structures associatives ou institutionnelles intéressées et impliquées dans l'initiative et la mise en œuvre de ces mesures.

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Gratuit  
ISSN : 2417-9701