

« Les dis-services liés à la grenouille rieuse dans les mares et étangs »



Thèse de Bachelor présentée par :

Cécile DONATI

pour l'obtention du titre Bachelor of Science HES-SO en Gestion de la Nature

Août 2020

Répondant HEPIA

Beat Oertli, professeur HES

Conseiller Scientifique

Beat Oertli, professeur HES

Responsable de la filière

Gestion de la Nature

Patrice Prunier

Photo de couverture : *Pelophylax* sp., © RTS

Sauf mention contraire, les figures et tableaux sont de source personnelle. Merci de respecter les droits d'auteur.

Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor HES en Gestion de la Nature.

L'étudiant assume la responsabilité du travail et accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. Par contre, les conclusions et les recommandations qu'il y formule, sans préjuger de leur valeur, n'engagent ni les responsabilités de l'auteur, ni celles du répondant HEPIA, ni celles du conseiller scientifique, des experts et de HEPIA.

« J'atteste avoir réalisé seule le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. »

Fait à Genève, le 21 août 2020

Cécile DONATI

Remerciements

Pour leur disponibilité, leur assistance et leurs recommandations avisées pendant la réalisation de ce travail de Bachelor, je désire remercier tout particulièrement :

- Beat Oertli, répondant HEPIA et conseiller scientifique, pour son implication et son aide précieuse apportées tout au long du présent travail, ainsi que
- Marine Decrey, assistante HES, pour les mêmes raisons.

Je souhaite également remercier toutes les personnes ayant contribué d'une façon ou d'une autre à l'accomplissement du présent travail de Bachelor:

- Eliane Demierre, laborantine, pour l'extraction et le tri des données issues du projet Marville ;
- David Scinto, assistant HES, pour sa disponibilité ;
- Bertrand Verdan, maître adjoint en charge de la section Parcs et jardins du centre horticole de Lullier, Stéphanie Fedele, secrétaire de filière, Tiphaine Bussy-Blunier, cheffe de projet à l'Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN), et Clarisse Di Rosa, présidente de l'association « La Maison du Parc », pour m'avoir délivré leur autorisation quant à la pose d'appareils de mesure ;
- David Grimardias, adjoint scientifique HES, pour son aide supplémentaire en statistiques ;
- Le Service des espaces verts (SEVE) pour m'avoir facilité l'accès au site du Jardin de la Paix ;
- Jean-Pierre Masclet, responsable des Jardins du Cœur, pour m'avoir autorisé à visiter le site ;
- Louissette Chabloz, bibliothécaire, pour ses précieux conseils dans la recherche d'ouvrages et documents ;
- Toutes les personnes enquêtées qui ont bien voulu m'accorder quelques minutes de leur temps ;
- Matthieu Richter, Yves Donati, Françoise Donati, Antoine Bauwens, Romain Mühlemann, Antoine Halvick, Adrienne Sordet, Yvan Tang, Léo Méroth et Sara Pagano, pour leur aide précieuse et indispensable s'agissant des mesures du niveau sonore ;
- Alix Jornot pour son aide s'agissant d'ArcGis ;
- Mes ami.e.s et camarades de la salle C5 à Lullier (Alix Jornot, Sophie Komaromi, Léo Méroth, Olivier Boschung, David Bippus, Antoine Lamotte, Davide Telari, Alexandre Federici) pour leur soutien, leurs conseils avisés et leur accompagnement pendant de longues journées et soirées ;
- Françoise Donati et Yves Donati, pour leur relecture, leur soutien et leurs précieux encouragements.

Résumé

Le présent travail de Bachelor s'inscrit dans le cadre du projet « Conforto » qui vise à promouvoir des plans d'eau urbains multi-usages par la mise en avant des bénéfices écosystémiques de ces « installations » et la limitation des désagréments. Ceux-ci tiennent compte de la grenouille rieuse et des dis-services qu'elle peut engendrer.

Espèce invasive, elle est actuellement présente dans de nombreuses régions de Suisse romande et menacerait certaines espèces d'amphibiens indigènes. De plus, ses coassements très sonores peuvent parfois être ressentis comme une profonde nuisance par les citoyens vivant à proximité de plans d'eau.

Ce travail de Bachelor s'est donc concentré sur la grenouille rieuse et l'évaluation 1) de ses impacts sur la biodiversité, 2) de la perception des riverains et promeneurs sur la grenouille rieuse en ville, 3) des émissions et immissions sonores générées en juin-juillet 2020 et 4) de mesures de mitigation des nuisances liées à la grenouille rieuse. Ainsi, a été réalisée l'étude 1) des données sur la biodiversité de 94 mares du canton de Genève (collectées lors du projet Marville de 2011 à 2013), 2) sociale au moyen d'un questionnaire, 3) d'une sélection de 6 mares et étangs (4 à Genève, 2 à Yverdon) à l'aide de sonomètres et 4) de divers types d'obstacles et des émissions sonores générées par deux populations de grenouilles rieuses de densités différentes.

Les résultats obtenus ont permis de dégager une signification statistique pour quatre des six groupes étudiés. Cela a abouti à la mise en évidence d'une relation positive entre la présence de grenouilles rieuses et la biodiversité et a permis de conclure que la grenouille rieuse n'a pas d'impact négatif évident sur la biodiversité des plans d'eau qu'elle occupe. L'existence d'inconvénients liés aux coassements des grenouilles rieuses a été mentionnée par 33% des promeneurs contre 69% pour les riverains. Ainsi, si l'espèce n'est pas notablement dépréciée par les promeneurs, la majorité des riverains y voit une source d'inconvénients et plus d'un tiers d'entre eux éprouve du dérangement. Les niveaux sonores émis ont atteint plus de 90 dB(A). La valeur en dB(A) des immissions mesurées à 200 mètres est en moyenne diminuée de moitié par rapport aux valeurs correspondantes aux émissions. Les coassements des grenouilles rieuses génèrent donc des niveaux sonores importants à l'émission, mais les immissions restent quant à elles, objectivement, supportables. Les résultats ont également permis de démontrer que des mesures de mitigation et d'adaptation, comme la mise en place d'obstacles sur le chemin de propagation du son et la réduction de la densité des populations de l'espèce, sont efficaces dans la limitation des niveaux sonores qu'elle génère. Finalement, une démarche de sensibilisation de la population peut être proposée en vue de faciliter son acceptation vis-à-vis de la grenouille rieuse et de ses coassements plus particulièrement.

Mots clés : grenouille rieuse, espèces invasives, impact sur la biodiversité, nuisances sonores, mares et étangs urbains, nature en ville

Abréviations

CDB	Convention sur la diversité biologique
CSCF	Centre Suisse de Cartographie de la Faune
DAISIE	Delivering Alien Invasive Species In Europe
DGE-BIODIV	Direction générale de l'environnement/Biodiversité et paysage
DGNP	Direction générale de la nature et du paysage
EEE	Espèce exotique envahissante
EMPA	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche
EPCN	European Pond Conservation Network
GHRA – LPO	Groupe Herpétologique Rhône-Alpes – Ligue pour la Protection des Oiseaux
HES-SO	Haute école spécialisée de Suisse occidentale
IBEM	Indice de Biodiversité des Etangs et Mares
OCAN	Office cantonal de l'agriculture et de la nature
OCEau	Office cantonal de l'eau
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OPB	Ordonnance sur la protection contre le bruit
SBS	Stratégie Biodiversité Suisse
SEVE	Service des espaces verts
SFA-GABE	Société Française d'Acoustique – Groupe d'Acoustique du Bâtiment et de l'Environnement
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
VLP-ASPAN	Association suisse pour l'aménagement national

Table des matières

Déclaration.....	iii
Remerciements	iv
Résumé.....	v
Abréviations	vi
Table des matières.....	vii
Liste des tableaux	ix
Liste des figures.....	ix
1. Introduction.....	1
2. Etat de la connaissance : des services écosystémiques et dis-services à la grenouille rieuse	3
2.1. Services écosystémiques et dis-services liés aux mares et étangs	3
2.2. Espèces exotiques envahissantes	4
2.3. La grenouille rieuse	6
2.3.1. Présentation de l'espèce.....	6
2.3.2. Confusions possibles.....	6
2.3.3. Distribution en Suisse	6
2.3.4. Statut en Suisse.....	7
2.3.5. Ecologie et habitat	7
2.3.6. Impacts sur la biodiversité	7
2.3.7. Nuisances sonores	9
2.3.8. Mesures de mitigation et d'adaptation des nuisances liées à la grenouille rieuse.....	9
3. Matériel et méthodes	12
3.1. Site d'étude : les mares et étangs de Genève et d'Yverdon-les-Bains.....	12
3.1.1. Impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité aquatique	12
3.1.2. Perception de la population à l'égard de la grenouille rieuse et niveaux sonores générés par ses coassements.....	12
3.2. Impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité aquatique des mares du canton de Genève	13
3.2.1. Source des données.....	13
3.2.2. Analyse de la base de données	14
3.3. Perception de la population à l'égard des grenouilles rieuses	14
3.3.1. Recueils d'opinions	14

3.3.2.	Analyse des données.....	15
3.4.	Mesure du niveau sonore généré par les coassements des grenouilles rieuses	16
3.4.1.	L'application <i>NoiseCapture</i> : récolte et analyse des données	16
3.4.2.	Les sonomètres : récolte et analyse des données	18
4.	Résultats	20
4.1.	Impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité des mares du canton de Genève.....	20
4.1.1.	Distribution des richesses taxonomiques	20
4.1.2.	Odonates	21
4.1.3.	Gastéropodes	21
4.1.4.	Coléoptères	21
4.1.5.	Amphibiens.....	21
4.1.6.	Plantes aquatiques	21
4.1.7.	Moustiques	21
4.2.	Perception des grenouilles rieuses et de leurs coassements par les promeneurs et riverains	22
4.3.	Niveau sonore émis par le chant des grenouilles rieuses et perçu par la population	25
4.3.1.	Niveau sonore généré par les grenouilles rieuses.....	25
4.3.2.	Propagation du son en champ libre.....	27
4.3.3.	Simulation de la propagation du son en champ libre	27
4.3.4.	Propagation du son en présence d'obstacles.....	30
4.3.5.	Atténuation du niveau sonore par différents types d'obstacles.....	34
4.3.6.	Variation temporelle des émissions sonores nocturnes.....	36
4.3.7.	Mesures en continu des émissions et immissions sonores nocturnes....	37
4.3.8.	Comparaison des émissions sonores nocturnes entre deux populations de grenouilles rieuses de différentes densités.....	38
5.	Discussion.....	39
6.	Conclusion et perspectives.....	46
7.	Bibliographie.....	47
	Annexes	52

Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques écologiques de la grenouille rieuse, selon Meyer et al., 2009	7
Tableau 2 Mesures de gestion permettant de limiter la présence de la grenouille rieuse dans les mares et étangs	11
Tableau 3 Tableau de contingence pour les présences et absences des grenouilles rieuses et moustiques (Test de khi-deux ; $p=0,557$ ($p>0,05$) ; ns (non significatif))	21
Tableau 4 Simulation des niveaux sonores (dB(A)) maximums calculés selon les valeurs de référence et mesurés sur le terrain dans des situations sans et avec obstacles en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau et nombre d'habitations touchées par ces niveaux sonores	29
Tableau 5 Niveaux sonores maximums, diminution du niveau sonore et différence entre le niveau sonore relevé et de référence en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau	31
Tableau 6 Tranches horaires pour lesquelles des niveaux sonores de 80 dB(A) et 60 dB(A) ont été atteints ou dépassés.....	36

Liste des figures

Figure 1 Services écosystémiques produits par les hydrosystèmes.....	3
Figure 2 Grenouille rieuse	6
Figure 3 Schéma des différents croisements possibles et de leur descendance avant l'introduction de la grenouille rieuse.....	8
Figure 4 Echelle de couleur représentative d'un gradient de niveau sonore et traduisant un niveau acceptable (bleu à vert) jusqu'à problématique (jaune à rouge)	17
Figure 5 Distribution des richesses taxonomiques d'Odonates, de Gastéropodes, de Coléoptères, d'Amphibiens et de plantes aquatiques en présence (N=59 mares) et absence (N=35 mares) de grenouilles rieuses.	20
Figure 6 Animaux les plus appréciés (6a) et les moins appréciés (6b) dans les mares et étangs par les promeneurs et riverains.....	22
Figure 7 Avantages et inconvénients mentionnés spontanément à la création de plans d'eau à proximité du domicile par les promeneurs et riverains.....	23
Figure 8 Inconvénients liés aux mares et étangs selon les promeneurs et riverains...	23
Figure 9 Dérangement et non dérangement vis-à-vis des coassements des grenouilles rieuses.....	24
Figure 10 Contribution des coassements des grenouilles rieuses au bien-être des promeneurs et des riverains.....	24
Figure 11 Existence d'inconvénients liés aux coassements des grenouilles rieuses...	24
Figure 12 Impact des coassements des grenouilles rieuses sur le sommeil des riverains (N=16).....	25
Figure 13 Moments de la journée où les coassements des grenouilles rieuses occasionnent du dérangement pour les riverains (N=6).....	25

Figure 14 Niveau sonore maximum généré par les coassements des grenouilles rieuses à différentes distances par rapport au bord de 5 mares et étangs urbains.....	26
Figure 15 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport à 4 plans d'eau et sans obstacles.....	27
Figure 16 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord de l'étang du parc des Franchises et en présence d'obstacles.....	32
Figure 17 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord du bassin du Jardin de la Paix et en présence d'obstacles.....	32
Figure 18 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord de la mare des Jardins du Coeur et en présence d'obstacles.....	33
Figure 19 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord de la mare de l'avenue des Sciences et en présence d'obstacles.....	33
Figure 20 Influence de divers types d'obstacles sur l'atténuation du son.....	34
Figure 21 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses avant et après un obstacle de type bâtiment (21a), bosquet (21b), mur (21c), haie (21d) et mur associé à une haie (21e).....	35
Figure 22 Variation temporelle du niveau sonore émis par une population de densité élevée (étang du parc des Franchises, dans la nuit du 08 au 09.07.2020) et une population de densité faible (mare du centre horticole de Lullier, dans la nuit du 02 au 03.07.2020)	36
Figure 23 Nombre d'évènements dont les niveaux sonores $\geq$ à 80 dB(A) (27a) et $\geq$ 60 dB(A) (27b) et niveaux sonores maximums (en dB(A)) relevés du 07.07 au 15.07.2020 au bord de l'étang du parc des Franchises	37
Figure 24 Comparaison du niveau sonore enregistré en continu dans la nuit du 01.07 au 02.07.2020 dans le bâtiment en préfabriqué (immissions ; à 55 mètres) et au bord de la mare de Lullier (émissions).....	37

1. Introduction

L'urbanisation et la densification du milieu urbain existant représentent des outils essentiels pour limiter l'expansion de l'espace habitable sur un territoire non extensible, pour réduire l'importance des déplacements liés à l'éloignement du logement et du lieu de travail ainsi que pour répondre aux besoins d'une population en constante augmentation.

Cependant, ceci s'accompagne de désagréments qui peuvent être vivement ressentis en termes de baisse de qualité de vie : bruit soutenu et continu, accumulation des calories par les bâtiments, absence d'espace en général et de détente en particulier, ... Dans ce contexte, la population accorde de plus en plus d'importance à la mise en place d'espaces urbains écologiques, notamment en raison des services écosystémiques que ces espaces procurent (Gaston, 2010). En bref, amener de la « verdure et de la nature » en ville, l'organiser et l'équilibrer pour la rendre plus vivable.

Entre autres aménagements, de nombreux plans d'eau, mares et étangs, peuvent être planifiés en contexte urbain (Oertli & Parris, 2019). S'ils présentent des qualités recherchées en termes d'apport de fraîcheur, d'évacuation de chaleur, d'atténuation du bruit routier, les plans d'eau urbains peuvent aussi être source de nuisances, dénommées « dis-services » (selon Lyytimäki & Faehnle, 2009), telles que par exemple la présence de moustiques ou d'espèces envahissantes. Ainsi, pour que la population riveraine soutienne la création de tels écosystèmes dans son environnement habituel, il est nécessaire d'identifier ces dis-services et de disposer (le cas échéant) des moyens de les limiter préalablement à la mise en place de ces milieux aquatiques. L'objectif de ce travail est d'évaluer les potentiels dis-services liés à la présence de la grenouille rieuse, *Pelophylax ridibundus* (Pallas 1771), en particulier aux niveaux de la biodiversité des mares et étangs et du ressenti de son chant sonore pendant sa période de reproduction par les habitants riverains de ces mêmes mares et étangs.

Le projet « Conforto » (*Conforto – Des Bassins Aquatiques Urbains Multiusages*, 2020) de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO), réalisé en partenariat avec l'Office cantonal de l'eau (OCEau) et dans lequel s'inscrit le présent travail, a pour objectif de promouvoir des plans d'eau urbains multi-usages en garantissant un confort de vie acceptable par la population urbaine (*Conforto – Des Bassins Aquatiques Urbains Multiusages*, 2020). Cette problématique est donc au cœur de ce projet.

La grenouille rieuse introduite en Suisse entre 1920 et 1950 est considérée comme une espèce indésirable et envahissante (Frossard & Oertli, 2015; Wittenberg, 2006). Importée en Suisse à des fins de recherche et également à des fins culinaires, elle a par la suite développé des populations viables et a proliféré (KARCH, 2020; Frossard & Oertli, 2015).

Actuellement, on la retrouve dans de nombreuses régions de Suisse romande, dont Genève où elle est présente dans 43% des mares urbaines du canton (Oertli, Frossard & Ilg, 2014). Sa présence avérée depuis plusieurs décennies a eu comme impact la diminution, voire la disparition, de certaines espèces d'amphibiens indigènes, comme c'est le cas pour la grenouille verte ou grenouille comestible, *Pelophylax kl. esculentus* (Linnaeus, 1758) à Genève et en Valais (Ryser, Borgula, Fallot, Kohli & Zumbach, 2002; Thiébaud & Dändliker, 2008).

Outre la menace qu'elle représente pour les espèces indigènes, le chant très sonore de la grenouille rieuse est parfois ressenti comme une profonde nuisance par les citoyens vivant à proximité de ces points d'eau. Des plaintes et autres moyens juridiques ont d'ores et déjà été utilisés de la part des personnes incommodées en vue de réduire ces nuisances (KARCH, 2020).

Il est dès lors compréhensible que la création de nouveaux plans d'eau urbains se heurte à la réticence des acteurs concernés (Balazard et al., 2016). Pour pallier cela, il est nécessaire de quantifier, anticiper et lutter contre les potentielles nuisances, sonores et écologiques, engendrées par la grenouille rieuse dans les mares et étangs.

Les objectifs principaux du présent travail sont les suivants :

- Evaluer l'impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité des mares et étangs ;
- Evaluer l'appréciation de riverains et promeneurs à l'égard de la grenouille rieuse en milieu urbain ;
- Quantifier et qualifier les émissions et immissions sonores générées par la grenouille rieuse dans des mares et étangs urbains ;
- Evaluer et discuter de différentes mesures de mitigation et d'adaptation des nuisances liées à la grenouille rieuse.

Concernant les mesures de mitigation et d'adaptation, des objectifs secondaires concernent notamment l'évaluation de l'atténuation du bruit liée (i) à la présence d'obstacles ou (ii) à la réduction de la taille des populations de grenouilles rieuses.

Afin d'atteindre ces objectifs, les données obtenues pour la biodiversité de 94 mares du canton de Genève lors du projet Marville (2011-2013) seront analysées. De plus, une enquête par questionnaire auprès d'une cinquantaine de personnes et l'étude de 6 cas seront menées.

2. Etat de la connaissance : des services écosystémiques et dis-services à la grenouille rieuse

2.1. Services écosystémiques et dis-services liés aux mares et étangs

Les services écosystémiques peuvent simplement être définis comme étant « les avantages que la population retire des écosystèmes. » (Mainka, MacNeely, Jackson & Devitre, 2005). Selon l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2012), ces services sont « fournis par des éléments de la biodiversité, seuls ou en interaction, sans lesquels la vie humaine serait impensable et qui contribuent au bien-être des êtres humains. ».

Ne suscitant encore que peu d'intérêt il y a de cela quelques dizaines d'années, les services écosystémiques ont depuis peu gagné en notoriété auprès des populations urbaines. Par conséquent, celles-ci demandent souvent à accorder une place plus importante à la nature en ville, afin de pouvoir bénéficier de ces services (Bourdeau-Lepage & Vidal, 2014; Boutefeu, 2005; Shapiro & Báldi, 2014).

Les mares et étangs sont parfois nombreux en contexte urbain, notamment en raison des services écosystémiques qu'ils pourvoient aux habitants (fig. 1) (Oertli et al., 2019; Oertli & Parris, 2019).

Ces plans d'eau urbains participent à l'accueil de la biodiversité (Oertli et al., 2014). Habitat, mais également source de nourriture et d'eau, ils bénéficient à bon nombre d'espèces animales et végétales (Direction générale de l'environnement/Biodiversité et paysage (DGE-BIODIV), 2018).

Services de support (ou de soutien)	Services de régulation
- Formation des sols (rétention des sédiments, accumulation de la matière organique) - Cycle des éléments nutritifs (stockage, recyclage, transformation et acquisition des éléments nutritifs) - Habitat pour les espèces animales (habitats pour de nombreuses espèces, notamment les oiseaux migrateurs) - Productivité primaire (assimilation et accumulation de l'énergie et de nutriments par les organismes vivants) - Photosynthèse (production d'oxygène nécessaire à la plupart des êtres vivants) - Cycle de l'eau (circulation de l'eau essentielle pour les organismes vivants)	- Régulation du climat (production/captage de gaz à effets de serre, pluviométrie) - Régulation hydrologique (stockage et relargage, alimentation des nappes) - Purification et traitement des eaux - Régulation de l'érosion et de la sédimentation, stockage de sédiments - Régulation des risques naturels (inondations, tempêtes) - Régulation biologique : entretien de bio-auxiliaires et régulation d'espèces nuisibles ou envahissantes
Services d'approvisionnement	Services à caractère socio-culturel
- Ressources alimentaires (poissons, coquillages, gibier d'eau, fruits et graines, fourrures et peaux) - Fibres et matériaux divers (bois, tourbe, fourrages, roseaux) - Ressources biochimiques et génétiques (médicaments, biocides) - Approvisionnement en eau* (domestique, agricole, aquacole, industrielle) - Granulats et autres ressources minérales**	- Services spirituels, esthétiques et religieux (mythes, cultes, création artistique, valeur hédonique, valeur d'existence d'espèces ou d'habitats) - Services récréatifs et de bien-être (détente, loisirs aquatiques **, tourisme, pêche et chasse récréative) - Éducation (classes d'eau, classes de mer)

Figure 1 Services écosystémiques produits par les hydrosystèmes

(Source : Maughan, 2014, reproduit et modifié d'après Morardet, 2009 et Amigues & Chevassus-au-Louis, 2011)

Les mares et étangs urbains ont également une importance non négligeable concernant les aspects sociaux (loisir, paysage, etc.) et hydrologiques (régulation hydrique, épuration des eaux, etc.) (Frossard & Oertli, 2015).

Ainsi, ces milieux jouent non seulement un rôle écologique, mais aussi culturel et économique et, en milieu urbain tout particulièrement, ils constituent un lien fort entre la population et la nature. Les services écosystémiques rendus par les mares et étangs urbains, comme le captage important de CO₂ et la procuration d'îlots de fraîcheur, présentent des qualités recherchées dans le contexte du changement climatique (European Pond Conservation Network (EPCN), 2009).

Les dis-services peuvent se définir comme étant « les fonctions écosystémiques qui sont perçues négativement pour le bien-être humain » (Lyytimäki & Faehnle, 2009).

Selon Maughan (2010), les dis-services sont « très souvent occultés par l'enthousiasme lié à la protection de la biodiversité mais aussi par les attentes soulevées de villes durables ». Ils peuvent cependant avoir de fortes répercussions sur la manière dont les espaces de nature urbains sont mis en place, utilisés et valorisés (Lyytimäki, Petersen, Normander & Bezák, 2008).

Parmi les principaux dis-services engendrés par les mares et étangs urbains, et de manière générale par les espaces naturels présents dans ce contexte, on retrouve les nuisances olfactives et sonores, le développement d'allergies, ou encore la transmission de zoonoses (Maughan, 2014). La présence et la prolifération de certaines espèces jugées indésirables et envahissantes peuvent également en faire partie (Clergeau, 1996, 2011; Maughan, 2010). Ainsi, la présence de moustiques, l'aspect sécuritaire (noyade) et le coassement des grenouilles résultant de la présence de plans d'eau sont fréquemment considérés comme des nuisances en milieu urbain (Oertli & Frossard, 2013).

La perception de ces services écosystémiques et dis-services liés aux mares et étangs est généralement subjective. Elle diffère selon les individus : là où certains relèvent un bienfait, d'autres y voient une nuisance (Lyytimäki et al., 2008).

2.2. Espèces exotiques envahissantes

La définition suivante d'espèce exotique envahissante¹ (EEE), végétale ou animale, a été retenue : « une espèce exotique dont l'introduction ou la propagation s'est révélée, après évaluation des risques, constituer une menace pour la biodiversité et les services écosystémiques, et qui peut également avoir des effets négatifs sur la santé humaine ou sur l'économie » (Parlement européen et Conseil de l'Europe, 2013).

¹ Espèce exotique envahissante est synonyme d'espèce invasive.

Selon Gaston et Spicer (2004), à l'échelle mondiale, les EEE sont actuellement considérées comme l'une des principales grandes menaces pour la biodiversité (cité dans Oertli & Frossard, 2013), et, selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (2014), les « EEE seraient la deuxième cause d'extinctions documentées d'espèces et la troisième menace à venir pour les espèces en danger d'extinction » (cité dans Sarat, Dutartre, & Mazaubert, 2015). Les EEE peuvent avoir des impacts non négligeables sur les populations d'espèces indigènes et leur survie. Ces impacts peuvent être de nature directe (pollution génétique, prédation) et/ou indirecte (compétition pour les ressources) (Groupe Herpétologique Rhône-Alpes – Ligue pour la Protection des Oiseaux (GHRA - LPO) Rhône-Alpes, 2015).

C'est en contexte urbain que l'impact des EEE introduites est le plus important : les populations indigènes présentes s'y maintiennent déjà dans des conditions difficiles, comme la restriction de l'espace disponible ou le manque de ressources (GHRA - LPO Rhône-Alpes, 2015).

Afin de pallier la problématique des EEE, des traités, projets et stratégies ont été mis en place à différentes échelles.

Au niveau international, l'article 8h de la Convention sur la diversité biologique (CDB) vise à empêcher l'introduction, à contrôler ou à éradiquer les espèces exotiques menaçant des écosystèmes, habitats ou espèces (Nations Unies, 1992).

Le projet « Delivering Alien Invasive Species In Europe » (DAISIE) a permis d'inventorier au niveau européen des EEE menaçant les environnements terrestres et aquatiques. Parmi celles-ci, 37 espèces d'amphibiens ont été recensées dont la grenouille rieuse (Life Croaa - Société Herpétologique de France, 2020).

A l'échelle nationale, la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) fixe notamment comme objectif, d'ici à 2020, l'endiguement de « la propagation des espèces exotiques envahissantes susceptibles de provoquer des dommages [...] » (OFEV, 2012). Dès lors, la Suisse met en place une stratégie relative aux EEE, découlant du rapport « Espèces exotiques en Suisse » (Wittenberg, 2006), dans laquelle sont fixés des objectifs et mesures visant à résoudre cette problématique (OFEV, 2016).

Au niveau du Grand Genève plus particulièrement, un plan d'action transfrontalier a été initié. Parmi les EEE identifiées, certaines sont considérées comme prioritaires en termes de gestion, dont la grenouille rieuse (annexe 1) (Charollais, Caillet-Bois, Droz, & AGRIDEA, 2014). En effet, elle fait partie des trois espèces considérées comme indésirables présentes dans les mares urbaines du canton de Genève, avec la sous-espèce méridionale du triton lobé, *Lissotriton vulgaris meridionalis* (Boulenger, 1882), et le triton crêté italien, *Triturus carnifex* (Laurenti, 1768) (Frossard & Oertli, 2015).

2.3. La grenouille rieuse

2.3.1. Présentation de l'espèce

La grenouille rieuse (fig.2), de la famille des *Ranidae*, est un anoure de grande taille. Le mâle mesure environ 10 cm et la femelle de 12 à 15 cm. La pigmentation du corps est variable : généralement gris et olive avec des tâches foncées et des stries sur les cuisses. Une ligne vert clair peut être présente au milieu du dos (Meyer, Zumbach, Schmidt, & Monney, 2009). Le coassement de la grenouille rieuse est puissant et



Figure 2 Grenouille rieuse
(Source : KARCH, 2020)

saccadé (Meyer et al., 2009). L'espèce chante principalement pendant la période de reproduction (avril-juin) et ce de jour comme de nuit. Lorsque les grenouilles sont regroupées, les coassements peuvent alors être plus soutenus et continus (KARCH, 2020).

2.3.2. Confusions possibles

Faisant partie du complexe des grenouilles « vertes », la grenouille rieuse est souvent difficile à distinguer de la grenouille verte² et de la grenouille de Lessona ou petite grenouille verte d'Europe, *Pelophylax lessonae* (Camerano, 1882), toutes deux étant des espèces indigènes de Suisse. Les pontes et les juvéniles de la grenouille rieuse sont difficiles à déterminer visuellement. Adulte, elle se différencie principalement par sa taille et par des différences de coloration (sacs vocaux par exemple). Le critère le plus sûr pour les différencier est alors le chant, mais seules les analyses génétiques permettent une identification définitive (Meyer et al., 2009; Pelloté et al., 2019)

2.3.3. Distribution en Suisse

Le centre de l'aire de répartition de la grenouille rieuse se trouve en Europe de l'est (Grossenbacher, 1988). Selon Grossenbacher (1988), à la fin des années 80 plus de 190 populations avaient été dénombrées au niveau suisse, ce qui démontrait déjà une bonne acclimatation de l'espèce. La présence d'individus était alors constatée dans 9 cantons, dont Genève, Valais et Vaud (Grossenbacher, 1988). Selon les données tabulaires du Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) - karch, l'espèce a été recensée dans 19 cantons entre 2008 et 2019 (Fivaz, 2020). C'est en Suisse romande

² La grenouille verte est un hybride de la grenouille de Lessona et de la grenouille rieuse (KARCH, 2020).

que l'on compte le plus de populations de grenouilles rieuses (annexe 2) (KARCH, 2020).

2.3.4. Statut en Suisse

La grenouille rieuse est une espèce introduite et invasive (Meyer et al., 2009; OFEV, 2005). Importée d'Europe centrale et des Balkans principalement à des fins gastronomiques et pour la recherche scientifique, elle s'est totalement acclimatée en Suisse, notamment romande (KARCH, 2020; Frossard & Oertli, 2015; GHRA - LPO Rhône-Alpes, 2015; OFEV, 2005; Pelloté et al., 2019). Cette espèce représenterait toutefois une menace pour les espèces indigènes principalement en termes de concurrence, prédation et hybridation (KARCH, 2020; Frossard & Oertli, 2015; Grossenbacher, 1988; OFEV, 2005).

2.3.5. Ecologie et habitat

Le tableau ci-dessous regroupe quelques informations générales concernant l'écologie de la grenouille rieuse (tab. 1).

Tableau 1 Caractéristiques écologiques de la grenouille rieuse, selon Meyer et al., 2009

Hivernation	Hivernation sous l'eau
Reproduction	Dès fin avril (point culminant en mai-juin) accompagnée d'appels sonores
Alimentation	Têtard : principalement algues, plantes et matière organique morte
	Adulte : invertébrés principalement (insectes, mollusques, vers) et vertébrés de petite taille, dont certains amphibiens (grenouilles vertes indigènes par exemple)

La grenouille rieuse apprécie particulièrement les plans d'eau eutrophes, vastes, de plus de 50 cm de profondeur et bien ensoleillés (Oertli & Frossard, 2013). On retrouve cependant cette espèce dans divers types d'habitats : mares et étangs, lacs et rives, forêts alluviales et bras morts, forêts de feuillus, gravières et marnières (Meyer et al., 2009).

2.3.6. Impacts sur la biodiversité

La grenouille rieuse est une espèce opportuniste et vorace dont le régime alimentaire est grandement influencé par la disponibilité en proies (Ciçek & Mermer, 2006). Ainsi, certaines études ont pu démontrer que l'espèce se nourrit de proies appartenant à différents groupes taxonomiques : végétaux, Diptères, Culicidés principalement

(moustiques), Coléoptères, Odonates, Gastéropodes et Amphibiens³ (Bogdan, Covaciu-Marcov, Cupsa, Cicort-Lucaciu & Sas, 2012; Ciçek & Mermer, 2006; Covaciu-Marcov, Sas, Cup, Bogdan & Lukács, 2005; Mollov, Boyadzhiev & Donev, 2010; Yousaf, Mahmood, Rais & Qureshi, 2010).

Non seulement la grenouille rieuse concurrence et se nourrit d'autres espèces d'amphibiens, représentant alors une terrible prédatrice et posant ainsi une menace sur les effectifs des populations indigènes, mais elle engendre également des problèmes par son hybridation avec des espèces indigènes. En effet, l'hybridogénèse mène à un appauvrissement génétique des espèces indigènes, permettant ainsi à la grenouille rieuse de les supplanter (Meyer et al., 2009). Lors de la formation des cellules sexuelles chez la grenouille verte, qui, pour rappel, est un hybride de la grenouille de Lessona et de la grenouille rieuse, le patrimoine génétique de la grenouille de Lessona est détruit : les gamètes ne comprennent alors que les gènes de la grenouille rieuse. Lorsque deux grenouilles vertes s'accouplent, leur descendance ne reçoit ainsi que le patrimoine génétique de la grenouille rieuse. Cette descendance n'est cependant pas viable (fig. 3). La grenouille verte dépend ainsi, pour sa reproduction et sa pérennité, de la grenouille de Lessona (KARCH, 2020; Meyer et al., 2009).

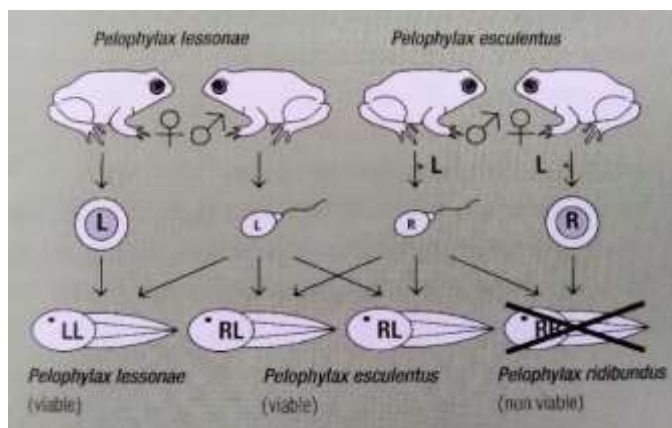


Figure 3 Schéma des différents croisements possibles et de leur descendance avant l'introduction de la grenouille rieuse
P. lessonae = Grenouille de Lessona, *P. kl. esculentus* = Grenouille verte, *P. ridibundus* = Grenouille rieuse
 (Source : Meyer et al., 2009)

Le patrimoine génétique arrivé avec l'introduction des grenouilles rieuses en Suisse a permis de rendre la plupart des descendants des accouplements de grenouilles vertes viables. Ainsi, selon Meyer et al. (2009), l'équilibre entre la grenouille de Lessona et la grenouille verte est fragilisé, car « toutes deux se retrouvent soumises à une concurrence d'origine génétique,

puisque les accouplements de grenouilles vertes engendrent des grenouilles rieuses ». En Suisse, là où les effectifs des populations de grenouilles rieuses sont en augmentation, les effectifs de la grenouille verte et de la grenouille de Lessona sont en diminution (Wittenberg, 2006). A Genève par exemple, la grenouille verte semble avoir été évincée par la grenouille rieuse (Thiébaud & Dändliker, 2008). Pour donner un autre exemple, en France, plus particulièrement en Rhône-Alpes, la grenouille rieuse est la

³ Les différentes études ont montré qu'en termes de fréquence et proportion, les Coléoptères et les Diptères représentaient une part plus importante que les autres groupes dans l'alimentation des grenouilles rieuses (Bogdan et al., 2012; Ciçek & Mermer, 2006; Covaciu-Marcov et al., 2005; Mollov et al., 2010; Yousaf et al., 2010).

principale source d'inquiétude pour les grenouilles « vertes » indigènes (GHRA - LPO Rhône-Alpes, 2015).

2.3.7. Nuisances sonores

Comme évoqué au chapitre 2.3.1, le coassement des grenouilles rieuses est puissant et peut être extrêmement soutenu et continu lorsque les individus mâles sont regroupés en période de reproduction et ce de jour comme de nuit. Les coassements peuvent alors durer plusieurs semaines et importuner les personnes vivant à proximité des points d'eau (KARCH, 2020). Plusieurs cas ont été conduits en justice et ont fait l'objet d'articles de journaux comme par exemple en Dordogne ou dans le district du Rheintal à St-Gall (ATS, 2016; ATS & JOP, 2016; Fontaine, 2016). À Massongex par exemple, en Valais, les habitants d'un quartier avaient fait opposition à un projet d'extension d'une zone humide, notamment en raison des nuisances sonores que cela aurait pu engendrer (Communauté d'études pluridisciplinaire sàrl, 2019). Selon certaines sources, les coassements produits par les grenouilles rieuses pourraient atteindre un maximum de 63 à 90 décibels (annexe 3) (ATS, 2016; ATS & JOP, 2016; Fontaine, 2016).

Ces nuisances sonores restent cependant très subjectives (OFEV, 2014). En effet, selon Meilland (2018), le coassement des grenouilles n'est pas perçu comme une nuisance sonore pour le public, tandis que selon Oertli et Frossard (2013), ces coassements sont souvent considérés comme une nuisance en contexte urbain.

Ainsi, si certains affectionnent les coassements des grenouilles, d'autres alors peuvent se sentir très incommodés (KARCH, 2020).

Selon la législation suisse, les coassements engendrés par les grenouilles rieuses sont classés dans la catégorie « Bruits quotidiens ». L'annexe de l'Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) ne fournissant ni valeurs limites d'exposition ni méthodes d'évaluation pour ce type de bruit, le caractère nuisible du chant des grenouilles rieuses fait alors l'objet d'une appréciation au cas par cas (Association suisse pour l'aménagement national (VLP-ASPAN), 2016; OFEV, 2014).

2.3.8. Mesures de mitigation et d'adaptation des nuisances liées à la grenouille rieuse

Différentes mesures de gestion peuvent être mises en place pour limiter la présence de la grenouille rieuse dans les mares et étangs, tant en contexte urbain que naturel. Elles peuvent être directement appliquées aux populations de l'espèce (déplacer les individus) ou, de manière générale, à l'habitat (suppression de la végétation, comblement de l'habitat par exemple). Ces mesures sont regroupées dans le tableau ci-dessous (tab. 2). Outre ces mesures de gestion, des moyens techniques peuvent être mis en place. L'installation d'obstacles sur le chemin de propagation du son (écran/paroi antibruit, mur,

buttes en terre, etc.) engendre une modification de la direction de l'onde sonore émise (Aballéa, 2004). Ainsi, lorsque celle-ci rencontre un obstacle, elle se comporte de diverses manières (transmission, absorption, réflexion et diffraction). Ainsi, les caractéristiques combinées de différents types d'obstacles présentent une efficacité plus ou moins importante sur l'atténuation du niveau sonore (Aballéa, 2004; Acoustic Technologies S.A., 2011; Bruxelles Environnement, 2019; Lamancusa, 2009; Maekawa, 1968; Zürcher et al., 2014). Ces caractéristiques comprennent :

- La hauteur (plus un obstacle est haut plus le niveau sonore sera atténué à l'arrière)
- L'épaisseur (plus un obstacle est épais plus le niveau sonore sera atténué à l'arrière)
- Le type de revêtement de l'obstacle (absorbant ou réfléchissant)
- La distance par rapport à la source (plus la source est proche de l'obstacle plus le niveau sonore sera atténué à l'arrière)
- La fréquence du bruit émis (les hautes fréquences⁴ sont mieux atténuées que les basses fréquences)

Concernant les obstacles naturels incluant des végétaux plus particulièrement, la végétation n'aurait qu'une faible incidence sur l'atténuation du niveau sonore⁵ comparé à des obstacles de type mur ou bâtiment par exemple (Aballéa, 2004; Bruxelles Environnement, 2019; Lamancusa, 2009).

Des moyens techniques peuvent également être directement appliqués aux bâtiments soumis aux immissions, par exemple isolation des fenêtres et murs, mise en place d'une toiture ou de parois végétalisées, traitement des façades, organisation des logements, limitation des façades exposées, etc. (Aballéa, 2004; Acoustic Technologies S.A., 2011; VLP-ASPAN, 2016; Atienza, Balez & Remy, 2009; BRUITPARIF, 2020; Bruxelles Environnement, 2019; Ferrini, Fini, Mori & Gori, 2020; Lamancusa, 2009; Maekawa, 1968; Zürcher, Frank & Compagnon, 2014).

⁴ Les coassements des grenouilles se situent dans les hautes fréquences (OFEV, 2014).

⁵ Selon certaines sources, seul un obstacle végétal de grande densité et/ou largeur (100 mètres environ) pourrait potentiellement procurer une protection semblable à celle d'un écran antibruit (Aballéa, 2004; Bruxelles Environnement, 2019; Lamancusa, 2009).

Tableau 2 Mesures de gestion permettant de limiter la présence de la grenouille rieuse dans les mares et étangs
(/ = pas d'informations et/ou remarques)

Mesures		Effet	Remarques	Sources
Gestion des niveaux d'eau	Pratiquer un assec (3 mois minimum) afin d'empêcher la reproduction (estival) ou l'hivernation (automne-hiver) des individus de grenouille rieuse	/	/	DGE-BIODIV, 2018 ; Direction générale de la nature et du paysage (DGNP) & ECOTEC Environnement SA, 2012a, 2012b; Grimal, 2014
	Garder un faible niveau d'eau (moins de 40-50 cm) dans le plan d'eau ou faire varier le niveau au cours de l'année	/	/	Grimal, 2014; Thiébaud, Barbu & Burgmeister, 2013
	Abaissier le niveau de l'eau en hiver afin d'empêcher l'hivernation des individus de grenouille rieuse (eau gelée jusqu'en profondeur)	/	/	Grimal, 2014; Thiébaud et al., 2013
Création de structures défavorables à l'espèce et modification des structures déjà en place	Favoriser les petits plans d'eau superficiels, temporaires et dynamiques qui peuvent s'assécher pendant l'année	/	/	DGNP & ECOTEC Environnement SA, 2012a, 2012b; Thiébaud et al., 2013; Ryser et al., 2002
	Fractionner les étendues d'eau importantes favorables à la grenouille rieuse (construire une petite butte au milieu du plan d'eau par exemple)	/	/	DGNP & ECOTEC Environnement SA, 2012a, 2012b; Thiébaud et al., 2013; Ryser et al., 2002
	Clôturer l'étang (muret, palissade en bois par exemple)	/	/	Coassement, nuisances sonores des amphibiens, 2020
Diminution de l'attractivité du plan d'eau	Supprimer la végétation flottante	À moyen terme	/	Coassement, nuisances sonores des amphibiens, 2020
	Installer un petit jet d'eau pour agiter la surface de l'étang	À moyen terme	- Le jet peut occasionner un léger bruit	Coassement, nuisances sonores des amphibiens, 2020
	Déplacer les individus de grenouille rieuse dans un autre biotope	Effet immédiat	- Nécessite une autorisation du service cantonal de protection de la nature - Les individus doivent être relâchés dans un biotope adéquat - Il n'est pas nécessaire de capturer tous les individus : s'il ne reste que quelques mâles, le niveau sonore sera sensiblement réduit - Mesure non durable : s'il y a eu une colonisation spontanée, alors une nouvelle colonisation se fera tôt ou tard	Coassement, nuisances sonores des amphibiens, 2020
Mesures directes sur l'espèce ou les biotopes	Comblir les plans d'eau occupés par la grenouille rieuse	Effet immédiat	- Destruction complète de l'habitat	Coassement, nuisances sonores des amphibiens, 2020; ATS, 2016; ATS, & JOP, 2016
	Stabilisation et gestion des habitats en faveur des espèces d'amphibiens indigènes	/	/	OFEV, 2011

3. Matériel et méthodes

3.1. Site d'étude : les mares et étangs de Genève et d'Yverdon-les-Bains

3.1.1. Impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité aquatique

Concernant l'aspect biodiversité, les mares étudiées lors du projet Marville sur le canton de Genève entre 2011 et 2013 ont été retenues pour cette étude. Pour plus de détails sur ce projet, se référer à Oertli et al. (2014). Au total, ce sont 94 plans d'eau qui ont été étudiés lors de ce projet afin d'y optimiser la biodiversité et de minimiser les éventuelles nuisances (annexe 4) (Oertli et al., 2014). L'impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité aquatique n'a cependant pas été évalué et c'est ce que cette partie du travail se propose de faire. Ces plans d'eau sont distribués en quatre groupes représentatifs d'un gradient d'urbanisation : milieu urbain (40 mares), suburbain (13 mares), périurbain (20 mares), rural (29 mares) (Oertli et al., 2014).

3.1.2. Perception de la population à l'égard de la grenouille rieuse et niveaux sonores générés par ses coassements

Dans le cadre du projet « Conforto », 10 plans d'eau urbains (8 à Genève et 2 à Yverdon) ont été sélectionnés afin d'en quantifier une sélection de services écosystémiques ainsi que les dis-services tels que les nuisances sonores dues aux grenouilles rieuses (*Conforto – Des Bassins Aquatiques Urbains Multiusages*, 2020). Sur ces 10 plans d'eau, 5 ont finalement été retenus pour le présent travail.

- *Étang du parc des Franchises (GE)*

Cet étang d'agrément d'une superficie totale de 6'500 m² est inclus dans un parc public (*Conforto – Des Bassins Aquatiques Urbains Multiusages*, 2020; Teligos, 2020) et représente le plus grand biotope humide de la zone urbaine du canton de Genève. En 2017, ce site a été restauré dans le but de « renforcer les valeurs en biodiversité » et d'assurer l'accès à cette zone de nature pour la population citadine (Teligos, 2020).

- *Mare du chemin des Préjins*

Située sur la commune du Grand-Saconnex, cette mare d'une surface d'environ 200 m² (*Swiss Geoportal*, 2020) a été aménagée sur une parcelle oubliée lors de la vente de la propriété Sarrasin. Créée notamment pour compenser la construction de l'actuel Palexpo, elle est alors incluse dans un espace dédié à la nature. D'aspect naturel, elle a pour vocation de favoriser la biodiversité (Ville du Grand-Saconnex & Pro Natura, 2014).

- Bassin du Jardin de la Paix

Situé dans un parc public, le bassin du Jardin de la Paix sert de plan d'eau d'agrément. Construit en longueur pour une surface d'environ 330 m² (Swiss Geoportal, 2020), il présente un aspect artificiel et comprend des éléments décoratifs (pont) ainsi qu'une petite fontaine située à une de ses extrémités. Ce plan d'eau présente un intérêt pour le climat, notamment comme îlot de fraîcheur (Conforto – Des Bassins Aquatiques Urbains Multiusages, 2020).

- Mare de l'avenue des Sciences

Située dans le canton de Vaud à Yverdon-les-Bains, la mare de l'avenue des Sciences se trouve dans un environnement immédiat bâti avec des bâtiments industriels et des bureaux principalement. La zone située au nord de cette mare est actuellement en chantier. Une roselière entoure la majorité de la mare qui possède une surface d'environ 4'650 m² (Swiss Geoportal, 2020).

- Mare des Jardins du Cœur

Également située dans le canton de Vaud à Yverdon-les-Bains, cette mare d'une surface d'environ 230 m² (Swiss Geoportal, 2020) est incluse dans un jardin de type participatif où les usagers favorisent des techniques culturelles respectueuses de la nature. Localisée entre les lignes de chemin de fer et un environnement immédiat bâti, la mare des Jardins du Cœur constitue un biotope permettant de favoriser et de mettre en avant la biodiversité (Association des Cartons et Jardins du Cœur, 2020).

- Mare du centre horticole de Lullier

A ces 5 plans d'eau s'ajoute celui de Lullier. Il a été sélectionné pour des raisons pratiques (facilité d'accès au plan d'eau et aux locaux adjacents) afin d'y réaliser une étude de cas. Ce biotope humide d'une surface d'environ 582 m² (Swiss Geoportal, 2020) est situé en zone rurale et végétalisé avec des espèces indigènes et exotiques (annexes 5, 6 et 7).

3.2. Impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité aquatique des mares du canton de Genève

3.2.1. Source des données

Au vu du temps imparti pour réaliser le présent travail de Bachelor, il était délicat d'effectuer un diagnostic de la biodiversité complet et représentatif et ce pour plusieurs plans d'eau. La récolte des données s'est donc faite par le biais de l'extraction et de la récupération des informations contenues dans la base de données Marville. Projet mené de 2011 à 2013, il a permis de réaliser une étude approfondie de la biodiversité d'une centaine de plans d'eau (Oertli et al., 2014). Ainsi, parmi les données obtenues lors de ce projet, celles utiles au présent travail sont :

- La présence et absence de grenouilles rieuses ;
- Le nombre de taxons relevés pour les groupes des Odonates, Gastéropodes, Coléoptères, Amphibiens et plantes aquatiques
- La présence et absence de Culicidés (moustiques).

Ces informations ont été extraites et triées par Mme Demierre et M. Oertli, et ont été transmises par ce dernier.

3.2.2. Analyse de la base de données

L'analyse de la base de données Marville devait permettre d'évaluer si la présence de la grenouille rieuse impacte les différents groupes mentionnés précédemment. Sur la base des données reçues, des comparaisons entre les plans d'eau avec et sans grenouilles rieuses ont été effectuées :

- Pour la richesse spécifique de cinq groupes taxonomiques : Odonates, Gastéropodes, Coléoptères, Amphibiens et plantes aquatiques ;
- Pour la présence/absence de Culicidés.

Des box plots ont été réalisés pour les 5 groupes mentionnés ci-dessus afin de visualiser la distribution des richesses taxonomiques en présence et absence de grenouilles rieuses.

Pour le groupe des Culicidés, le nombre et la proportion de plans d'eau correspondant à chacun des cas de figure possibles (présence et/ou absence de grenouilles rieuses et de moustiques) ont été déterminés.

Pour procéder à la comparaison des moyennes des deux séries de données (biodiversité avec et sans grenouilles rieuses), le test de Student a été utilisé, car ces séries sont composées de plus de 30 données. Pour procéder à l'analyse statistique des données concernant la présence/absence de Culicidés, le test de khi-deux a été employé. Le logiciel Minitab a été utilisé pour l'ensemble des tests statistiques.

3.3. Perception de la population à l'égard des grenouilles rieuses

3.3.1. Recueils d'opinions

Une enquête a été menée auprès des riverains et promeneurs rencontrés à proximité des plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix et du chemin des Préjins. Cette enquête a été réalisée sous la forme d'un questionnaire. Cette méthode a été préférée à celle de l'entretien, car elle est moins chronophage.

Selon Fenneteau (2015), la majorité des questions qui composent le questionnaire se voient attribuer des modalités de réponses et « celles qui n'en comportent pas appellent des réponses relativement brèves, un nom ou quelques phrases que les enquêteurs se contentent d'enregistrer sans intervenir ». Les questions ont donc été définies, dont

certaines inspirées de Meilland (2018), avant de commencer les sondages et sont restées inchangées pour toute la durée de ceux-ci. Ainsi, le questionnaire élaboré (annexe 8) était composé de questions fermées, mixtes et une question ouverte, permettant ainsi de laisser plus de liberté d'expression aux enquêtés. Les avantages, inconvénients et contraintes de ces types de questions se trouvent en annexe 9. Une structure en forme de sablier a été employée pour le questionnaire (Fenneteau, 2015) : des questions générales sur les mares et étangs suivies de questions plus spécifiques à la grenouille rieuse⁶ et à ses coassements pour finir sur une question concernant le profil des enquêtés.

L'administration du questionnaire s'est faite en face à face, par prospections de terrains ainsi que par une réunion organisée avec quatre riverains de la mare du chemin des Préjins. Une présentation du sujet et du cadre de l'enquête ainsi que l'annonce de la durée du questionnaire (5 à 7 minutes) et de la préservation de l'anonymat des enquêtés ont précédé chacun des sondages.

3.3.2. Analyse des données

Seules les questions concernant les grenouilles ou les potentielles nuisances sonores qu'elles peuvent engendrer ont été traitées et analysées. Selon Fenneteau (2015), les informations obtenues, après analyse, permettent d'apporter des réponses aux questionnements posés par l'étude. Pour le présent travail, ceux-ci sont les suivants :

- Les coassements des grenouilles rieuses sont-ils perçus comme une forte nuisance par les riverains et/ou les promeneurs ?
- Quelle proportion de riverains ou de promeneurs est dérangée par les coassements des grenouilles rieuses ?
- Quelle proportion de riverains ou de promeneurs apprécie les coassements des grenouilles rieuses ?
- Y a-t-il des divergences d'opinions entre les riverains et les promeneurs vis-à-vis des coassements des grenouilles rieuses ?

Pour le traitement et l'analyse des données, les deux groupes, riverains et promeneurs, ont été distingués. Pour les questions fermées et mixtes, le traitement et l'analyse des informations récoltées ont consisté en une simple représentation graphique (histogramme) représentant le taux, en pourcentage, de chacune des modalités de réponses sélectionnées par les enquêtés. La question ouverte a quant à elle d'abord été traitée par la méthode dite du « post-codage » : cette méthode consiste en une classification regroupant en une douzaine de catégories maximum les réponses proches

⁶ Cette manière de procéder a permis de ne pas tout de suite introduire la grenouille rieuse et les coassements qu'elle génère. Les questions spécifiques à ce sujet ont seulement été posées aux enquêtés ayant mentionné les grenouilles dans une (des) question(s) précédente(s).

(Fenneteau, 2015). Le « post-codage » permet ainsi de synthétiser les réponses obtenues et d'en faciliter l'exploitation. Cependant, il réside toujours une part de subjectivité dans la classification effectuée avec cette méthode (Fenneteau, 2015).

3.4. Mesure du niveau sonore généré par les coassements des grenouilles rieuses

3.4.1. L'application *NoiseCapture* : récolte et analyse des données

L'application pour téléphone Android *NoiseCapture* a été créée dans le but d'effectuer des mesures acoustiques géoréférencées et d'ainsi concevoir « un réseau d'observation du bruit extrêmement dense, [...], permettant de produire des cartes de bruit plus réalistes, intégrant toutes les sources sonores concernées, ainsi que leur dynamique temporelle, sans autres limitations que celles liées aux questions métrologiques et au protocole de mesure » (Picaut et al., 2019). Cette application a été évaluée de manière positive par l'institut de recherche du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (EMPA), missionné par l'OFEV, et respecte les « exigences minimales pour les mesures acoustiques » (Cercle Bruit Suisse, 2020).

Un protocole a été établi (annexe 10) afin de récolter les données permettant de répondre aux objectifs ci-dessous :

- Quantifier et évaluer le niveau sonore maximum émis par les coassements des grenouilles rieuses et reçu par les riverains en l'absence d'obstacles ;
- Quantifier et évaluer le niveau sonore maximum émis par les coassements des grenouilles rieuses et reçu par les riverains en présence d'obstacles ;
- Déterminer l'impact des mesures d'adaptation visant à mettre en place des moyens techniques sur le chemin de propagation du son.

Avant d'effectuer les mesures, les smartphones utilisés ont été calibrés. Le premier a été calibré selon les conseils du service spécialisé de protection contre le bruit du canton de Zürich (*MESURE DU NIVEAU SONORE | NoiseCapture | Android*, 2019). Les suivants ont été calibrés à partir du premier. Les mesures réalisées avec l'application *NoiseCapture* ont été effectuées tous les soirs entre 22 heures et 3 heures du matin et ce du 25 juin au 13 juillet 2020. Les relevés ont été réalisés à deux : une personne au bord du plan d'eau et l'autre à différentes distances.

Les mesures effectuées avec cette application se sont heurtées à plusieurs limites et biais. En fonction du modèle, de l'état et du microphone du smartphone utilisé, les données mesurées peuvent varier (*MESURE DU NIVEAU SONORE | NoiseCapture | Android*, 2019). En outre, les bruits ambiants et parasites ne pouvant pas être totalement évités, ils influent alors les relevés effectués à distance du bord des plans d'eau. Malgré

cela, ce sont les niveaux sonores maximums générés par les coassements des grenouilles qui ont été considérés.

Les données obtenues avec l'application *NoiseCapture* ont été traitées et analysées avec Excel. Les représentations suivantes ont été réalisées :

- Niveaux sonores maximums générés par les coassements des grenouilles rieuses

Les niveaux sonores maximums ont été mesurés en décibels aux différentes distances (0, 25, 50, 100 et 200 mètres) par rapport au bord des plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix, du chemin des Préjins, des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences. Une échelle de couleur représentative d'un gradient d'intensité des niveaux sonores (fig. 4) a été incluse dans la représentation graphique (box plot) ainsi que trois seuils : le seuil d'audition (0 dB(A)), le seuil au-delà duquel la communication devient déficiente (60 dB(A)) et le seuil de risque pour l'audition (80 dB(A)) (Cercle Bruit Suisse, n. d.).

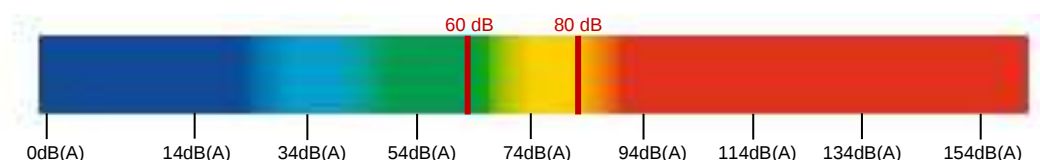


Figure 4 Echelle de couleur représentative d'un gradient d'intensité des niveaux sonores et traduisant un niveau acceptable (bleu à vert) jusqu'à un niveau problématique (jaune à rouge) (Source : SuvaPro, 2009)

- Propagation du son

Le niveau sonore maximum généré par les coassements des grenouilles rieuses variant entre les différentes mesures, les données obtenues en décibels avec l'application ont été transcrites en pourcentage afin d'en faciliter le traitement et l'analyse. Les valeurs relevées au bord des plans d'eau étudiés équivalent toujours à 100% du niveau sonore émis par les coassements des grenouilles rieuses. Ainsi, les données relevées à distance, en décibels, ont été transformées en pourcentage par rapport aux valeurs obtenues au bord des plans d'eau. Plusieurs réplicats pour chaque distance ayant été réalisés (minimum 6), la moyenne des pourcentages calculés pour chacune des distances et les écart-types ont été utilisés afin de réaliser des représentations graphiques de type courbe. Afin de faciliter l'interprétation des résultats, une courbe de référence a été ajoutée à ces représentations. Ces graphiques peuvent être regroupés dans trois catégories :

- Représentation de la propagation du son en champ libre
- Représentation de la propagation du son en présence d'obstacles
- Représentation de l'influence de divers types d'obstacles sur la diminution du son

Pour la deuxième et la troisième catégorie, des icônes représentant le plan d'eau et les obstacles rencontrés sur les transects prédéfinis ont été insérées sur les représentations graphiques.

- Cartes de propagation potentielle du son

Les données obtenues en décibels au bord des plans d'eau et aux différentes distances ont également été utilisées pour créer des cartes de propagation potentielle du bruit. La moyenne des décibels relevés a été retenue afin de définir des cercles concentriques de différents rayons selon la distance concernée. Ces cercles se sont vu attribuer le même code couleur que pour le box plot des décibels maximums (fig. 4) et ce selon les moyennes des décibels correspondantes à chacun des cercles concentriques. Le nombre d'habitations potentiellement touchées par ces niveaux sonores a également été déterminé. Des cartes ont également été réalisées pour simuler la propagation du bruit dans une situation sans obstacles.

3.4.2. Les sonomètres : récolte et analyse des données

Les émissions et immissions générées par les coassements des grenouilles rieuses ont également été mesurées en continu, en décibels, à l'aide de sonomètres professionnels afin d'évaluer notamment :

- la variation temporelle des émissions sonores
- l'impact des mesures de mitigation visant à réduire les densités de populations de grenouilles rieuses.

Deux sonomètres ont été utilisés pour procéder aux mesures (réf. 8852SI) (Moineau Instruments, 2020c). Avant d'effectuer les mesures, des réglages des appareils ont dû être réalisés :

- Mise à jour de la date et l'heure ;
- Choix de l'intervalle : 10 secondes d'intervalle entre la prise des mesures ;
- Choix de la plage de mesure : entre 30 et 130 décibels
- Choix de la pondération fréquentielle : dB(A)⁷
- Choix de la pondération temporelle : FAST⁸

Comme pour l'application *NoiseCapture*, les appareils ont été calibrés avant de procéder aux mesures⁹. Le calibrage a été effectué avec un calibrateur (réf. 0050SI) (Moineau Instruments, 2020a). Ce calibrage a été vérifié et réitéré au besoin à chaque récupération des données, c'est-à-dire tous les 2 à 3 jours environ.

⁷ La courbe d'évaluation A « représente la courbe caractéristique d'écoute de l'oreille humaine » (Moineau Instruments, 2020b).

⁸ La pondération temporelle FAST permet de mesurer un niveau sonore à variation brusque (durée de mesure de 125 ms/mesure) (Moineau Instruments, 2020b).

⁹ Il est à noter que, bien qu'une comparaison directe n'ait pas été effectuée, les valeurs (en dB(A)) mesurées au bord des plans d'eau avec l'application *NoiseCapture* sont supérieures à celles mesurées à l'aide du sonomètre professionnel (fig. 14 et 22).

Les sonomètres ont été posés dans deux sites reflétant des situations contrastées en termes d'immissions : (i) site des Franchises, caractérisé par des immissions très importantes, liées à une très dense population de grenouilles ; (ii) site de Lullier, caractérisé par des immissions faibles, liées à une population de grenouilles peu dense. Ils ont en premier lieu été installés en simultané au centre horticole de Lullier : un au bord de la mare et l'autre dans le bâtiment en préfabriqué (annexe 11). Le premier a été posé du 26 juin au 7 juillet et le second du 25 juin au 13 juillet 2020. L'appareil installé au bord de la mare du centre horticole de Lullier a ensuite été déplacé au bord de l'étang du parc des Franchises (annexe 11). L'appareil a été posé du 7 au 15 juillet 2020. Le sonomètre installé au bord des deux plans d'eau fonctionnant avec des piles, celles-ci ont dû être changées tous les deux jours environ.

L'installation d'un logiciel a été nécessaire pour la récupération des données (date, heure et dB(A)). L'ensemble des données ainsi récupérées ont été retranscrites dans un fichier Excel. Sur cette base, seules les tranches horaires allant de 20 heures du soir à 7 heures du matin ont été retenues, ceci dans le but de limiter les biais liés à diverses sources de bruit comme le chant des oiseaux par exemple.

4. Résultats

4.1. Impact de la grenouille rieuse sur la biodiversité des mares du canton de Genève

4.1.1. Distribution des richesses taxonomiques

Les représentations graphiques ci-dessous (fig. 5) ont permis de visualiser la distribution des richesses taxonomiques en présence et absence de grenouilles rieuses dans 94 mares du canton de Genève de 2011 à 2013. Pour les cinq groupes, aucune relation négative n'est à relever entre la présence de grenouilles rieuses et la biodiversité.

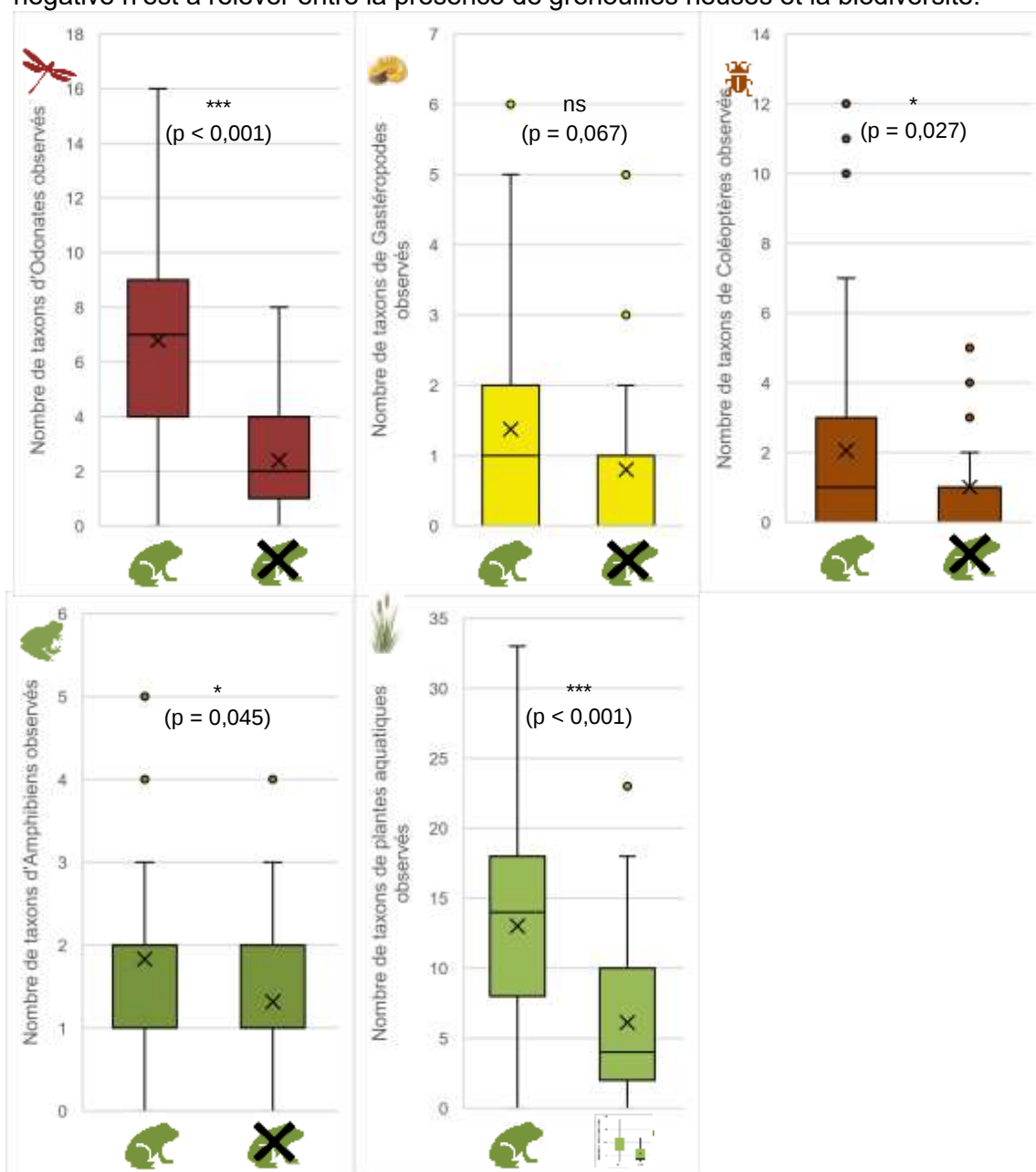


Figure 5 Distribution des richesses taxonomiques d'Odonates, de Gastéropodes, de Coléoptères, d'Amphibiens et de plantes aquatiques en présence (N=59 mares) et absence (N=35 mares) de grenouilles rieuses.

Test de Student (test de T)

* = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$; ns = $p > 0,05$ (non significatif)

Le tableau en annexe 12 regroupe les moyennes et médianes correspondantes au nombre de taxons recensés en présence et absence de grenouilles rieuses pour les groupes des Odonates, Gastéropodes, Coléoptères, Amphibiens et plantes aquatiques.

4.1.2. Odonates

Selon le graphique ci-dessus (fig. 5), la richesse taxonomique des Odonates est plus élevée dans les mares où la grenouille rieuse est présente. La différence est statistiquement très significative ($p < 0.001$).

4.1.3. Gastéropodes

La richesse taxonomique des Gastéropodes est plus élevée dans les plans d'eau où la présence de grenouilles rieuses a été relevée (fig. 5). Il n'existe pas de différence statistique significative ($p = 0.067$). La valeur de p est toutefois à la limite de la signification statistique (0.05).

4.1.4. Coléoptères

La richesse taxonomique des Coléoptères est, là encore, plus élevée dans les plans d'eau où des grenouilles rieuses sont présentes (fig. 5). La différence est statistiquement significative ($p = 0.027$).

4.1.5. Amphibiens

Le nombre de taxons d'Amphibiens recensés est plus élevé dans les mares où la grenouille rieuse est présente (fig. 5). La différence est statistiquement significative ($p = 0.045$).

4.1.6. Plantes aquatiques

Selon le graphique ci-dessus (fig. 5), la richesse taxonomique des plantes aquatiques est plus élevée en présence de grenouilles rieuses. La différence est statistiquement très significative ($p < 0.001$).

4.1.7. Moustiques

La proportion ainsi que le nombre de mares correspondant à chacun des cas de figure ont été déterminés (tab. 3) :

Tableau 3 Tableau de contingence pour les présences et absences des grenouilles rieuses et moustiques (Test de khi-deux ; $p=0,557$ ($p>0,05$) ; ns (non significatif))

	Présence de grenouilles rieuses	Absence de grenouilles rieuses
Présence de moustiques	15% (9 mares)	20% (7 mares)
Absence de moustiques	85% (50 mares)	80% (28 mares)

En se référant à ce tableau, la distribution des données semble visuellement équilibrée, ce qui laisse supposer que les données sont indépendantes. Aucune différence statistique n'a été relevée ($p = 0.55$). Il est alors possible d'affirmer que la distribution des données n'est pas liée à une relation de dépendance : la présence ou l'absence de grenouilles rieuses n'a aucune influence sur celles de moustiques.

4.2. Perception des grenouilles rieuses et de leurs coassements par les promeneurs et riverains

Cinquante-et-une personnes réparties en 26 promeneurs et 25 riverains ont répondu au questionnaire. Les deux premières représentations graphiques permettent d'évaluer la « popularité » des grenouilles rieuses auprès du grand public. Les grenouilles sont appréciées par 24% des riverains et 42% des promeneurs. Elles se retrouvent alors en troisième position pour les riverains et en deuxième position pour les promeneurs des animaux les plus appréciés dans les mares et étangs (fig. 6a). A contrario, seuls 4% des promeneurs n'apprécient pas les grenouilles contre 20% pour les riverains (fig. 6b).

Il a été demandé aux promeneurs et riverains d'évoquer spontanément les raisons pour lesquelles ils seraient favorables ou défavorables à la création de plans d'eau à proximité de leur domicile. Parmi les nombreuses réponses évoquées, 12% des riverains et 4% des promeneurs ont mentionné spontanément les nuisances sonores générées par les grenouilles comme étant un aspect négatif à la présence de mares ou d'étangs proches de chez eux (fig. 7).

Une question ciblée directement sur les inconvénients liés aux mares et étangs, dans laquelle étaient explicitement mentionnées les nuisances sonores liées aux coassements des grenouilles, a été posée. Pour cette question, le pourcentage des promeneurs ayant sélectionné les nuisances sonores reste le même que pour la

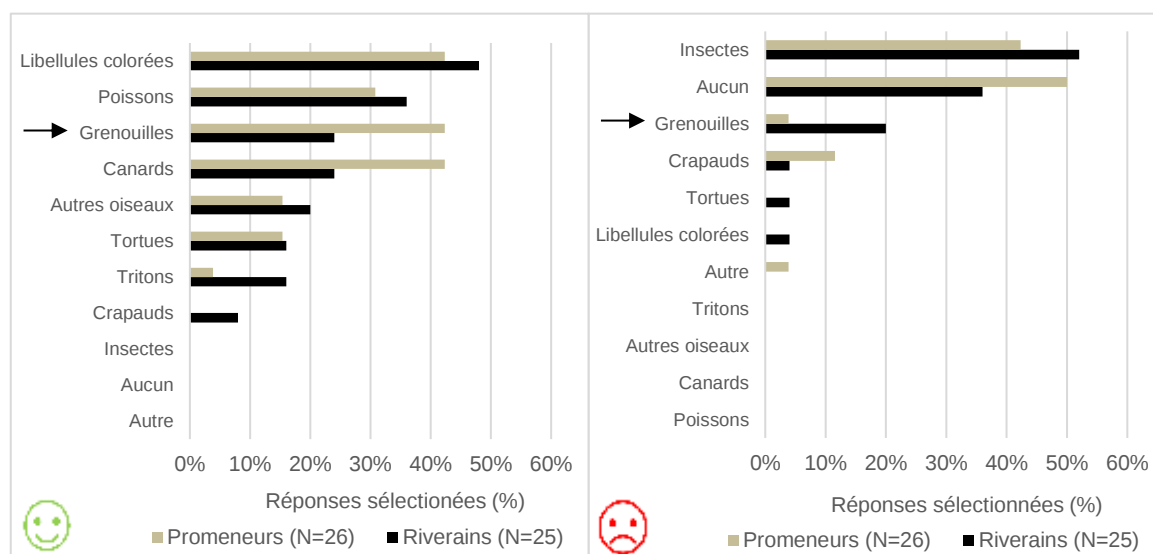


Figure 6 Animaux les plus appréciés (6a) et les moins appréciés (6b) dans les mares et étangs par les promeneurs et riverains

question où elles ont été évoquées spontanément (4%). Pour les riverains, un pourcentage plus élevé (16%) a été observé lorsque les nuisances sonores étaient explicitement incluses dans la question (fig. 8). Les questions suivantes portaient directement sur les coassements des grenouilles rieuses. Sur les 51 personnes sondées, seules 25 (9 promeneurs et 16 riverains) ont sélectionné ou évoqué les grenouilles ou les nuisances sonores qu'elles peuvent engendrer et ont donc répondu à ces questions.

Pour 38% des riverains, les coassements des grenouilles génèrent du dérangement. A contrario, 62% des riverains n'éprouvent aucun dérangement. Pour ceux-ci, les chants des grenouilles leur évoquent la nature ou la tranquillité. Quant aux promeneurs, ce sont 11% qui ressentent du dérangement à l'écoute des grenouilles contre 89% qui semblent ne pas être importunés (fig. 9).

Il a été demandé aux promeneurs et riverains s'ils considéraient que les coassements des grenouilles pouvaient être bénéfiques. Pour les riverains, 56% estiment que ces

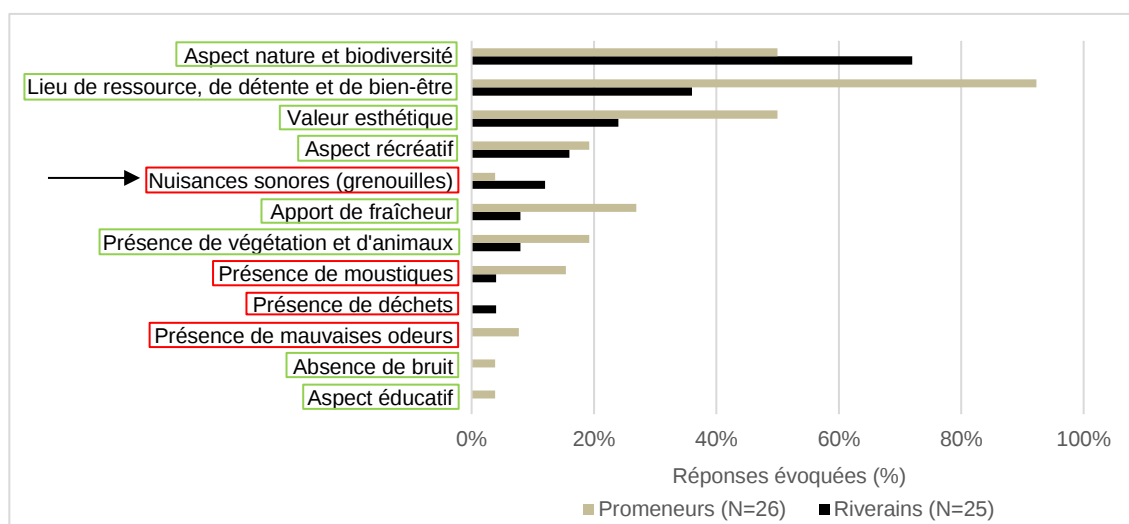


Figure 7 Avantages et inconvénients mentionnés spontanément à la création de plans d'eau à proximité du domicile par les promeneurs et riverains

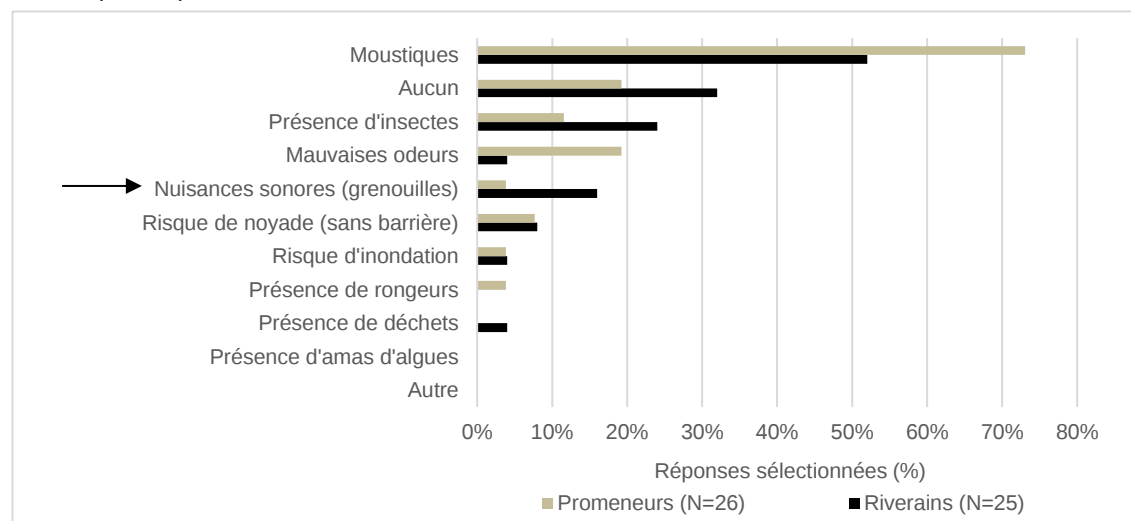


Figure 8 Inconvénients liés aux mares et étangs selon les promeneurs et riverains

chants participent à leur bien-être. Pour les promeneurs, la grande majorité (78%) est du même avis que les riverains (fig. 10).

A ensuite été posée une question concernant l'existence d'inconvénients liés aux coassements des grenouilles. La majorité des riverains (69%) estime que ces

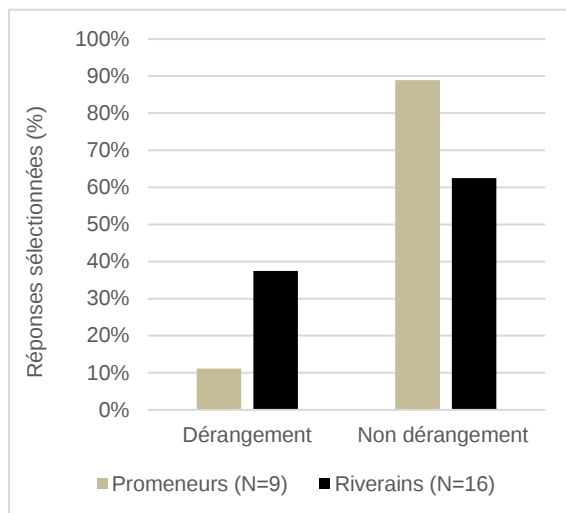


Figure 9 Dérangement et non dérangement vis-à-vis des coassements des grenouilles rieuses

coassements peuvent être source d'inconvénients, tandis que pour les promeneurs, la tendance va à l'inverse : 67% estiment que les chants des grenouilles n'engendrent aucun inconvénient (fig. 11). Les 16 riverains uniquement ont dû se prononcer sur l'impact des coassements de l'espèce sur leur sommeil. Plus de la moitié estime que ces bruits n'ont aucun effet sur leur sommeil (56%). Cependant, 38% d'entre eux considèrent que ces coassements

dégradent leur sommeil et 6% estiment qu'ils l'améliorent (fig. 12). Malgré cela, la nuit reste la période de la journée durant laquelle les riverains (N=6) sont les plus incommodés (fig. 13).

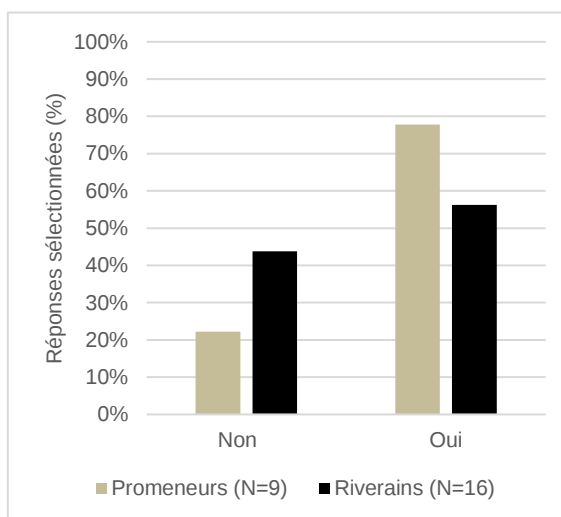


Figure 10 Contribution des coassements des grenouilles rieuses au bien-être des promeneurs et des riverains

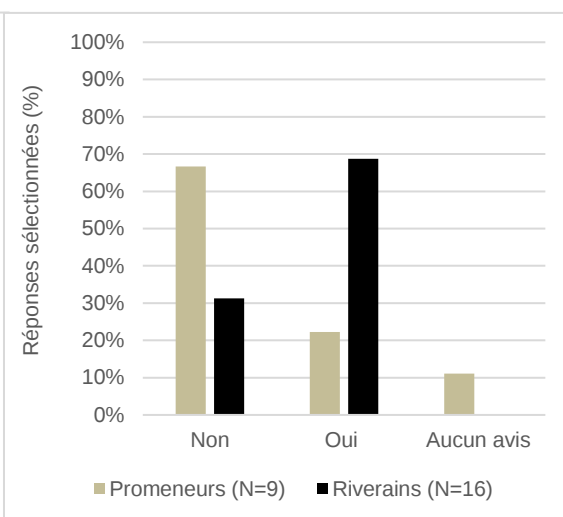


Figure 11 Existence d'inconvénients liés aux coassements des grenouilles rieuses

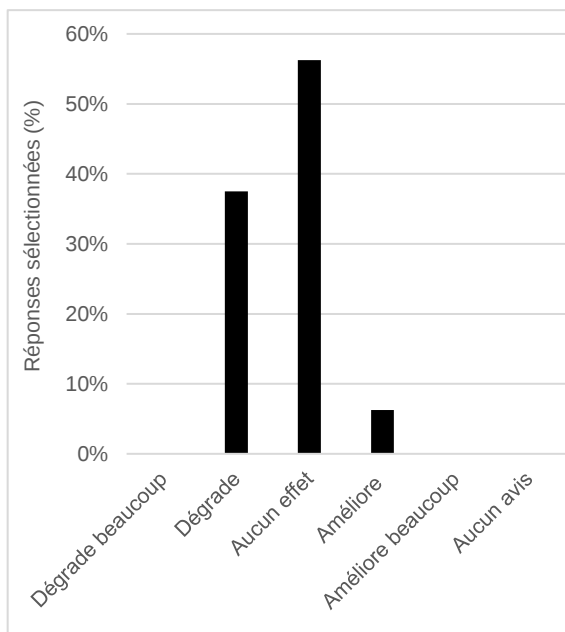


Figure 12 Impact des coassements des grenouilles rieuses sur le sommeil des riverains (N=16)

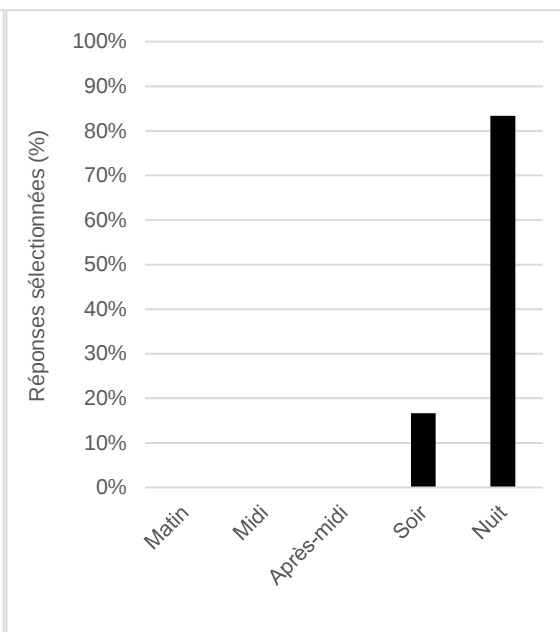


Figure 13 Moments de la journée où les coassements des grenouilles rieuses occasionnent du dérangement pour les riverains (N=6)

4.3. Niveau sonore émis par le chant des grenouilles rieuses et perçu par la population

4.3.1. Niveau sonore généré par les grenouilles rieuses

L'ensemble des niveaux sonores maximums relevés¹⁰ à une distance du plan d'eau de 0, 25, 50, 100 et 200 mètres tout plan d'eau confondu¹¹, excepté celui du centre horticole de Lullier, a été représenté graphiquement par des box plots (fig. 14).

Les valeurs mesurées au bord des plans d'eau (0 mètre) s'élèvent au-dessus des seuils de 80 et 60 dB(A) (seuil de risque pour l'audition et seuil au-delà duquel la communication devient déficiente). Pour les mesures à 25, 50 et 100 mètres, seul le seuil des 60 dB(A) est dépassé. A 200 mètres, les valeurs mesurées n'atteignent aucun des seuils mentionnés. En se basant sur les valeurs moyennes (fig. 14 et annexe 17), la différence entre les données relevées à 0 mètre et à 200 mètres est de l'ordre de 40 dB(A).

¹⁰ L'ensemble des valeurs mesurées sur le terrain avec l'application *NoiseCapture* pour les plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix, des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences se trouvent en annexes 13, 14, 15 et 16.

¹¹ Pour la mare du chemin des Préjins, seules les valeurs en décibels à 0 mètre par rapport au bord du plan d'eau ont été retenues. En effet, les mesures réalisées à 25, 50, 100 et 200 mètres n'étaient pas concluantes en raison du bruit constant généré par l'autoroute et l'aéroport adjacents qui ont alors biaisé les mesures. Pour les mares des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences, les valeurs relevées à 200 mètres n'ont pas été retenues en raison d'un bruit industriel ambiant recouvrant les coassements des grenouilles.

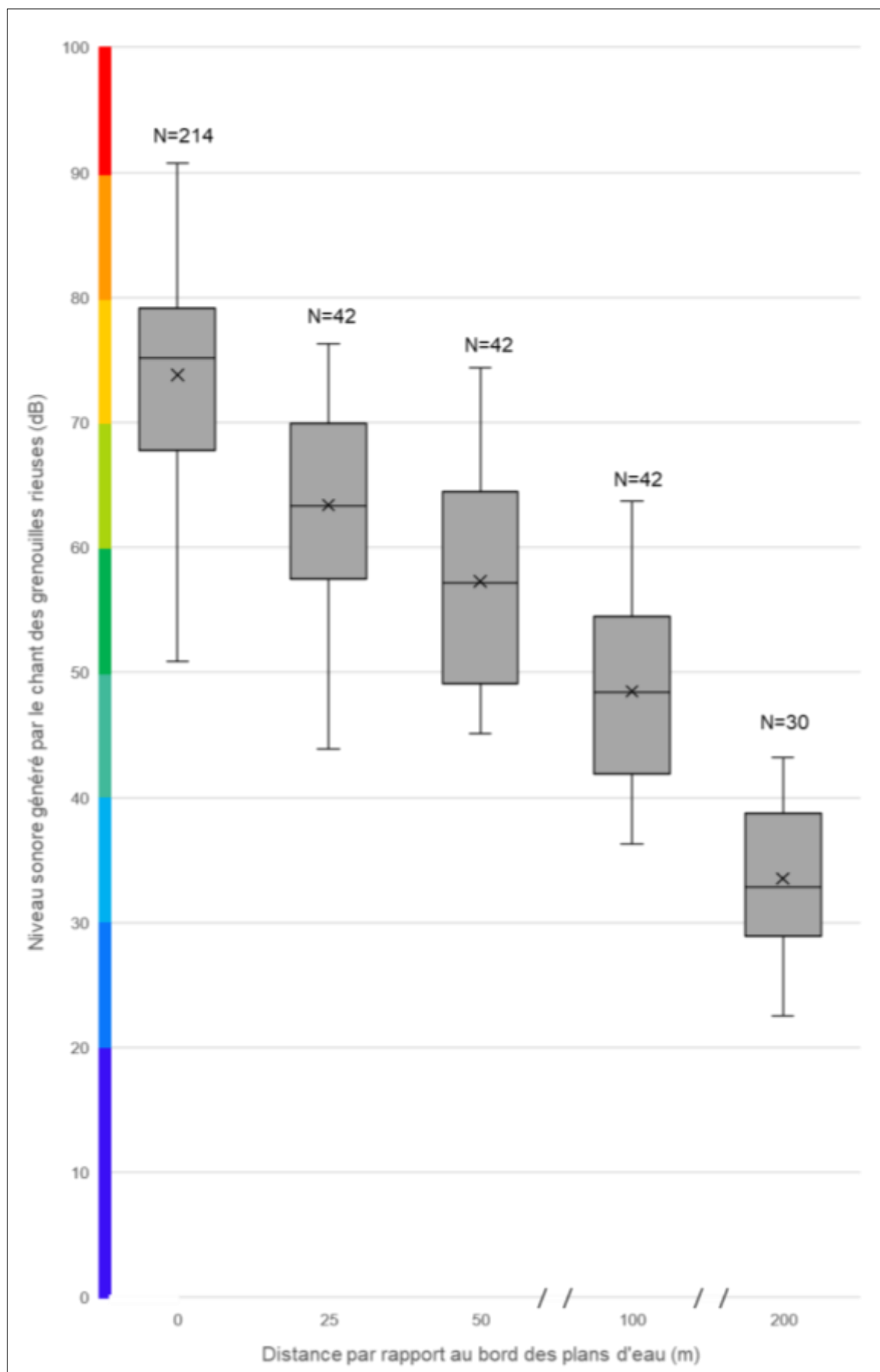


Figure 14 Niveau sonore maximum généré par les coassements des grenouilles rieuses à différentes distances par rapport au bord de 5 mares et étangs urbains (Légende : seuil d'audibilité (0 dB(A)), seuil au-delà duquel la communication devient déficiente (60 dB(A)), seuil de risque pour l'audition (80 dB(A)) ; échelle de couleurs fig. 4)

4.3.2. Propagation du son en champ libre

Les plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix, des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences ont été retenus pour représenter la propagation du son en champ libre (sans obstacle au bruit) (fig. 15). Seule la configuration de l'étang du parc des Franchises a permis d'effectuer l'ensemble des mesures planifiées sans obstacle jusqu'à 200 mètres. L'environnement immédiat des autres plans d'eau a imposé que l'on se limite à 25 voire 50 mètres en raison de la présence d'obstacles situés à ces distances. L'annexe 18 regroupe les moyennes des décibels maximums relevés, le niveau sonore maximum en pourcentage en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau (100%) ainsi que l'atténuation du niveau sonore maximum.

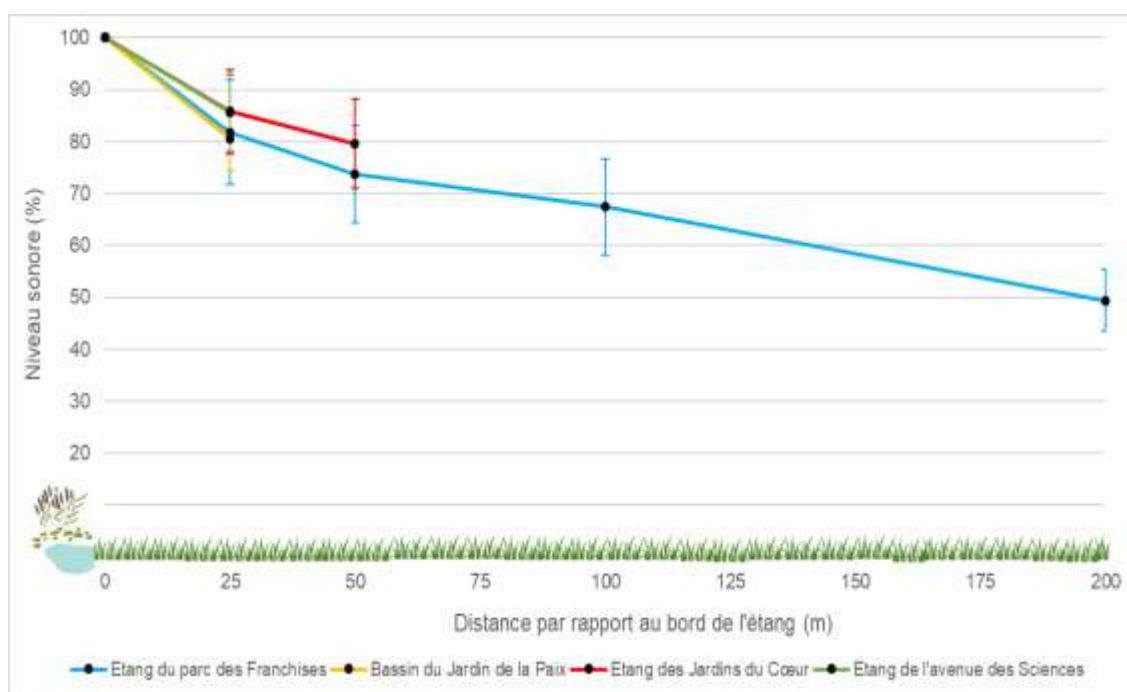


Figure 15 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport à 4 plans d'eau et sans obstacles
Pour rappel, le niveau sonore relevé au bord de l'étang équivaut à 100%. Il était respectivement de 79,1 dB(A), 69,2 dB(A), 78,7 dB(A) et 66 dB(A) pour les plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix, des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences

Les résultats obtenus montrent de légères différences (fig. 15). La diminution du niveau sonore à 25 mètres du bord des plans d'eau est comprise entre 14, 2 et 19,5 %. A 50 mètres, elle est de l'ordre de 20,4 à 26,2% et à 100 mètres, l'unique diminution calculée est de 32,6%. La valeur en dB(A) du niveau sonore mesuré à 200 mètres est atténuée de plus de la moitié (50,6%) par rapport au bord de l'étang (100%).

4.3.3. Simulation de la propagation du son en champ libre

Une simulation de la propagation du son sans obstacles a permis de réaliser des cartes pour les plans d'eau mentionnés ci-dessus ainsi que pour celui du chemin des Préjins¹²

¹² Seul l'étang du parc des Franchises représente une situation réelle et non simulée.

(annexes 19, 20, 21, 22 et 23) et de déterminer les différents niveaux sonores atteignant potentiellement les habitations environnantes recensées dans des rayons correspondants aux distances mesurées (de 0 à 200 mètres). Ces valeurs ont été calculées à partir de valeurs de référence¹³. Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des données obtenues (tab. 4). Si dans la majorité des cas, aucune habitation n'est présente dans un rayon de 50 mètres du bord des plans d'eau, il en est autrement pour la mare du chemin des Préjins où l'espace villa habité commence déjà à 25 mètres. Ces habitations sont exposées à un niveau sonore de 56 dB(A) à 25 mètres et de 50,5 dB(A) à 50 mètres (dans le cas d'une intensité sonore des coassements de 68,4 dB(A)). Pour les autres mares et étangs, les premières habitations se situent à 100 mètres du bord des plans d'eau, voire à 200 mètres pour la mare de l'avenue des Sciences. Les décibels perçus varient de 46,1 et 53,2 dB(A) pour les habitants situés à 100 mètres et de 32,6 à 39,3 dB(A) pour ceux situés à 200 mètres. Pour toutes les habitations incluses dans cette étude, le seuil de risque pour l'audition (80 dB(A)) n'est jamais atteint. En revanche, le seuil au-delà duquel la communication devient déficiente est approché (60 dB(A)) ceci même dans les cas où le seuil de risque pour l'audition est dépassé (comme cela a été observé à de multiples reprises au parc des Franchises et aux Jardins du Cœur).

¹³ Les valeurs de référence choisies ont été fixées d'après les mesures effectuées à l'étang du parc des Franchises. Elles représentent la propagation du son dans une situation en champ libre (sans obstacles).

Tableau 4 Simulation des niveaux sonores (dB(A)) maximums calculés selon les valeurs de référence et mesurés sur le terrain dans des situations sans et avec obstacles en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau et nombre d'habitations touchées par ces niveaux sonores
(Légende : * habitation à 1 logement, ** habitation à 2 logements, *** habitation à 3+ logements, + habitation et activité, EMS établissement médico-social)

Nom du plan d'eau	Distance par rapport au bord du plan d'eau (m)	Référence pour le niveau sonore maximum en pourcentage en fonction de la distance par rapport au bord du plan d'eau (100%)	Décibels calculés en dB(A) selon les valeurs de référence	Moyenne des décibels maximums mesurés lors du travail de terrain $\pm$ l'écart-type (dB(A))	Nombre d'habitations touchées
Etang du parc des Franchises	0	100	79.1	78,9 $\pm$ 3,2	0
	25	81.8	63.8	69,7 $\pm$ 5,9	0
	50	73.8	58.1	64,1 $\pm$ 5,9	0
	100	67.4	53.2	53,4 $\pm$ 3,7 (N=11)	2*
	200	49.4	39.3	27,8 $\pm$ 4,0 (N=11)	1***
					18*
					3**
					5***
					4+
					1EMS
Bassin du Jardin de la Paix	0	100	69.2	69,2 $\pm$ 7,4	0
	25	81.8	56.6	55,1 $\pm$ 7,9 (N=6)	0
	50	73.8	51.1	48,3 $\pm$ 1,6 (N=6)	0
	100	67.4	46.6	40,9 $\pm$ 1,8 (N=6)	3***
	200	49.4	34.2	31,3 $\pm$ 4,2 (N=6)	1EMS
					9*
					13***
Mare des Jardins du Cœur	0	100	78.7	78,7 $\pm$ 9,1	0
	25	81.8	64.4	66,1 $\pm$ 6,6 (N=6)	0
	50	73.8	58.1	60,8 $\pm$ 6,0 (N=6)	0
	100	67.4	53	44,5 $\pm$ 5,1 (N=6)	2***
	200	49.4	38.9	/	8*
					5**
					13***
Mare de l'avenue des Sciences	0	100	66	66,0 $\pm$ 4,3	0
	25	81.8	54	56,5 $\pm$ 3,4 (N=6)	0
	50	73.8	48.7	48,5 $\pm$ 3,0 (N=6)	0
	100	67.4	44.5	41,0 $\pm$ 2,2 (N=6)	0
	200	49.4	32.6	/	3***
Mare du chemin des Préjins	0	100	68.4	/	0
	25	81.8	56		2*
	50	73.8	50.5		2*
	100	67.4	46.1		4*
	200	49.4	33.8		1**
					24*

4.3.4. Propagation du son en présence d'obstacles

Seuls les plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix, des Jardins du Cœur ainsi que de l'avenue des Sciences ont été retenus pour évaluer la propagation du son en présence d'obstacles ¹⁴. Le tableau ci-dessous recense les niveaux sonores maximums (transcrits en pourcentages) relevés et de référence en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau (100%), la diminution en pourcentage des niveaux sonores maximums relevés et de référence, là encore en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau, ainsi que la différence entre le niveau sonore maximum mesuré et celui de référence (tab. 5). De manière générale, la différence en pourcentage entre le niveau sonore maximum relevé (en présence d'obstacles) et celui de référence (en champ libre) tend à diminuer avec l'augmentation de la distance de l'observateur par rapport à la source (le bord des plans d'eau). Ceci ne s'applique pas entre 50, 100 et 200 mètres du bord du bassin du Jardin de la Paix et entre 25 et 50 mètres du bord de la mare des Jardins du Cœur. Après analyse visuelle des représentations graphiques et plus particulièrement des écart-types (fig. 16, 17, 18 et 19), les différences en pourcentage entre le niveau sonore maximum relevé et celui de référence ne sont statistiquement pas significatives, excepté pour les valeurs relevées à 200 mètres par rapport au bord de l'étang du parc des Franchises. Des cartes de propagation potentielle du bruit en présence d'obstacles ont également été produites pour les plans d'eau mentionnés au début de ce sous-chapitre (annexes 24, 25, 26 et 27). Le nombre d'habitations touchées reste le même que dans le chapitre 4.3.3 (tab. 4), mais les valeurs mesurées sont alors différentes (tab. 4). Pour les mares des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences, les valeurs mesurées à 200 mètres n'ont pas été retenues en raison d'un bruit ambiant constant d'intensité supérieure aux coassements des grenouilles. Aucune habitation n'est touchée par des niveaux sonores atteignant ou dépassant les seuils de 60 et 80 dB(A). La présence d'habitations n'est relevée qu'à partir de 100 mètres depuis le bord des plans d'eau. A cette distance, les niveaux sonores varient entre 40,9 et 53,4 dB(A) et à 200 mètres ils fluctuent de 27,8 à 31,3 dB(A).

¹⁴ La mare du chemin des Préjins n'a pas été retenue pour cette partie en raison d'un bruit ambiant constant et recouvrant les coassements des grenouilles (autoroute et aéroport).

Tableau 5 Niveaux sonores maximums, diminution du niveau sonore et différence entre le niveau sonore relevé et de référence en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau

Nom du plan d'eau	Distance par rapport au bord du plan d'eau (m)	Niveau sonore maximum en pourcentage relevé en fonction de la distance par rapport au bord du plan d'eau (100%)	Référence pour le niveau sonore maximum en pourcentage en fonction de la distance par rapport au bord du plan d'eau (100%)	Diminution du niveau sonore maximum relevé en fonction de la distance par rapport au bord du plan d'eau (%)	Référence pour la diminution du niveau sonore maximum en fonction de la distance par rapport au bord du plan d'eau (%)	Différence entre le niveau sonore maximum relevé et celui de référence (%)
Etang du parc des Franchises	0	100	100	0	0	0
	25	89	81.8	11	18.2	7.2
	50	79.9	73.8	20.1	26.2	6.1
	100	68.2	67.4	31.8	32.6	0.8
	200	35.4	49.4	64.6	50.6	-14
Bassin du Jardin de la Paix	0	100	100	0	0	0
	25	80.5	81.8	19.5	18.2	-1.3
	50	66.8	73.8	33.2	26.2	-7
	100	62	67.4	38	32.6	-5.4
	200	44.3	49.4	55.7	50.6	-5.1
Mare des Jardins du Cœur	0	100	100	0	0	0
	25	85.8	81.8	14.2	18.2	4
	50	79.6	73.8	20.4	26.2	5.8
	100	54.7	67.4	45.3	32.6	-12.7
Mare de l'avenue des Sciences	0	100	100	0	0	0
	25	85.6	81.8	14.4	18.2	3.8
	50	74.3	73.8	25.7	26.2	0.5
	100	61.8	67.4	38.2	32.6	-5.6

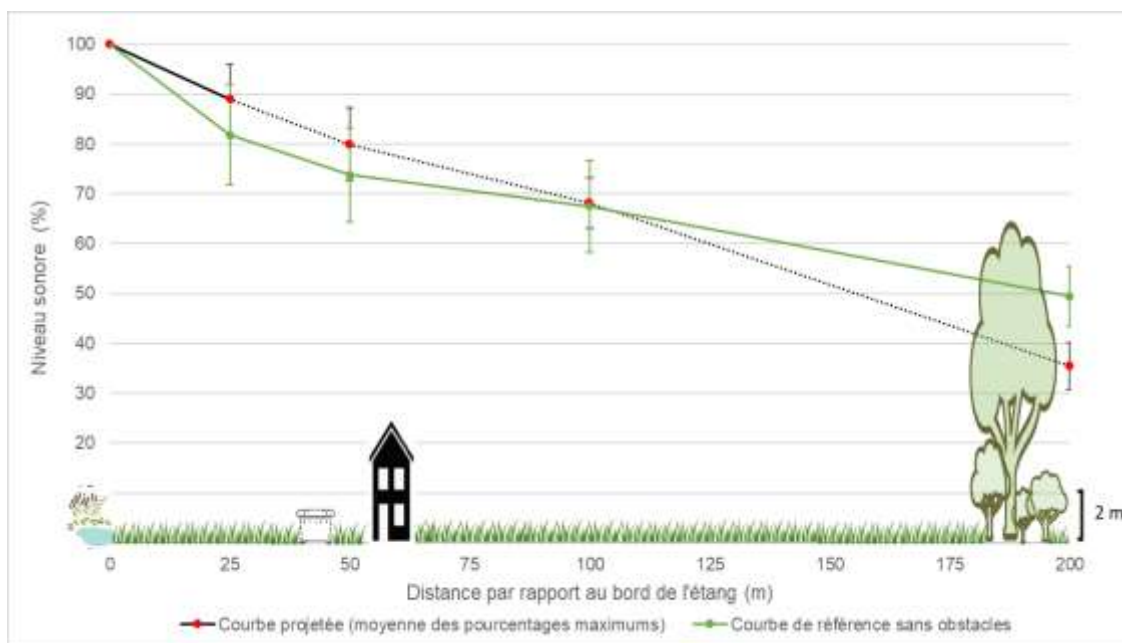


Figure 16 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord de l'étang du parc des Franchises et en présence d'obstacles

PS : la courbe en pointillé est une courbe projetée et non réelle

Pour rappel, le niveau sonore relevé au bord de l'étang (78,9 dB(A)) équivaut à 100%

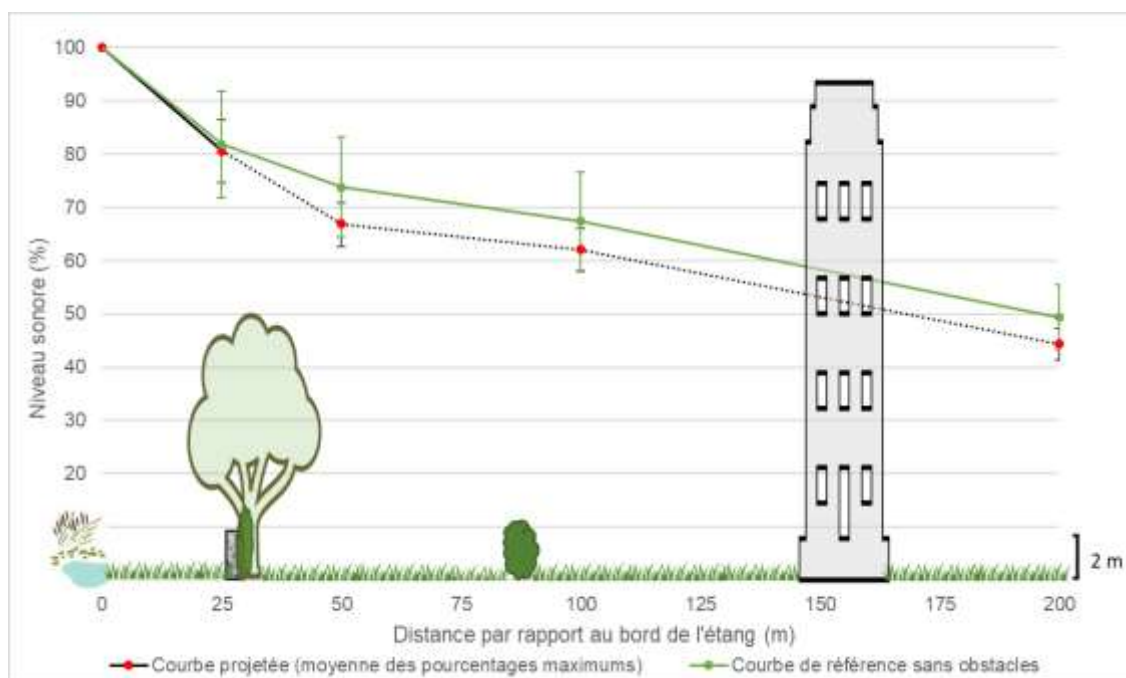


Figure 17 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord du bassin du Jardin de la Paix et en présence d'obstacles

PS : la courbe en pointillé est une courbe projetée et non réelle

Pour rappel, le niveau sonore relevé au bord de l'étang (69,2 dB(A)) équivaut à 100%

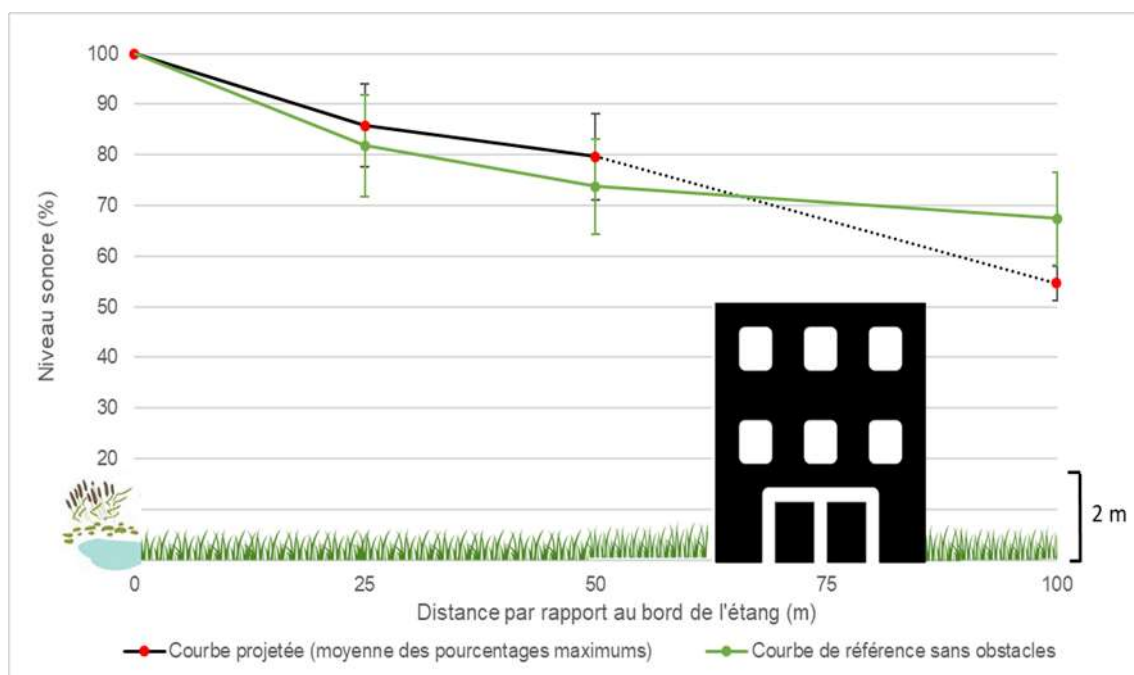


Figure 18 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord de la mare des Jardins du Coeur et en présence d'obstacles
PS : la courbe en pointillé est une courbe projetée et non réelle
Pour rappel, le niveau sonore relevé au bord de l'étang (78,7 dB(A)) équivaut à 100%

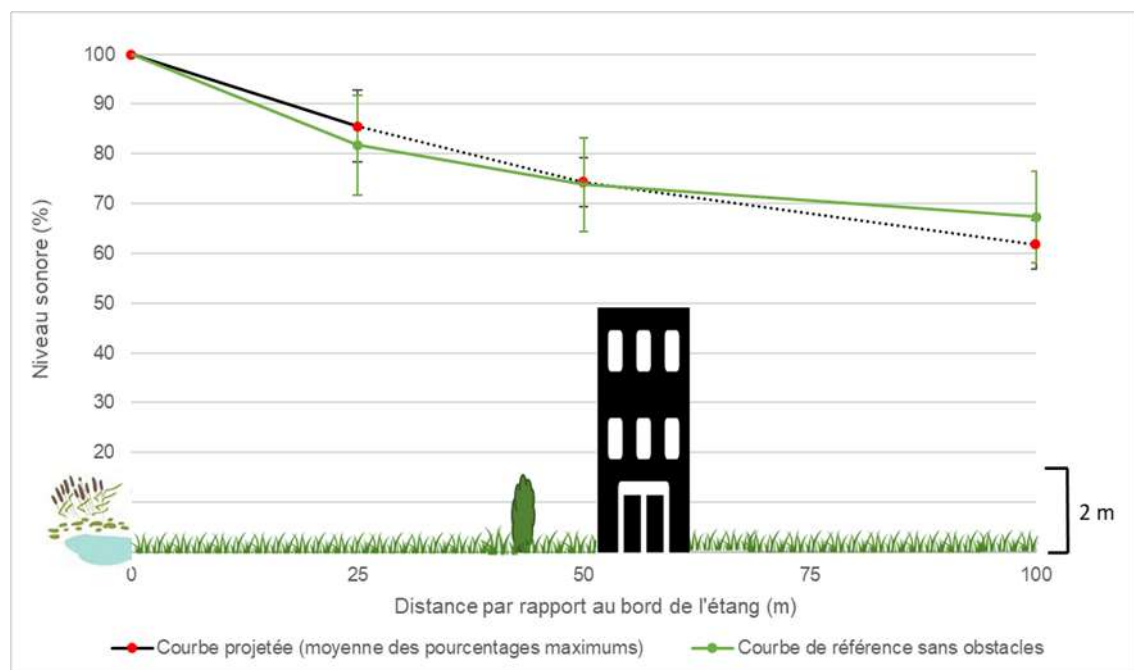


Figure 19 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses en fonction de la distance par rapport au bord de la mare de l'avenue des Sciences et en présence d'obstacles
PS : la courbe en pointillé est une courbe projetée et non réelle
Pour rappel, le niveau sonore relevé au bord de l'étang (66 dB(A)) équivaut à 100%

4.3.5. Atténuation du niveau sonore par différents types d'obstacles

Afin d'évaluer l'efficacité des mesures d'adaptation visant à mettre en place des moyens techniques sur le chemin de propagation du son, différents types d'obstacles ont été retenus. Seuls certains graphiques seront présentés ici (se référer à l'annexe 28 pour les autres graphiques). A l'annexe 29 sont recensés ces obstacles ainsi que les niveaux sonores (en %) et l'atténuation du niveau sonore (en %) mesurée avant et après chacun des obstacles. La comparaison entre les valeurs mesurées et de référence permet d'évaluer l'influence des différents obstacles sur la propagation du son (fig. 20). Avec un obstacle de type bâtiment (fig. 21a), la diminution du niveau sonore sur 50 mètres est de 24,9%, tandis que sans obstacle elle est de 6,4%. Pour un obstacle de type bosquet (fig. 21b), cette diminution sur une distance de 100 mètres est de 32,8% contre 18% pour la référence sans obstacle. La diminution obtenue à 7 mètres est de 5,1% sans obstacle et passe à 15,4% en présence d'un obstacle de type mur (fig. 21c). Avec un obstacle de type haie seule (fig. 21d), ou associée à un mur (fig. 21e), la diminution du niveau sonore mesurée à 25 mètres est de 11,3% et respectivement 13,7% contre 8% en absence d'obstacle.

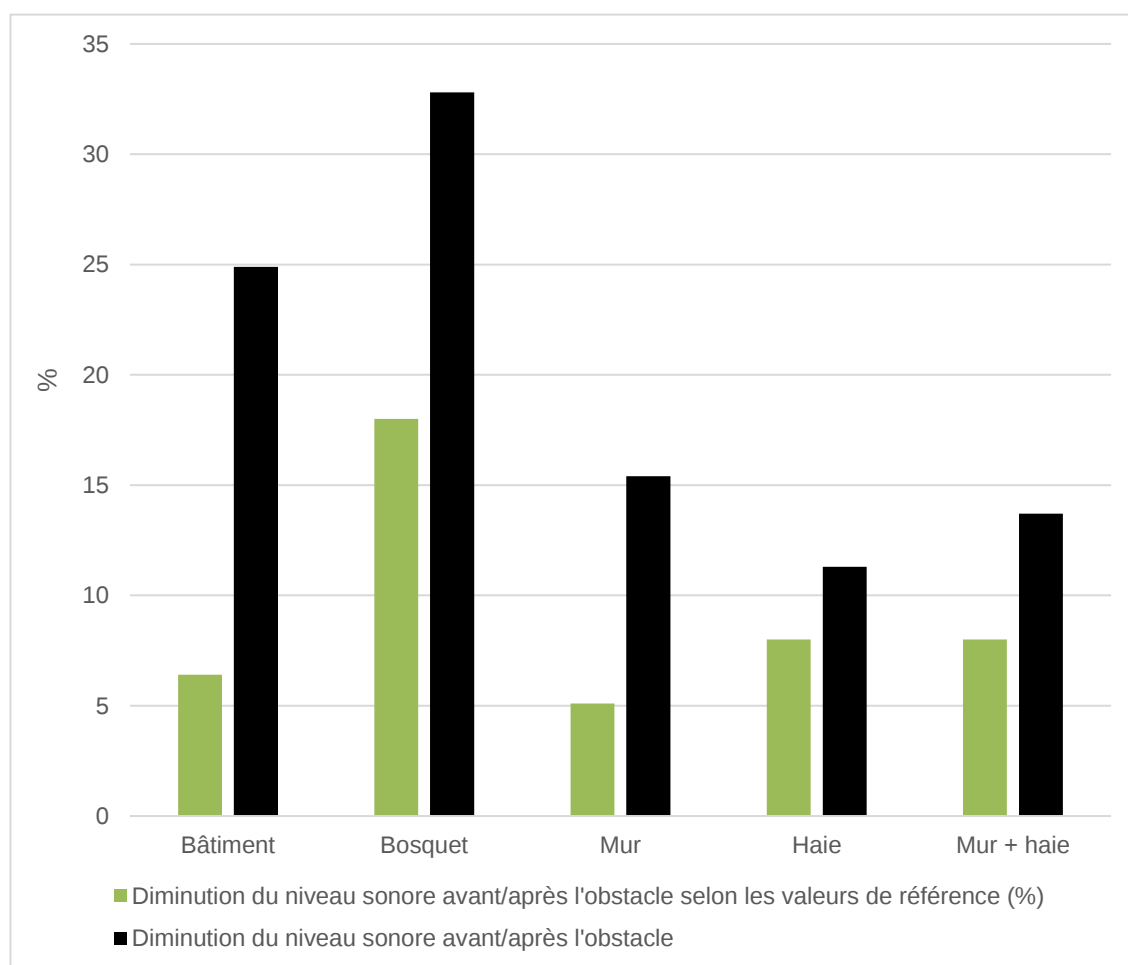


Figure 20 Influence de divers types d'obstacles sur l'atténuation du son

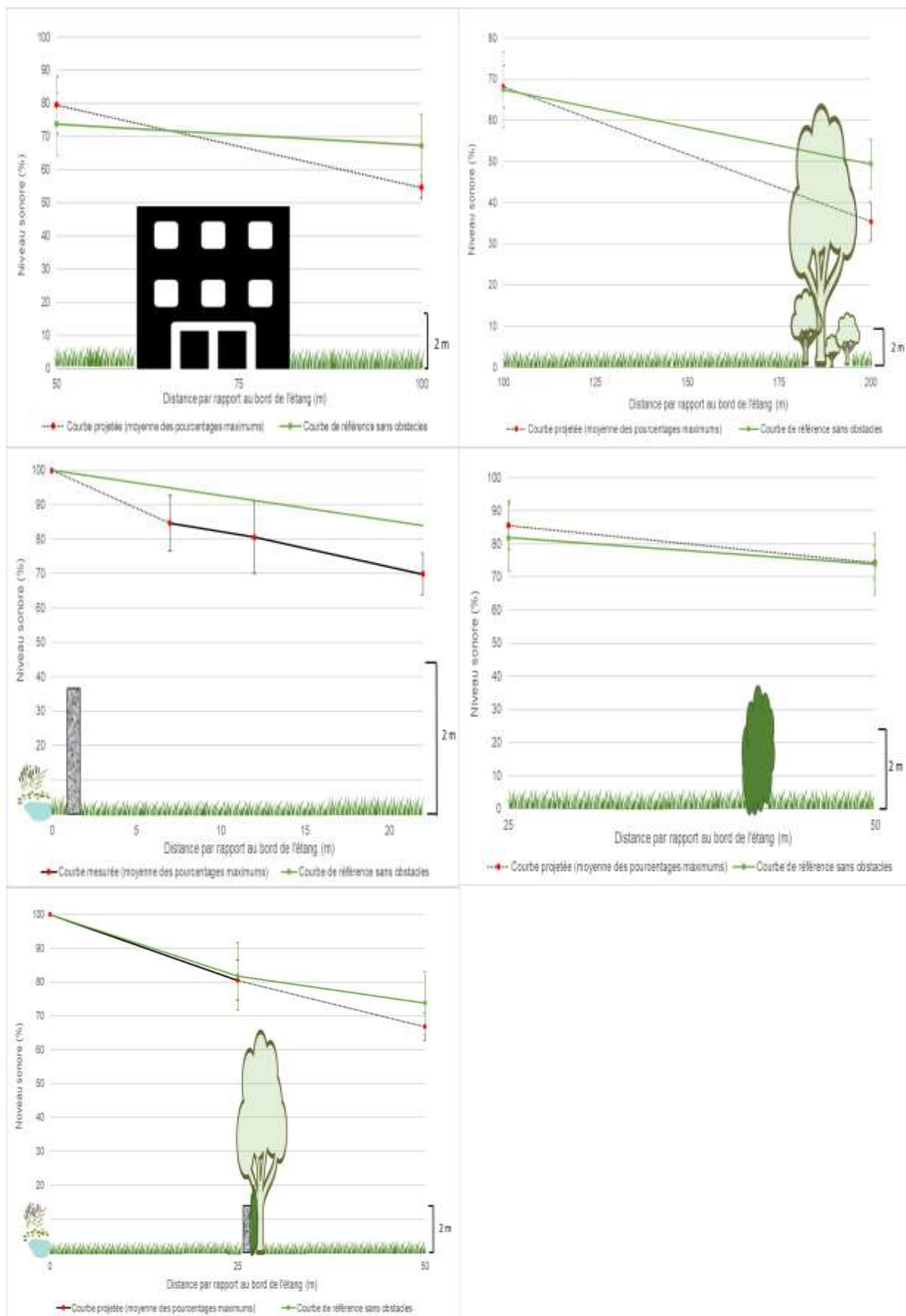


Figure 21 Niveau sonore maximum en pourcentage généré par les coassements des grenouilles rieuses avant et après des obstacles de type bâtiment (21a), bosquet (21b), mur (21c), haie (21d) et mur associé à une haie (21e)

Pour rappel, le niveau sonore relevé au bord de l'étang (78,7 dB(A) pour 20a ; 69,2 dB(A) pour 20b ; 78,9 dB(A) pour 20c ; 66 dB(A) pour 20d ; 69,2 dB(A) pour 20e) équivaut à 100%.

4.3.6. Variation temporelle des émissions sonores nocturnes

Le graphique présenté ci-dessous (fig. 22), ainsi que ceux aux annexes 30 et 31, a permis d'évaluer la variation temporelle du niveau sonore émis par les grenouilles rieuses durant la nuit. Les mesures obtenues entre le 1^{er} et le 7 juillet 2020 pour la mare du centre horticole de Lullier et du 7 au 15 juillet 2020 pour l'étang du parc des Franchises ont été retenues.

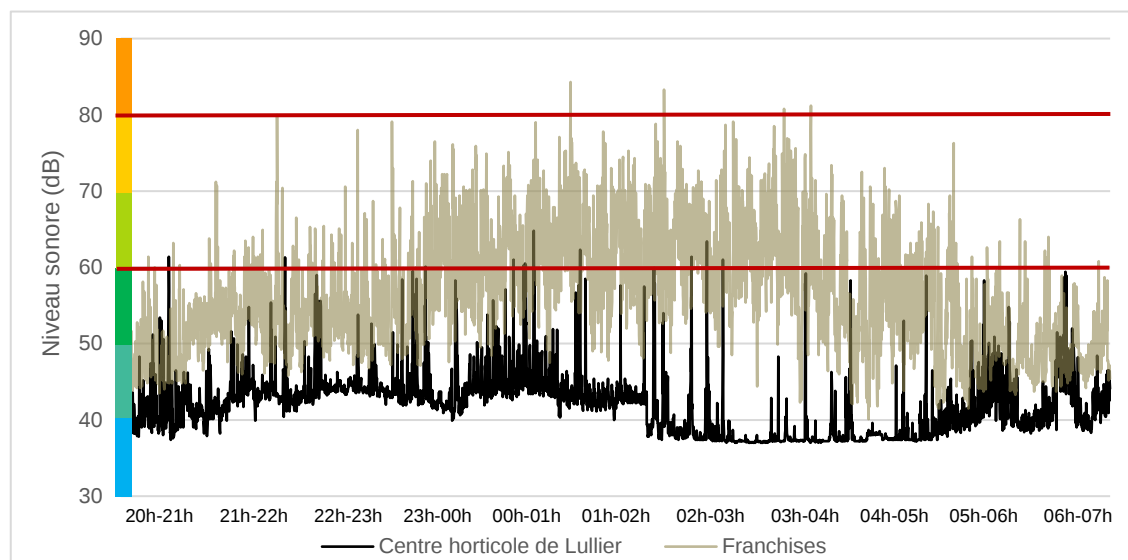


Figure 22 Variation temporelle du niveau sonore émis par une population de densité élevée (étang du parc des Franchises, dans la nuit du 08 au 09.07.2020) et une population de densité faible (mare de Lullier, dans la nuit du 02 au 03.07.2020)

(Légende : seuil au-delà duquel la communication devient déficiente (60 dB(A)) et seuil de risque pour l'audition (80 dB(A)) ; échelle de couleurs fig. 4)

Le tableau ci-dessous présente pour les deux plans d'eau les heures durant lesquelles les niveaux sonores de 80 et 60 dB(A) ont été atteints ou dépassés (tab. 6).

Tableau 6 Tranches horaires pour lesquelles des niveaux sonores de 80 dB(A) et 60 dB(A) ont été atteints ou dépassés

Tranches horaires	Niveau sonore ≥ 80 dB(A) (étang du parc des Franchises, densité de population élevée)	Niveau sonore ≥ 60 dB(A) (étang du parc des Franchises, densité de population élevée)	Niveau sonore ≥ 60 dB(A) (mare du centre horticole de Lullier, densité de population faible)
20h-21h		X	X
21h-22h	X	X	X
22h-23h		X	
23h-00h		X	X
00h-01h	X	X	X
01h-02h	X	X	
02h-03h	X	X	X
03h-04h	X	X	
04h-05h		X	
05h-06h		X	
06h-07h		X	

Sur la base du graphique et du tableau ci-dessus (tab. 6 et fig. 22), les grenouilles s'avèrent alors être en activité toute la nuit, avec des niveaux sonores plus importants entre minuit et 4 heures du matin. La variation temporelle des émissions sonores au

cours d'une semaine a également pu être évaluée avec les données relevées au bord de l'étang du parc des Franchises (fig. 23a et 23b). Ainsi, au fil des jours, la fréquence des évènements égalant ou dépassant 80 et 60 dB(A) ainsi que les niveaux sonores maximums relevés diminuent.

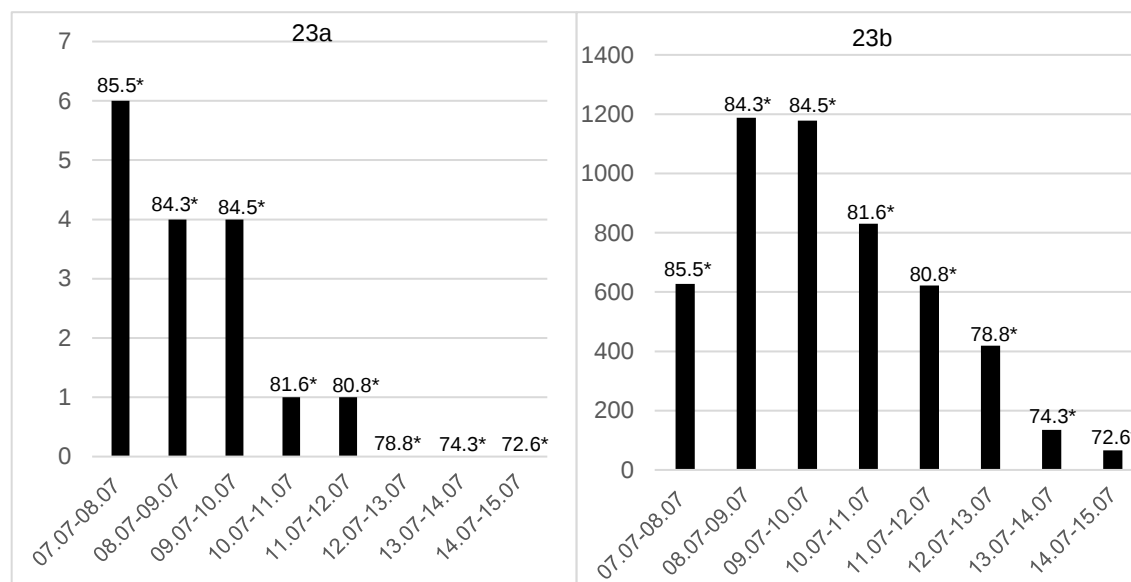


Figure 23 Nombre d'évènements dont les niveaux sonores ≥ 80 dB(A) (23a) et ≥ 60 dB(A) (23b) et niveaux sonores maximums (dB(A)) relevés du 07.07 au 15.07.2020 au bord de l'étang du parc des Franchises
Les valeurs obtenues entre 20h du soir et 7h du matin ont été retenues, excepté du 07.07 au 08.07.2020 où les valeurs retenues ont été relevées entre 22h du soir et 7h du matin.
* = unité en dB(A)

4.3.7. Mesures en continu des émissions et immissions sonores nocturnes

Les sonomètres placés au bord de la mare du centre horticole de Lullier et dans le bâtiment en préfabriqué, à environ 55 mètres de l'étang, ont permis de comparer le niveau sonore émis par les grenouilles rieuses avec celui reçu dans le bâtiment. Les mesures obtenues entre le 1^{er} et le 7 juillet 2020 ont été retenues (annexe 30).

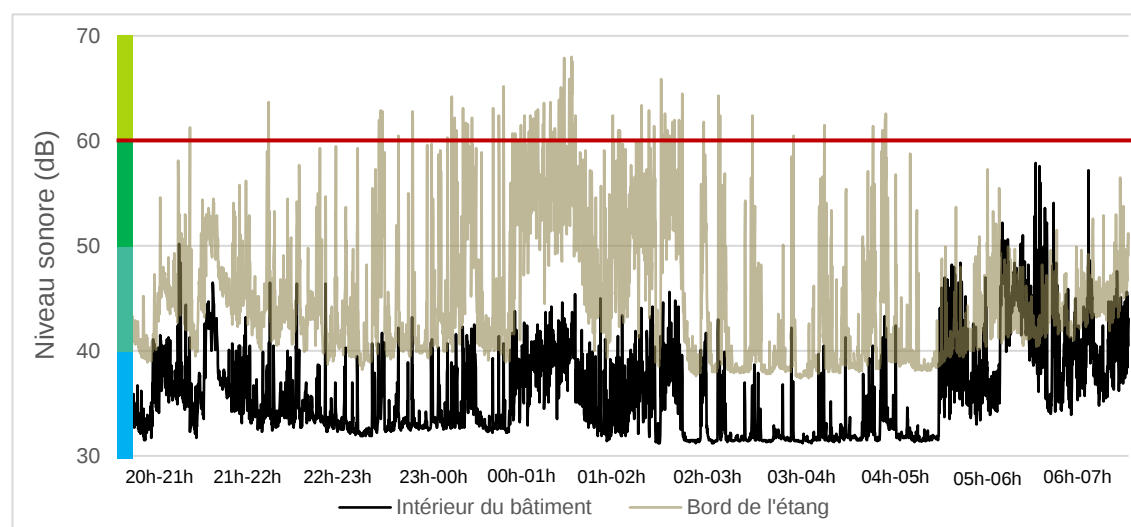


Figure 24 Comparaison du niveau sonore enregistré en continu dans la nuit du 01.07 au 02.07.2020 dans les bâtiments en préfabriqué (immissions ; à 55 mètres) et au bord de la mare de Lullier (émissions)
(Légende : seuil au-delà duquel la communication devient déficiente (60 dB(A)) ; échelle de couleurs fig. 4)

Visuellement, le graphique ci-dessus (fig. 24) présente un bruit ambiant plus élevé au bord de la mare que dans le bâtiment en préfabriqué. Malgré un niveau sonore émis dépassant à de multiples reprises les 60 dB(A), les décibels mesurés dans le bâtiment n'atteignent pratiquement jamais les 50 dB(A)¹⁵. Le pourcentage moyen du niveau sonore obtenu dans le bâtiment en préfabriqué par rapport au bord de la mare (100%) est de 81,2%.

4.3.8. Comparaison des émissions sonores nocturnes entre deux populations de grenouilles rieuses de différentes densités

L'évaluation de l'impact des mesures de mitigation visant à réduire les densités des populations de grenouilles rieuses sur l'intensité des émissions sonores a été approchée par une comparaison de deux plans d'eau occupés par des populations de densités différentes : la mare du centre horticole de Lullier (densité faible) et l'étang du parc des Franchises (densité élevée). Les mesures obtenues entre le 1^{er} et le 7 juillet 2020 pour la mare de Lullier et du 7 au 13 juillet 2020 pour l'étang des Franchises ont été retenues (annexe 31). Les émissions sont continues, toute la nuit, et ce pour les deux populations. Malgré un bruit ambiant moindre relevé au bord de la mare du centre horticole de Lullier, le niveau sonore mesuré ne dépasse que rarement les 60 dB(A) et n'atteint jamais les 70 dB(A). Le niveau sonore relevé au bord de l'étang du parc des Franchises quant à lui dépasse fréquemment les 70 dB(A) et à plusieurs reprises les 80 dB(A) (fig. 22). En prenant comme référence le niveau sonore mesuré au bord de l'étang du parc des Franchises, le pourcentage moyen du niveau sonore émis par les grenouilles rieuses au bord de la mare du centre horticole de Lullier est de 79,6%. Ainsi, dans notre exemple, la différence entre les émissions à la source générées par ces deux populations de grenouilles rieuses de densités différentes est de 20,4%.

¹⁵ Les données relevées après 5 heures du matin correspondent aux chants des oiseaux et ne sont donc pas prises en compte.

5. Discussion

La grenouille rieuse : une menace pour la biodiversité ?

Comme mentionné au chapitre 2.3.4, la grenouille rieuse est une espèce exotique envahissante (EEE). Les EEE seraient d'ailleurs une menace majeure pour la biodiversité en raison de leurs impacts sur les espèces indigènes (selon Gaston et Spicer, 2004, cité dans Oertli & Frossard, 2013; GHRA-LPO Rhône-Alpes, 2015). Cette espèce fait partie des indésirables des plans d'eau du canton de Genève (Frossard & Oertli, 2015). De plus, elle est décrite comme étant opportuniste et vorace, son régime se composant de proies provenant de groupes taxonomiques divers (Bogdan et al., 2012; Çiçek & Mermer, 2006; Covaciu-Marcov et al., 2005; Mollov et al., 2010; Yousaf et al., 2010).

Les informations délivrées par la littérature indiquent que la grenouille rieuse pourrait avoir un impact négatif non négligeable sur la biodiversité aquatique des plans d'eau qu'elle occupe. Les résultats obtenus dans le présent travail de Bachelor ne corroborent pas ces informations. L'approche utilisée dans ce travail est toutefois basée sur la présence/absence de la grenouille rieuse et non sur son abondance. Les résultats, présentés au chapitre 4.1, démontrent que le nombre de taxons relevé dans les plans d'eau où la grenouille rieuse est présente n'est pas moindre en comparaison de ceux où elle est absente. Mis à part le groupe des Gastéropodes, pour lequel l'analyse statistique n'a démontré aucune différence significative en termes de richesse taxonomique, la présence de grenouilles rieuses est corrélée avec une richesse significativement plus importante pour les groupes des Coléoptères, Odonates, Amphibiens et plantes aquatiques. Cependant, il est difficile d'affirmer qu'il existe un lien de causalité entre la présence de grenouilles rieuses et une biodiversité élevée. L'hypothèse que le nombre de taxons relevé en présence de l'espèce pourrait être lié aux caractéristiques des habitats occupés par celle-ci est également un axe d'étude à explorer. En effet, la grenouille rieuse apprécie les plans d'eau de grandes surfaces, profonds et bien ensoleillés (KARCH, 2020; Oertli & Frossard, 2013) favorables à l'accueil d'une biodiversité à priori plus importante.

Les résultats obtenus montrent de plus que la présence ou l'absence de grenouilles rieuses n'a aucune influence sur la présence ou l'absence de moustiques (ou le groupe des Culicidés en général).

Perception des grenouilles rieuses et de leurs coassements par les promeneurs et riverains

Au vu des résultats obtenus par l'enquête de proximité, les grenouilles semblent particulièrement appréciées par les promeneurs, alors que les riverains ont des avis plus partagés. En effet, la proportion des riverains qui apprécient et n'apprécient pas les

grenouilles sont proches (cf. chapitre 4.2). Malgré le fait qu'une minorité des promeneurs comme des riverains éprouve une gêne et considère les puissants coassements qu'elles génèrent comme une nuisance, plus d'un tiers des riverains ressentent du dérangement à l'écoute de ces chants. Il est paradoxal cependant de constater que si une majorité de riverains considère qu'il est possible que ces coassements soient source d'inconvénients, il se trouve également une majorité de riverains et de promeneurs qui estime que les coassements des grenouilles pourraient être un facteur participant positivement à leur bien-être. Enfin, malgré le fait que la nuit est la période durant laquelle les riverains sont le plus importunés, la majorité d'entre eux est d'avis que ces coassements n'ont aucun effet sur leur sommeil.

Il se trouve également des riverains appréciant particulièrement les coassements des grenouilles rieuses alors qu'ils vivent à 20 et 50 mètres de la mare du chemin des Préjins. Selon Oertli et Frossard (2013), les chants des grenouilles rieuses sont souvent considérés comme une nuisance en contexte urbain. Les résultats exposés dans le présent travail de Bachelor, en particulier la proportion de riverains éprouvant du dérangement, semblent soutenir cette affirmation. Ils corroborent également les résultats présentés par Meilland (2018) en ce qui concerne les promeneurs tout particulièrement. L'enquête de terrain montre en tous les cas la nature subjective de la perception de ces coassements comme nuisance sonore ou pas (OFEV, 2014).

Propagation du son en champ libre

En extérieur, la propagation du son est soumise à de multiples paramètres pouvant alors entre autres s'interpréter par une modification du niveau sonore : les conditions météorologiques (vent, température et humidité de l'air)¹⁶, la nature du sol, la distance de propagation, les caractéristiques physiques de la source, etc. (Aballéa, 2004; Lamancusa, 2009; Société Française d'Acoustique – Groupe d'Acoustique du Bâtiment et de l'Environnement (SFA-GABE), 2020; Zürcher et al., 2014).

Pour les points qui ont pu être complétés, les différences dans les résultats obtenus, qui restent dans les limites de dispersion des mesures (données par les écart-types), peuvent s'expliquer en partie par la variation temporelle et spatiale des conditions météorologiques influençant alors, d'un soir à l'autre, voire d'une minute à l'autre, les mesures effectuées. Le type de sol, dont la nature diffère en fonction du lieu (plan d'eau étudié) et des distances auxquelles les mesures ont été réalisées pourrait également expliquer ces légers écarts dans les résultats. Un biais méthodologique concernant les instruments de mesures utilisés (smartphones équipés de l'application *NoiseCapture*)

¹⁶ Variant dans l'espace et le temps, le vent et le gradient de température en particulier doivent être pris en compte lorsque la distance entre la source et le récepteur dépasse les 100 mètres voire les 50 mètres : plus cette distance est importante plus l'effet potentiel de ces paramètres météorologiques accentuent ou réduisent le niveau sonore reçu (Aballéa, 2004; Bruxelles Environnement, 2019; Lamancusa, 2009; Maekawa, 1968; SFA-GABE, 2020; Zürcher et al., 2014).

peut également être envisagé, puisque différents modèles (ayant donc des caractéristiques et des composants différents) ont été utilisés pour les différents plans d'eau.

Selon Aballéa (2004), en présence d'une source ponctuelle, le niveau sonore diminue de 6 dB(A) à chaque doublement de distance. Les résultats obtenus jusqu'à 100 mètres pour les plans d'eau mentionnés ci-dessus corroborent relativement bien cette affirmation.

A contrario, les résultats obtenus pour les mesures à 200 mètres par rapport aux plans d'eau ne semblent pas suivre cette règle et montrent une diminution brutale du niveau sonore, quasi indifférent du bruit de fond et ne présentant pas de pics mesurables liés aux chants des grenouilles rieuses.

L'hypothèse émise est alors la suivante : les paramètres ambiants à l'instant des mesures (énoncés plus haut) ne sont pas constants, en particulier les conditions sonores et météorologiques, qui ont pu influencer sur les mesures et donc les résultats pour les niveaux sonores faibles. Il ressort des mesures effectuées que les habitations se trouvant dans un rayon de 200 mètres par rapport au bord des plans d'eau étudiés, ne sont pas exposées à des chants de grenouilles dont les niveaux sonores sont élevés ou dangereux pour l'audition. Malgré cela, comme évoqué au chapitre 2.3.7, les coassements générés par les grenouilles rieuses peuvent être perçus comme une profonde nuisance par certains citoyens, même à des niveaux sonores faibles.

Les émissions et immissions sonores générées par les coassements des grenouilles rieuses

La comparaison des émissions et immissions sonores effectuées avec des sonomètres au bord de la mare du centre horticole et dans le bâtiment en préfabriqué de Lullier a permis de mettre en évidence le niveau sonore potentiellement perçu par un riverain. Malgré un niveau sonore émis au bord de l'étang parfois élevé (>60 dB(A))¹⁷, le bruit reçu reste à un niveau largement tolérable. La différence de niveau sonore émis et reçu est d'ailleurs relativement marquée (d'environ 20%) en regard de la distance (55 mètres environ) séparant le bord de l'étang du bâtiment.

Les intensités mesurées au bord des plans d'eau du parc des Franchises, du Jardin de la Paix, des Jardins du Cœur et de l'avenue des Sciences atteignent des niveaux sonores très élevés, qualifiés même de nocifs pour l'audition (90 dB(A)) (SuvaPro, 2009). Cependant, aucune des habitations recensées dans cette étude n'est construite au bord de ces plans d'eau et n'est donc directement soumise à ces émissions.

¹⁷ Au-delà de 60 dB(A), la communication orale devient difficile (SuvaPro, 2009).

Les données relevées à distance des différents plans d'eau montrent logiquement que les niveaux sonores reçus s'amenuisent au fur et à mesure que la distance entre le bord des étangs et le récepteur s'agrandit. Ainsi, l'influence négative des niveaux sonores reçus en termes de risques pour l'audition est inexistante dès 25 mètres par rapport au bord des plans d'eau étudiés. Il convient cependant de nuancer le propos. En effet, comme évoqué au chapitre 2.3.7 et selon les résultats obtenus avec l'enquête par questionnaire, la notion de nuisance sonore est subjective (OFEV, 2014) et dépend de la perception de chacun vis-à-vis de ces sons. Des niveaux sonores considérés comme supportables par certains peuvent être ressentis comme insupportables et agressifs par d'autres.

Variation temporelle des coassements des grenouilles rieuses

Les grenouilles rieuses coassent principalement pendant la période de reproduction (avril-juin) et ce « de jour comme de nuit tant que l'air ambiant reste chaud » (KARCH, 2020; Meyer et al., 2009).

Les résultats obtenus et les observations effectuées lors du travail de terrain, montrent effectivement que les grenouilles sont « vocalement » actives toute la nuit. Cette activité est variable, et il s'avère qu'elles chantent plus intensément entre 22 heures et 4 heures du matin environ. Aucune mesure du niveau sonore généré par les coassements des grenouilles rieuses pendant la journée n'a été prise en compte en raison de la présence importante de bruits parasites venant perturber les mesures. Cependant, les observations de terrains effectuées en journée, pour mener les enquêtes de proximité principalement, ont permis de constater que les grenouilles chantent moins et moins fort durant la journée que pendant la nuit.

L'explication la plus vraisemblable (en l'absence de mare de comparaison « idéale ») est que le passage du public à proximité des plans d'eau provoque un dérangement des individus de l'espèce et influence ainsi leur activité. Les résultats présentés ont également démontré qu'au mois de juillet, les niveaux sonores générés par les coassements des grenouilles rieuses s'amenuisent jour après jour. Ainsi, il semblerait que, contrairement à ce que laisse supposer la littérature (KARCH, 2020; Meyer et al., 2009), la période de reproduction ou en tous cas de chant s'étend jusqu'à mi-juillet. L'explication pourrait être qu'un accroissement du nombre de journées présentant des températures élevées prolonge la saison de reproduction des grenouilles rieuses, ceci restant bien sûr à être confirmé.

Discussion des mesures de mitigation et d'adaptation des nuisances liées à la grenouille rieuse

L'analyse des mesures obtenues sur les divers sites permet d'évaluer l'efficacité potentielle des mesures de mitigation et d'adaptation à envisager visant à mettre en place des moyens techniques (obstacles) sur le chemin de propagation du son ou à réduire les densités de populations de grenouilles rieuses.

Influence des obstacles sur l'atténuation du niveau sonore généré par les coassements des grenouilles rieuses

Les paramètres évoqués plus haut¹⁸ sont valables pour la propagation du son en champ libre, mais à cela s'ajoute l'influence liée aux obstacles rencontrés sur le trajet de la propagation du son : bâtiments, mur, végétation, etc. (Aballéa, 2004; Lamancusa, 2009; SFA-GABE, 2020).

Les résultats obtenus par la différence entre le niveau sonore maximum relevé et celui de référence avant et après l'obstacle semblent corroborer en partie les caractéristiques présentées au chapitre 2.3.8. L'obstacle de type bâtiment provoque une différence de niveau sonore plus élevée que les autres obstacles, probablement en raison de son épaisseur plus importante.

La comparaison de l'obstacle de type mur avec celui de type mur associé à une haie, souligne l'importance que joue la distance dans la disposition de l'obstacle pour l'efficacité d'un dispositif de réduction sonore. En effet, la distance de mesure par rapport à la source restant égale (25 mètres), la diminution mesurée à l'arrière d'un mur s'il est posé proche de la source (7 mètres) est plus grande comparée à celle mesurée derrière un mur associé à une haie et posé à environ 25 mètres.

Les mesures obtenues pour évaluer l'effet de l'obstacle de type haie semblent parfaitement corroborer les caractéristiques mentionnées plus haut. En raison de ses faibles hauteur, largeur (environ 1 mètre) et densité ainsi que de sa distance importante par rapport à la source, elle démontre une efficacité très modeste dans l'atténuation du niveau sonore.

Les résultats obtenus pour le dernier obstacle évalué, celui de type bosquet, sont plus étonnants et ne semblent pas reproduire les conclusions tirées de la littérature. En effet, malgré l'influence faible de la végétation sur l'atténuation du bruit et la distance entre la source et l'obstacle, l'atténuation du niveau sonore semble élevée, se rapprochant alors des valeurs obtenues avec l'obstacle de type bâtiment. Il convient cependant de nuancer le propos. En effet, l'obstacle se trouvant à presque 200 mètres de la source, il est nécessaire de prendre en considération les conditions ambiantes (météorologiques par exemple) qui peuvent alors fortement perturber les résultats obtenus pour les faibles intensités sonores mesurées entre 100 et 200 mètres.

¹⁸ Cf. « Propagation du son en champ libre »

Par comparaison avec une situation en champ libre, la mise en place d'obstacles est un moyen d'atténuer le niveau sonore. De plus, on constate que l'efficacité de chacun de ces obstacles est très différente et que l'utilisation de végétation en combinaison pour l'occupation de l'espace doit répondre à des buts complémentaires à celui de la réduction de la propagation sonore, cet effet étant modeste.

Emissions sonores liées à des populations de grenouilles rieuses de différentes densités

Selon le karch (KARCH, 2020), une des mesures permettant de diminuer sensiblement le niveau sonore généré par les coassements des grenouilles rieuses est la capture et le déplacement d'individus chanteurs vers un autre biotope. Les résultats obtenus en comparant les intensités sonores au niveau de plans d'eau peuplés de grenouilles rieuses avec des densités différentes démontrent que cette mesure peut s'avérer efficace.

Par exemple, la mare du centre horticole de Lullier où la densité de population est faible, présente des niveaux sonores sensiblement plus faibles (moins 20,4 %) que l'étang du parc des Franchises dans lequel la densité est beaucoup plus importante. Ainsi, la généralisation de mesures permettant de diminuer la taille des populations de grenouilles rieuses pourrait faire partie des instruments permettant de réduire globalement leur nuisance sonore.

Proposition d'une démarche de sensibilisation de la population à l'égard de la grenouille rieuse

Des mesures de mitigation et d'adaptation sont succinctement présentées au chapitre 2.3.8. Deux de ces mesures ont été évaluées dans le présent travail de Bachelor. Ici est également proposé une mesure d'adaptation impliquant la sensibilisation du public aux avantages de la création de plans d'eau dans l'espace urbain ainsi qu'aux impondérables conséquences qui y sont liées. En effet, la perception des coassements générés par les grenouilles rieuses est en majeure partie subjective et liée aux préjugés de chacun (KARCH, 2020; OFEV, 2014).

- Concept : les riverains des plans d'eau où la présence de grenouilles rieuses a été relevée sont les personnes les plus à risque d'être importunées par ses coassements. Afin de permettre une meilleure acceptation des chants des grenouilles rieuses par le public, et plus particulièrement par les riverains, il est essentiel de communiquer avec eux. La sensibilisation est donc un élément clé. L'objectif principal de cette sensibilisation est d'essayer de démontrer que les coassements de la grenouille rieuse sont le signe de la présence de nature, notamment en contexte urbain, et donc de biodiversité. En outre, il est nécessaire d'expliquer que ces coassements ne sont intenses que lors de la période de

reproduction et que celle-ci ne s'étend que sur quelques semaines et qu'il existe des mesures d'atténuation du bruit, par exemple la mise en place d'obstacles.

- Intérêts : cette sensibilisation apporterait une meilleure acceptation de l'espèce et de ses coassements par le public. Ainsi, il serait possible d'éviter ou limiter la mise en place de mesures plus drastiques, comme par exemple le comblement des habitats que la grenouille rieuse occupe, qui aurait alors comme impact de détruire l'ensemble de la biodiversité présente dans ces biotopes.
- Faisabilité : cette mesure n'implique pas des coûts démesurés, mais nécessite de mandater un (des) organisme(s) susceptibles de mettre en œuvre cette sensibilisation sur le terrain et/ou au niveau des municipalités.

S'il reste très difficile d'inverser totalement le ressenti vis-à-vis de ses coassements, il reste possible d'infléchir par l'information le préjugé que recouvre les qualificatifs d'envahissantes et indésirables qui collent à la peau de la grenouille rieuse et peut-être ainsi rendre plus supportables ses chants estivaux. Il en va ainsi de la bonne volonté de chacun.

Limites

Le présent travail s'est heurté à certaines difficultés. En effet, l'analyse de l'influence de divers obstacles sur l'atténuation du niveau sonore s'est révélée complexe en raison d'un protocole peu adapté.

Les mesures à 200 mètres par rapport au bord des plans d'eau dans une situation en champ libre n'ont été réalisées qu'au bord d'un seul plan d'eau. L'absence de réplication de ces mesures, notamment sur un nombre plus étendu de sites étudiés, représente alors une limite à la représentativité du présent travail de Bachelor.

6. Conclusion et perspectives

Le présent travail s'est voulu être exploratoire. Globalement, les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence que la grenouille rieuse 1) n'a pas d'impact négatif sur la biodiversité aquatique, 2) n'est pas dépréciée par les promeneurs, mais que la majorité des riverains y voit une source d'inconvénients et que plus d'un tiers éprouve du dérangement, 3) génère par ses coassements des niveaux sonores importants à l'émission, mais que les immissions restent objectivement supportables et 4) peut se voir appliquer des mesures de mitigation ou d'adaptation efficaces dans l'atténuation du son qu'elle génère, comme la mise en place d'obstacles entre la source et le récepteur et la réduction de la densité de ses populations.

Finalement, une démarche de sensibilisation de la population peut être proposée en vue de faciliter l'acceptation ou d'accroître la tolérance envers la grenouille rieuse et plus particulièrement ses coassements.

En perspective, le nombre de personnes interrogées ainsi que de plans d'eau étudiés pour l'aspect des nuisances sonores mériteraient d'être augmentés car, en l'état, ils constituent une limite à la représentativité de cette étude.

Enfin, l'établissement et l'analyse de bases de données supplémentaires, relatives aux variations au cours du temps de la biodiversité des mares et étangs, permettraient de compléter les résultats obtenus pour l'influence de la grenouille rieuse sur la biodiversité aquatique des biotopes dans lesquels elle s'est installée.

7. Bibliographie

- Aballéa, F.-E. (2004). *Propagation acoustique en milieu extérieur: Application de l'équation parabolique rapide au couplage d'effets météorologiques et de topographies complexes*. Université du Maine. Nantes. (191 p.). Consulté à l'adresse : https://www.a-e-r.ch/images/AER_media/Publications/environnement/ABALLEA_2004.pdf
- Acoustic Technologies S.A. (2011). *Réduire le bruit routier pendant sa propagation: Écrans antibruit et revêtements de parois (acoustiquement) absorbants*. (59 p.). Consulté à l'adresse : https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/vademecum_f11_tech_fr.pdf
- Amigues, J.-P., & Chevassus-au-Louis, B. (2011). *Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques: Enjeux scientifiques, politiques et opérationnels*. Onema. Vincennes. (174 p.).
- Association des Cartons et Jardins du Coeur. (2020). *Jardins du Coeur*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : <https://www.cartonsducoeur-yverdon.ch/les-jardins>
- Association suisse pour l'aménagement national (VLP-ASPAN). (2016). *Lutte contre le bruit et aménagement du territoire: Données de base—Positions—Orientations générales*. Berne. (72 p.). Consulté à l'adresse : <https://rue-avenir.ch/wp-content/uploads/files/Bruit-et-30km-h-CFLB-2016.pdf>
- Atienza, R., Balez, S., & Remy, N. (2009). *Acoustique: Propagation en champ libre*. (54 p.). Consulté à l'adresse : http://saintcroix-relax.ch/wp-content/uploads/2016/06/RA02-champ_libre.pdf
- ATS. (2016, août 9). *St-Gall: Des grenouilles rieuses envahissantes pourrissent la vie des habitants du Rheintal*. Consulté le 26 mars 2020 à l'adresse : <https://www.lenouvelliste.ch/articles/suisse/st-gall-des-grenouilles-rieuses-envahissantes-pourrissent-la-vie-des-habitants-du-rheintal-564740>
- ATS, & JOP. (2016, août 9). *Une invasion de grenouilles rieuses perturbe le sommeil du Rheintal*. Consulté le 18 mars 2020 à l'adresse : <https://www.rts.ch/info/regions/autres-cantons/7928558-une-invasion-de-grenouilles-rieuses-perturbe-le-sommeil-du-rheintal.html>
- Balazard, H., Menétrieux, C., Poudevigne, M., Pouvesle, C., Berthier, N., & Correa, E. (2016). *Implication citoyenne et nature en ville—Premiers enseignements issus de sept études de cas en France*. Connaissances, Cerema. (140 p.).
- Bogdan, H. V., Covaciu-Marcov, S.-D., Cupsa, D., Cicort-Lucaciu, A.-S., & Sas, I. (2012). *Food Composition of a Pelophylax ridibundus (Amphibia) Population From a Thermal Habitat in Banat Region (Southwestern Romania)*. Acta Zoologica Bulgarica, pp. 253-262.
- Bourdeau-Lepage, L., & Vidal, R. (2014). *Nature en ville: Attentes citadines et actions publiques*. Editopics. Paris. (17 p.).
- Boutefeu, E. (2005). *La demande sociale de nature en ville: Enquête auprès des habitants de l'agglomération lyonnaise*. Plan Urbanisme construction architecture & les transports, Centre d'études sur les réseaux, Éd. France. (81 p.).
- BRUITPARIF. (2020). *Bruit et biodiversité*. Centre d'évaluation technique de l'environnement sonore en Île-de-France. Saint-Denis. (58 p.). Consulté à l'adresse : <https://www.bruitparif.fr/pages/En-tete/400%20Bruitpedia/150%20Les%20impacts%20du%20bruit%20sur%20la%20biodiversit%C3%A9/2020-03-11%20-%20Rapport%20-%20Bruit%20et%20biodiversit%C3%A9.pdf>

- Bruxelles Environnement. (2019). *Notions de base d'acoustique*. (32 p.). Consulté à l'adresse : https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/vademecum_f1_tech_fr.pdf
- Cercle Bruit Suisse. (n. d.). *Lärmorama—Akustik*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : http://xn--lrmorama-0za.ch/m1_akustik/schallpegel_w.html#rechnen
- Cercle Bruit Suisse. (2020). *Lärm.ch—Apps*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : <http://www.laerm.ch/fr/bruit-et-calme/applis-et-tools/applications-sonomtre/apps.html>
- Charollais, M., Caillet-Bois, D., Droz, P., & AGRIDEA. (2014). *Espèces exotiques envahissantes animales et végétales : État des lieux des acteurs, des actions menées et des besoins sur le territoire du Grand Genève*. Cahier n°13-91. (72 p.).
- Çiçek, K., & Mermer, A. (2006). *Food Composition of the Marsh Frog, Rana ridibunda Pallas, 1771, in Thrace*. Turkish Journal of Zoology, pp. 83-90.
- Clergeau, P. (1996). *Urban biodiversity : Is there such a thing?* Cybergeog : European Journal of Geography, Le courrier du CNRS, pp. 102-104. Doi : 10.4000/cybergeog.277
- KARCH. (2020). *Coassement, nuisances sonores des amphibiens*. Consulté le 10 juin 2020 à l'adresse : <http://www.karch.ch/karch/home/spannendes-wissenswertes/quakende-frosche.html>
- Communauté d'études pluridisciplinaire sàrl. (2019). *Commission ECO-FAMSA : Mesures de compensation—Etat de la situation à fin mars 2019*. Massongex et Monthey (32 p.). Consulté à l'adresse : <http://www.famsa.ch/images/FreneysIII/Bilan-ECO-FAMSA-2000-2018.pdf>
- KARCH. (2020). *Complexe des grenouilles vertes*. Consulté le 10 juin 2020 à l'adresse : <http://www.karch.ch/karch/home/amphibien/amphibienarten-der-schweiz/Wasserfrosch-Komplex.html>
- Conforto – Des Bassins Aquatiques Urbains Multiusages. (2020). Projet Conforto. Consulté le 10 juin 2020 à l'adresse : <https://campus.hesge.ch/conforto/>
- Covaciu-Marcov, S.-D., Sas, I., Cup, D., Bogdan, H., & Lukács, J. (2005). *The seasonal variation of the food of a non-hibernated Rana ridibunda Pallas 1771 population from the thermal lake from Mai spa, Romania*. Analele University Oradea, Faculty of Science, 12, pp. 77-85.
- Direction générale de l'environnement/Biodiversité et paysage (DGE-BIODIV) (Éd.). (2018). *Mares et étangs*. (5 p.). Consulté à l'adresse : https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/faune_nature/fichiers_pdf/Bo%C3%A0Ete_%C3%A0_outils_pour_les_communes/Fiche_D7_Mares_Etangs.pdf
- Direction générale de la nature et du paysage (DGNP) & ECOTEC Environnement SA. (2012a). *Fiche mesure ponctuelle : « Création de mares temporaires »* (9 p.).
- Direction générale de la nature et du paysage (DGNP) & ECOTEC Environnement SA. (2012b). *Fiche nature en ville : « Mares et petits étangs urbains »* (12 p.).
- KARCH. (2020). *Espèces amphibiens non indigènes*. Consulté le 14 juin 2020 à l'adresse : <http://www.karch.ch/karch/home/amphibien/amphibienarten-der-schweiz/nicht-einheimische-amphibienarte.html>
- European Pond Conservation Network (EPCN). (2009). *Manifeste pour les mares et les étangs* (20 p.).

- Fenneteau, H. (2015). *Enquête : Entretien et questionnaire* (3^{ème} édition). Dunod. (111 p.).
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). *Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context*. Sustainability, 12(10). (4247 p.). Doi : 10.3390/su12104247
- Fivaz, F. (2020). *CSCF-karch | Données tabulaires*. CSCF & karch/CCO-KOF. Consulté le 11 juin 2020 à l'adresse : <https://lepus.unine.ch/tab/index.php?groupe=CAPTAMPH&TypeRequete=ListeUnite&espece=70126&UniteGeographique=canton>
- Fontaine, B. (2016, juin 8). *VIDEO - Dordogne : Condamnés par la justice car les grenouilles de leur mare font trop de bruit*. Consulté le 18 mars 2020 à l'adresse : <https://www.francebleu.fr/infos/faits-divers-justice/dordogne-condamnes-car-les-grenouilles-de-leur-mare-font-trop-de-bruit-1465403493>
- Frossard, P.-A., & Oertli, B. (2015). *Manuel de gestion. Recommandations pour la gestion des mares urbaines pour favoriser la biodiversité*. (66 p.).
- Gaston, K. J. (Éd.). (2010). *Urban Ecology*. Oxford University Press. Cambridge. (318 p.).
- Groupe Herpétologique Rhône-Alpes – Ligue pour la Protection des Oiseaux (GHRA - LPO Rhône-Alpes). (2015). *Les Amphibiens et Reptiles de Rhône-Alpes*. LPO coordination Rhône-Alpes. Lyon. (448 p.).
- KARCH. (2020). *Grenouille de Lessona et Grenouille verte*. Consulté le 10 juin 2020 à l'adresse : <http://www.karch.ch/karch/home/amphibien/amphibienarten-der-schweiz/kleiner-wasserfrosch-und-teichfr.html>
- Grimal, F. (2014). *Statut du complexe des grenouilles vertes Pelophylax sp. sur l'Étang de Berre (Bouches-du-Rhône)*. LPO PACA, Faune-PACA. (39 p.).
- Grossenbacher, K. (1988). *Atlas de distribution des amphibiens de Suisse*. Centre Suisse de Cartographie de la Faune et Ligue suisse pour la protection de la nature. Documenta faunistica Helvetiae. Neuchâtel, Bâle. (208 p.).
- Lamancusa, J. S. (2009). *Noise control : Outdoor sound propagation*. (19 p.). Consulté à l'adresse : http://saintecroix-relax.ch/wp-content/uploads/2016/06/10_osp.pdf
- Life Croaa - Société Herpétologique de France. (2020). *Le cas des Amphibiens exotiques envahissants*. Consulté le 14 juin 2020 à l'adresse : <https://www.life-croaa.eu/le-cas-des-amphibiens-exotiques-envahissants/>
- Lyytimäki, J., & Faehnle, M. (2009). *Hopping on one leg – The challenge of ecosystem disservices for urban green management*. Urban Forestry & Urban Greening, pp. 309-315. Doi: 10.1016/j.ufug.2009.09.003
- Lyytimäki, J., Petersen, L. K., Normander, B., & Bezák, P. (2008). *Nature as a nuisance? Ecosystem services and disservices to urban lifestyle*. Environmental Sciences, pp. 161-172. Doi : 10.1080/15693430802055524
- Maekawa, Z. (1968). *Noise reduction by screens*. Applied Acoustics, pp. 157-173. Doi : 10.1016/0003-682X(68)90020-0
- Mainka, S., MacNeely, J. A., Jackson, B., & Devitre, D. (2005). *La nature dont nous dépendons : Les services écosystémiques soutiennent les moyens d'existence*. UICN-Union mondiale pour la nature. (43 p.).
- Maughan, N. (2010). *La valorisation et la protection de la biodiversité en zone urbaine : Mise en perspective d'une tendance à travers les notions de nuisances et de risques*. Riséo, 2010-3, pp. 29-71.
- Maughan, N. (2014). *Perspectives et limites de l'utilisation du concept de services écosystémiques dans les procédures de restauration écologique des rivières*

- urbaines. Eau, Milieux et Aménagement. Une Recherche Au Service Des Territoires, pp. 63-79.
- Meilland, M. (2018). *Evaluation sociale des plans d'eau des parcs publics urbains*. ISARA. Lyon. (30 p.).
- MESURE DU NIVEAU SONORE | NoiseCapture | Android. (2019, mars 4). Consulté le 13 août 2020 à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=YjbGWkoqllQ>
- Meyer, A., Zumbach, S., Schmidt, B., & Monney, J.-Cl. (2009). *Les amphibiens et les reptiles de Suisse* (1^{ère} édition). Haupt Berne. (336 p.).
- Moineau Instruments. (2020a). *Calibrateur 94dB et 114dB pour sonomètre*. Moineau Instruments. Consulté le 8 juin 2020 à l'adresse : <https://moineau-instruments.com/sonometre/2-calibrateur-94db-et-114db-pour-sonometre-0050si.html>
- Moineau Instruments. (2020b). *Notice d'emploi—Ref 8852SI - Sonomètre digital enregistreur autonome avec logiciel*. Consulté le 8 juin 2020 à l'adresse : <https://moineau-instruments.com/sonometre/473-sonometre-digital-enregistreur-autonome-8852si.html>
- Moineau Instruments. (2020c). *Sonomètre digital avec fonction enregistreur autonome pour exploitation sur PC*. Moineau Instruments. Consulté le 8 juin 2020 à l'adresse : <https://moineau-instruments.com/sonometre/473-sonometre-digital-enregistreur-autonome-8852si.html>
- Mollov, I., Boyadzhiev, P., & Donev, A. (2010). *Trophic role of the Marsh frog Pelophylax ridibundus (Pallas, 1771) (Amphibia, Anura) in the aquatic ecosystems*. Bulgarian Journal of Agricultural Science, pp. 298-306.
- Morardet, S. (2009). *Evaluation économique des services rendus par les zones humides en France : Synthèse des travaux existants*. Rapport de la convention Cemagref. Onema. Montpellier. (39 p.). Consulté à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02596503/document>
- Nations Unies. (1992). *Convention sur la diversité biologique* (32 p.).
- Oertli, B., & Frossard, P.-A. (2013). *Mares et étangs : Ecologie, conservation, gestion, valorisation*. PPUR Presses polytechniques. (504 p.).
- Oertli, B., Frossard, P.-A., & Ilg, C. (2014). *Mares et étangs urbains : Hot-spots de biodiversité au coeur de la ville ? - « MarVille »*. Hepia. (99 p.).
- Oertli, B., & Parris, K. M. (2019). *Review paper—Urban ponds : Towards management for freshwater biodiversity*. Ecosphere. (33 p.). Doi: 10.1002/ecs2.2810
- OFEV (Éd.). (2005). *Liste rouge des espèces menacées en Suisse : Amphibiens*. (48 p.). Consulté à l'adresse : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite/publications/publications-biodiversite/liste-rouge-amphibiens.html>
- OFEV (Éd.). (2011). *Invasive alien species in Switzerland—Factsheets*. Office fédéral de l'environnement. (204 p.).
- OFEV (Éd.). (2012). *Stratégie Biodiversité Suisse*. Office fédéral de l'environnement. (89 p.).
- OFEV (Éd.). (2014). *Evaluation des bruits quotidiens. Aide à l'exécution pour les bruits quotidiens*. Office fédéral de l'environnement. (58 p.).
- OFEV (Éd.). (2016). *Stratégie de la Suisse relative aux espèces exotiques envahissantes*. Office fédéral de l'environnement. (85 p.).
- Parlement européen et Conseil de l'Europe. (2013). *Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil relatif à la prévention et à la gestion de*

- Pelloté, F., Clergeau, P., Pascal, M., Haury, J., Magnanon, S., Pagny, J., Camenen, E., & Siorat, F. (2019). *Principales espèces exotiques envahissantes en Bretagne : Écologie, histoire, impacts*. (231 p.).
- Picaut, J., Fortin, N., Bocher, E., Petit, G., Aumond, P., & Guillaume, G. (2019). *An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones*. *Building and Environment*, pp. 20-33. Doi: 10.1016/j.buildenv.2018.10.049
- Ryser, J., Borgula, A., Fallot, P., Kohli, E., & Zumbach, S. (2002). *Inventaire fédéral des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale*. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). Berne. (75 p.).
- Sarat, E., Dutartre, A., & Mazaubert, E. (2015). *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques—Connaissances pratiques et expériences de gestion*. Comprendre pour agir, Onema. (250 p.).
- Société Française d'Acoustique – Groupe d'Acoustique du Bâtiment et de l'Environnement (SFA-GABE). (2020). *Propagation acoustique*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : <https://sites.google.com/site/sfagabe/themes/acoustique-de-l-environnement/propagation-acoustique-en-milieu-exterieur>
- Shapiro, J., & Báldi, A. (2014). *Accurate accounting : How to balance ecosystem services and disservices*. *Ecosystem Services*, pp. 201-202. Doi: 10.1016/j.ecoser.2014.01.002
- SuvaPro. (2009). *Wie bitte? Unterrichtspaket zu Lärm und Hörschäden*. (22 p.). Consulté à l'adresse : www.suva.ch/wie-bitte
- Swiss Geoportal. (2020). *geo.admin.ch*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : <https://map.geo.admin.ch>
- Teligos. (2020). *Les projets du Parc de Franchises*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : <https://lamaisonduparc.ch/les-projets-du-parc-de-franchises/>
- Thiébaud, J., Barbu, L., & Burgmeister, J. (2013). *Suivis batrachologiques 2013—Inventaire et recommandations*. KARCH-GE. (39 p.).
- Thiébaud, J., & Dändliker, G. (2008). *Sites de reproduction de batraciens d'importance nationale du canton de Genève—Etat des populations en 2008, description et gestion des sites*. Direction générale de la nature et du paysage (DGNP). (40 p.).
- Ville du Grand-Saconnex, & Pro Natura. (2014). *L'espace naturel des Préjins*. Consulté le 12 août 2020 à l'adresse : https://www.grand-saconnex.ch/multimedia/docs/2014/05/Fiche_4_EspaceNatureldesPrejins.pdf
- Wittenberg, R. (Éd.). (2006). *Espèces exotiques en Suisse. Inventaire des espèces exotiques et des menaces qu'elles représentent pour la diversité biologique et l'économie en Suisse*. Connaissance de l'environnement, Office fédéral de l'environnement (OFEV). (154 p.).
- Yousaf, S., Mahmood, T., Rais, M., & Qureshi, I. Z. (2010). *Population Variation and Food Habits of Ranid Frogs in the Rice-Based Cropping System in Gujranwala Region, Pakistan*. *Asian Herpetological Research*, pp. 123-130. Doi: 10.3724/SP.J.1245.2010.00123
- Zürcher, C., Frank, T., & Compagnon, R. (2014). *Propagation du son à l'extérieur*. In *Physique du bâtiment: Construction et énergie*. Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, pp. 189-194.

Annexes

Thèse de Bachelor présentée par :
Cécile DONATI

pour l'obtention du titre Bachelor of Science HES-SO en Gestion de la Nature

Liste des annexes

Annexe 1 Espèces exotiques envahissantes dont la gestion est considérée comme prioritaire sur le territoire du Grand Genève	55
Annexe 2 Répartition de la grenouille rieuse en Suisse	56
Annexe 3 Articles de journaux sur la problématique des nuisances sonores engendrées par les grenouilles rieuses	57
Annexe 4 Localisation des 94 mares étudiées lors du projet Marville sur le canton de Genève	58
Annexe 5 Localisation des quatre mares et étangs sélectionnés sur le canton de Genève.....	59
Annexe 6 Localisation des deux mares urbaines sélectionnées à Yverdon-les-Bains (District du Jura-Nord vaudois, VD)	60
Annexe 7 Illustrations des plans d'eau 1) du parc des Franchises, 2) du chemin des Préjins, 3) du Jardin de la Paix, 4) de l'avenue des Sciences, 5) des Jardins du Cœur et 6) du centre horticole de Lullier	61
Annexe 8 Questionnaire	67
Annexe 9 Avantages, inconvénients et contraintes des types de questions employées dans le questionnaire	71
Annexe 10 Protocole pour les mesures des émissions et immissions sonores avec l'application <i>NoiseCapture</i>	72
Annexe 11 Illustrations et emplacements des sonomètres posés 1) au bord de la mare de Lullier, 2) dans le bâtiment en préfabriqué de Lullier et 3) au bord de l'étang du parc des Franchises.....	78
Annexe 12 Moyennes et médianes correspondantes au nombre de taxons d'Odonates, de Gastéropodes, de Coléoptères, d'Amphibiens et de plantes aquatiques relevés en présence et absence de grenouilles rieuses.....	83
Annexe 13 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain à l'étang du parc des Franchises avec l'application <i>NoiseCapture</i> (données brutes)	84
Annexe 14 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain au bassin du Jardin de la Paix avec l'application <i>NoiseCapture</i> (données brutes).....	86
Annexe 15 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain à la mare des Jardins du Cœur avec l'application <i>NoiseCapture</i> (données brutes)	87
Annexe 16 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain à la mare de l'avenue des Sciences avec l'application <i>NoiseCapture</i> (données brutes).....	88
Annexe 17 Tableau des valeurs moyennes, maximales et minimales des niveaux sonores relevés (en dB(A)) selon la distance par rapport au bord des cinq plans d'eau	89
Annexe 18 Niveaux sonores maximums (en dB(A) et %) et atténuation du niveau sonore (en %) en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau.....	90
Annexe 19 Propagation du niveau sonore maximum en champ libre : étang du parc des Franchises (GE)	91
Annexe 20 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : bassin du Jardin de la Paix (GE)	92

Annexe 21 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : mare des Jardins du Cœur (District du Jura-Nord vaudois, VD)	93
Annexe 22 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : mare de l'avenue des Sciences (District du Jura-Nord vaudois, VD)	94
Annexe 23 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : mare du chemin des Préjins (GE)	95
Annexe 24 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : étang du parc des Franchises (GE)	96
Annexe 25 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : bassin du Jardin de la Paix (GE)	97
Annexe 26 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : mare des Jardins du Cœur (District du Jura-Nord vaudois, VD)	98
Annexe 27 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : mare de l'avenue des Sciences (District du Jura-Nord vaudois, VD)	99
Annexe 28 Atténuation du niveau sonore par différents types d'obstacles	100
Annexe 29 Influence de différents types d'obstacles sur la propagation du son	103
Annexe 30 Comparaison du niveau sonore enregistré en continu durant les nuits du 02.07 au 07.07 dans les bâtiments en préfabriqué et au bord de la mare de Lullier	104
Annexe 31 Comparaison des émissions sonores entre deux populations de grenouilles rieuses de différentes densités	107

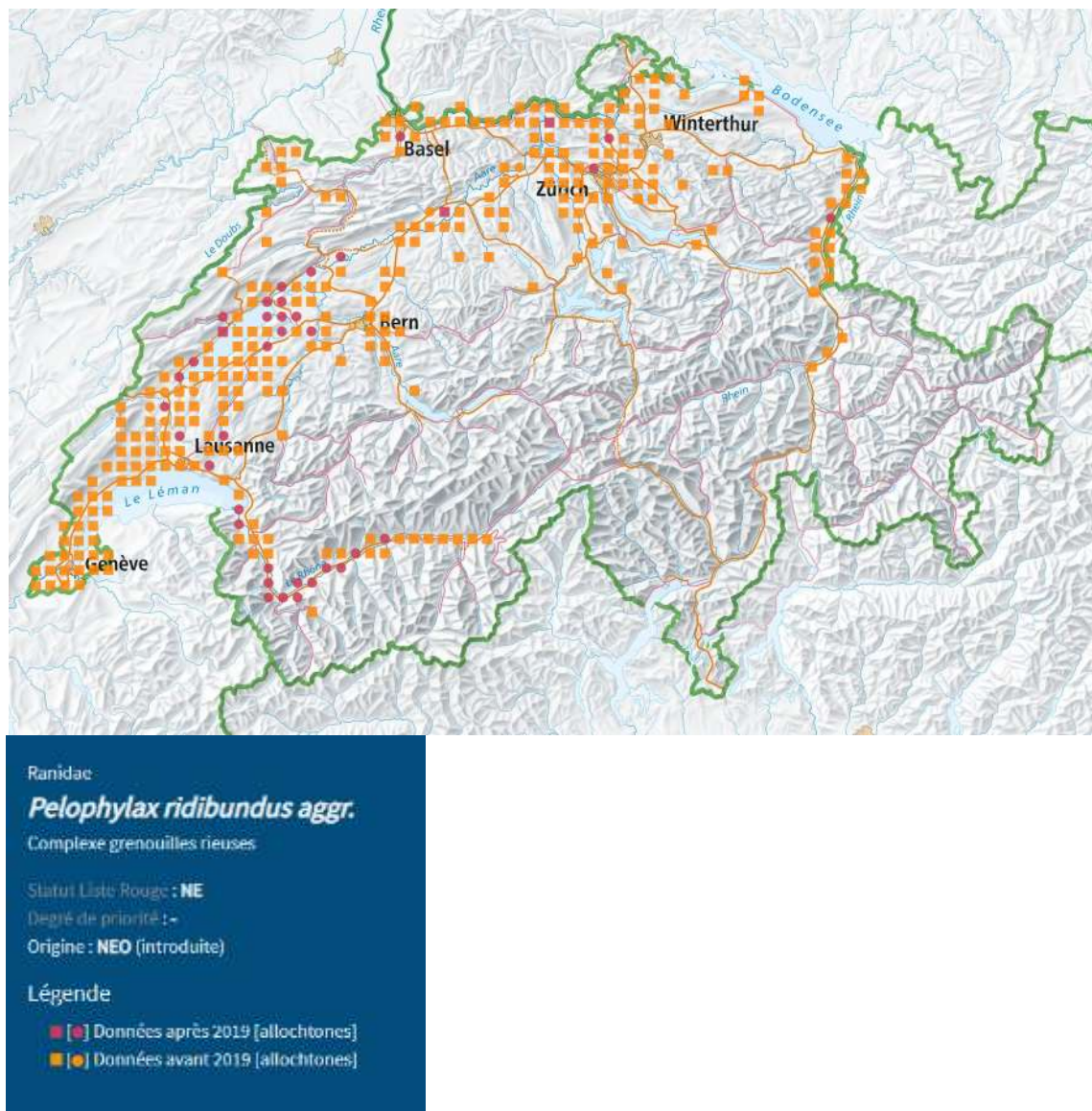
Annexe 1 Espèces exotiques envahissantes dont la gestion est considérée comme prioritaire sur le territoire du Grand Genève

Source : Charollais et al. (2014)

	Nom latin	Nom vernaculaire
Espèces végétales	<i>Heracleum mantegazzianum</i> Sommier & Levier	Berce du Caucase
	<i>Reynoutria</i> sp.	Renouées
	<i>Ambrosia artemisifolia</i> L.	Ambroisie
	<i>Solidago canadensis</i> L.	Solidage du canada
	<i>Solidago gigantea</i> Aiton	Solidage géant
	<i>Impatiens glandulifera</i> Royle	Balsamine
Dans une moindre mesure	<i>Buddleia davidii</i> Franch.	Buddleia
	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Ailante
	<i>Ludwigia grandiflora</i> (Michx.) Greuter & Burdet	Jussie à grandes fleurs
	<i>Prunus laurocerasus</i> L.	Laurier-cerise
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Robinier faux acacia
	<i>Senecio inaequidens</i> DC.	Séneçon du Cap
Espèces animales	<i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852)	Ecrevisse signal
	<i>Orconectes limosus</i> (Rafinesque, 1817)	Ecrevisse américaine
	<i>Sciurus carolinensis</i> Gmelin, 1788	Ecureuil gris
	<i>Vespa velutina</i> Lepeletier, 1836	Frelon asiatique
	<i>Aedes albopictus</i> (Skuse, 1894)	Moustique tigre
	<i>Myocastor coypus</i> (Molina, 1782)	Ragondin
	<i>Triturus carnifex</i> (Laurenti, 1768)	Triton crêté italien
Dans une moindre mesure	<i>Trachemys scripta elegans</i> (Wied, 1839)	Tortue de Floride
	<i>Tamias sibiricus</i> Laxmann, 1769	Tamias de Sibérie
	<i>Anoplophora glabripennis</i> (Motschulsky, 1853)	Capricorne asiatique
	<i>Dikerogammarus villosus</i> Sowinsky, 1894	Gammare du Danube
	<i>Rana ridibunda</i> (Pallas, 1771)	Grenouille rieuse
	<i>Lithobates catesbeianus</i> (Shaw, 1802)	Grenouille taureau
	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)	Pseudorasbora
	<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	Perche soleil

Annexe 2 Répartition de la grenouille rieuse en Suisse

Source : Infofauna (2020)



Annexe 3 Articles de journaux sur la problématique des nuisances sonores engendrées par les grenouilles rieuses

Sources : ATS (2016), ATS & JOP (2016), Fontaine (2016)

St-Gall: des grenouilles rieuses envahissantes pourrissent la vie des habitants du Rheintal

TAPAGE Cela fait plus de 40 ans qu'elle a débarqué dans le canton de St-Gall. La grenouille rieuse est une espèce envahissante qui devait finir dans nos assiettes mais qui s'est échappée et multipliée. Petite particularité, son coassement peut atteindre les 90 décibels. Dans le district du Rheintal, les habitants n'en peuvent plus et les autorités ont dû prendre des mesures.

Une invasion de grenouilles rieuses perturbe le sommeil du Rheintal

Nonante décibels

En 2013, la commune de Ruggell, au Liechtenstein, a installé un étang au milieu du village. Le plan d'eau a vite été colonisé par la grenouille rieuse, au grand dam des villageois. En effet, le coassement du batracien peut atteindre jusqu'à 90 décibels, et lorsqu'ils sont en chœur, ils font plus de bruit qu'un marteau-piqueur. Face aux plaintes des habitants, l'étang a été comblé avec du gravier.

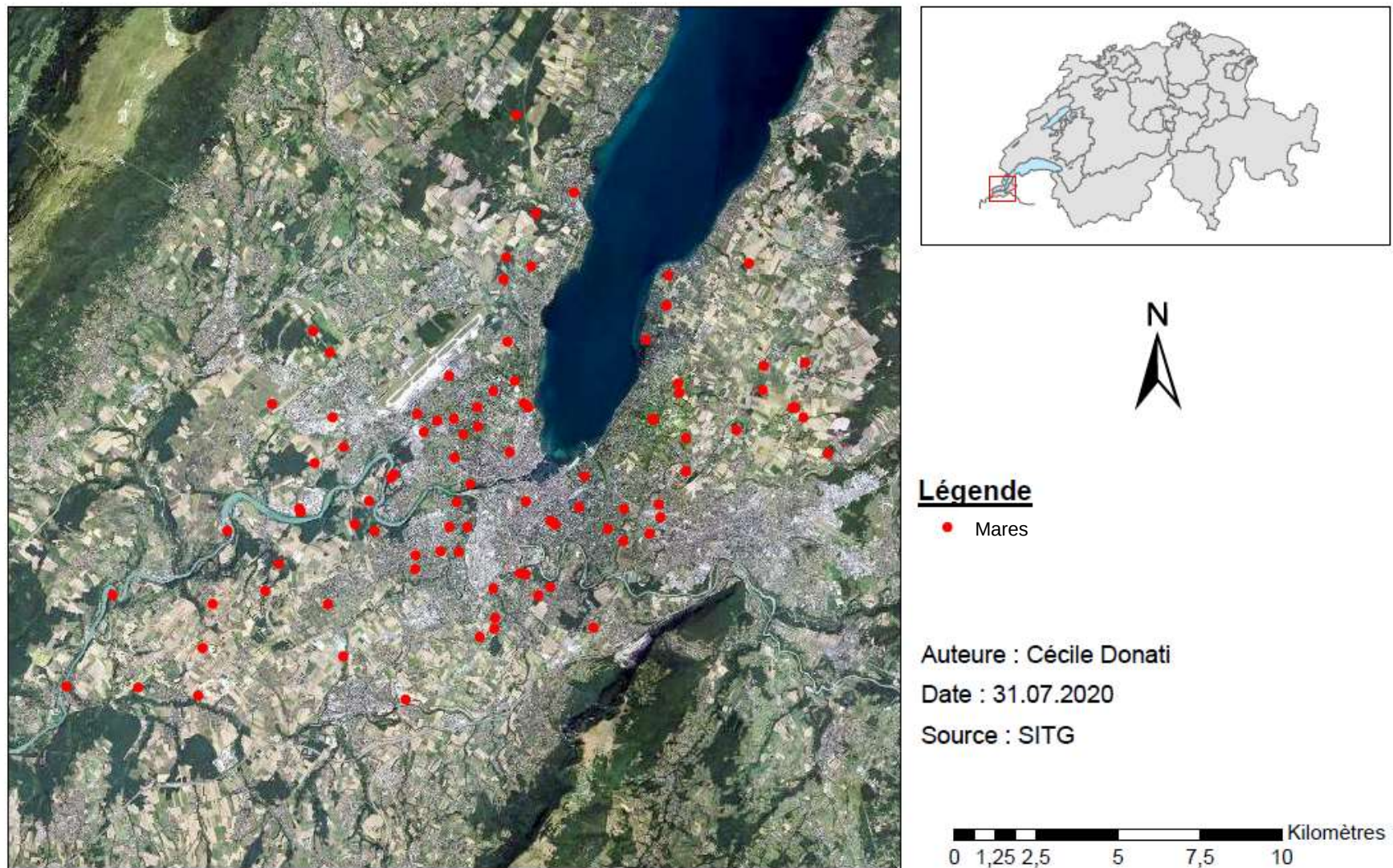
VIDEO - Dordogne : condamnés par la justice car les grenouilles de leur mare font trop de bruit

Mercredi 6 juin 2016 à 20:31 - Par Benjamin Fontaine, France Bleu Périgord, France Bleu

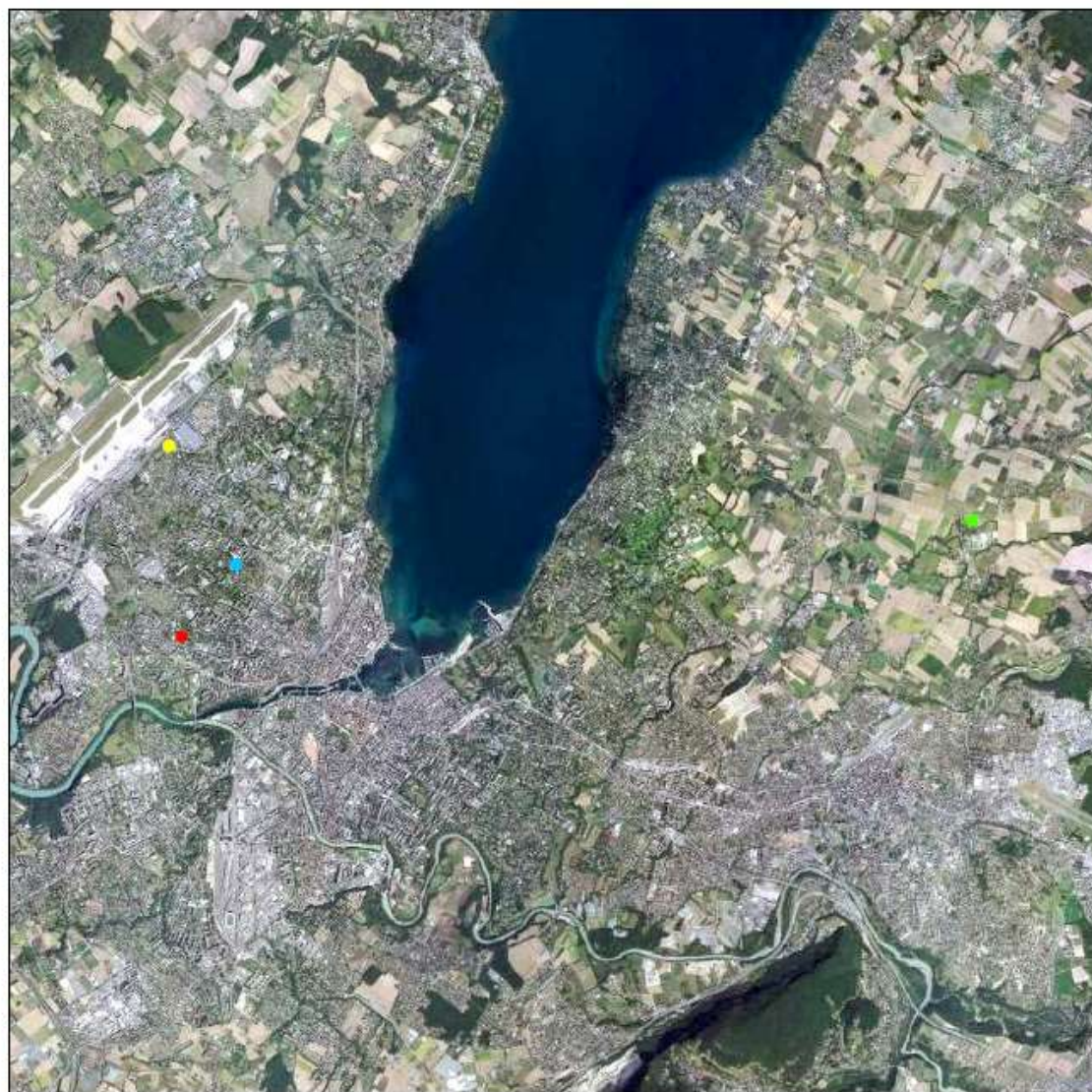
Des nuisances estimées à 63 décibels

Un expert aurait jaugé la nuisance à 63 décibels. "C'est vrai que ça fait du bruit, mais il n'y a pas plus d'une trentaine de grenouilles, il ne faut pas exagérer," soupire Michel. "On est à la campagne, c'est malheureux de ne pas pouvoir supporter le bruit des animaux." **Les voisins assurent que la situation est pourtant invivable**, ils remettent aussi en cause la légalité de la mare. "Elle est au cadastre, je l'ai même déplacée, avant elle était au pied de leur mur, je pensais bien faire," se défend Michel.

Annexe 4 Localisation des 94 mares étudiées lors du projet Marville sur le canton de Genève



Annexe 5 Localisation des quatre mares et étangs sélectionnés sur le canton de Genève



Légende

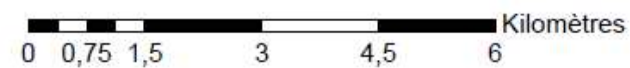
Noms des mares et étangs

- Bassin du Jardin de la Paix
- Mare du centre horticole de Lullier
- Mare du chemin des Préjins
- Etang du parc des Franchises

Auteure : Cécile Donati

Date : 31.07.2020

Source : SITG



Annexe 6 Localisation des deux mares urbaines sélectionnées à Yverdon-les-Bains (District du Jura-Nord vaudois, VD)



Légende

Noms des mares

- Mare de l'avenue des Sciences
- Mare des Jardins du Cœur

Auteure : Cécile Donati

Date : 31.07.2020

Source : SITG



0 0,33 0,65 1,3 1,95 2,6 Kilomètres

Annexe 7 Illustrations des plans d'eau 1) du parc des Franchises, 2) du chemin des Préjins, 3) du Jardin de la Paix, 4) de l'avenue des Sciences, 5) des Jardins du Cœur et 6) du centre horticole de Lullier



1)



1)



2)



2)



3)



3)



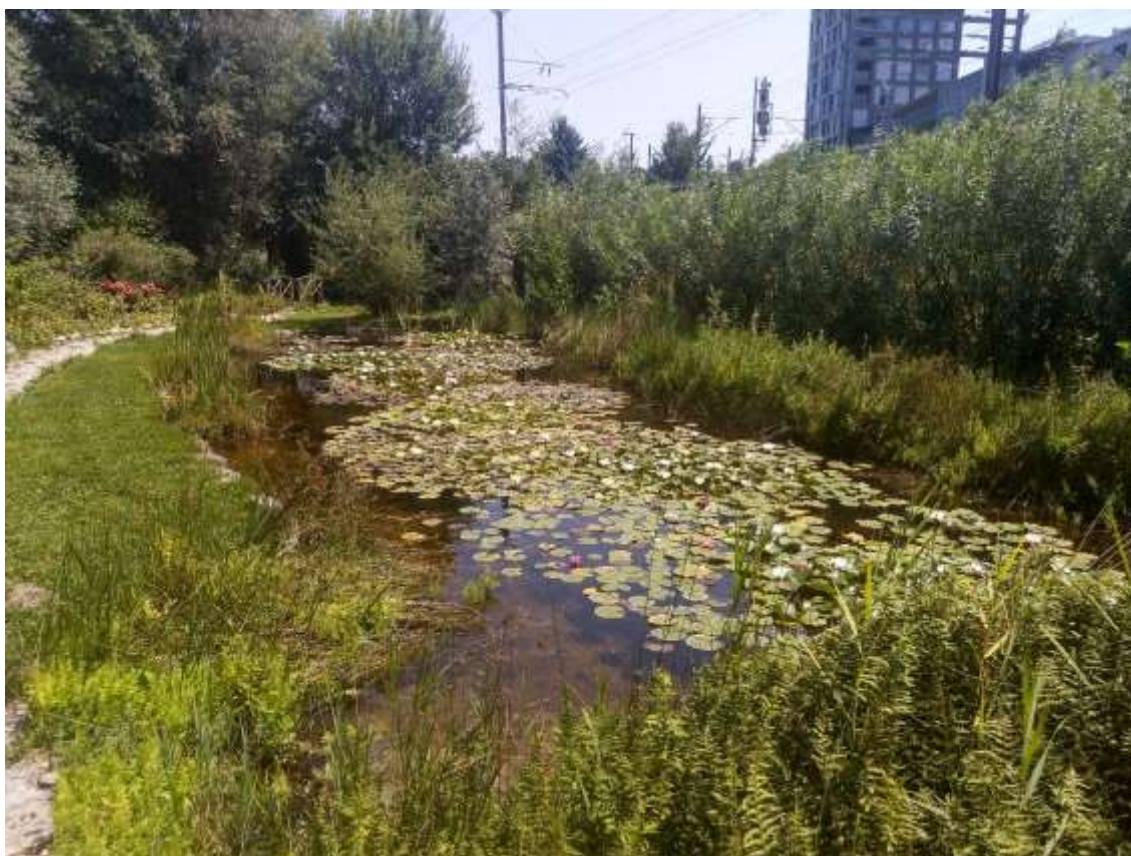
4)



4)



5)



5)



6)



6)

Annexe 8 Questionnaire¹⁹

Ce questionnaire est destiné aux riverains des mares et étangs étudiés et aux promeneurs passant à proximité de ces plans d'eau.

Objectif : évaluer et tenter de définir la perception et le ressenti de la population vis-à-vis de la présence de la grenouille rieuse, et donc de potentielles nuisances sonores, dans les mares et étangs urbains.

Présentation de l'enquête aux interrogés :

- Se munir d'un gilet fluorescent pour plus de visibilité
- Se présenter rapidement et succinctement
- Présenter le sujet et le cadre de l'enquête
- Informer les enquêtés de la durée du questionnaire (5 à 7 minutes)
- Informer les enquêtés de la préservation totale de leur anonymat

Question préliminaire

1. Avant de débuter, j'aimerais savoir si vous êtes riverains (dans un rayon de 500 mètres) ou si vous êtes « simplement » promeneur ?

☐ Riverain

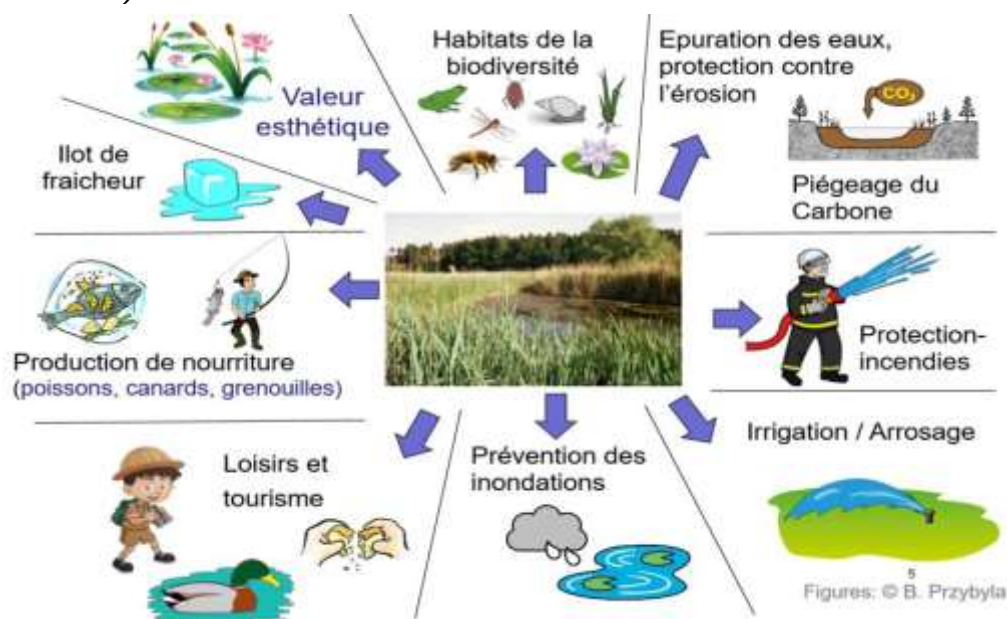
☐ Promeneur

Habitat : mares et étangs

2. Quelle est la contribution du plan d'eau à votre vie quotidienne/à votre expérience dans le parc ?

☐ Dégrade beaucoup ☐ Dégrade ☐ Aucun effet ☐ Améliore ☐ Améliore beaucoup ☐ Aucun avis

3. Choisissez les fonctions des plans d'eau qui vous semblent importantes (entre 0 et 2 fonctions).



Les plans d'eau en ville remplissent des fonctions mises en évidence sur cette figure © Barbara Przybyla

¹⁹ Certaines questions sont inspirées de Meilland (2018).

4. Choisissez entre 1 et 2 éléments de bien-être que pourraient vous apporter les plans d'eau:

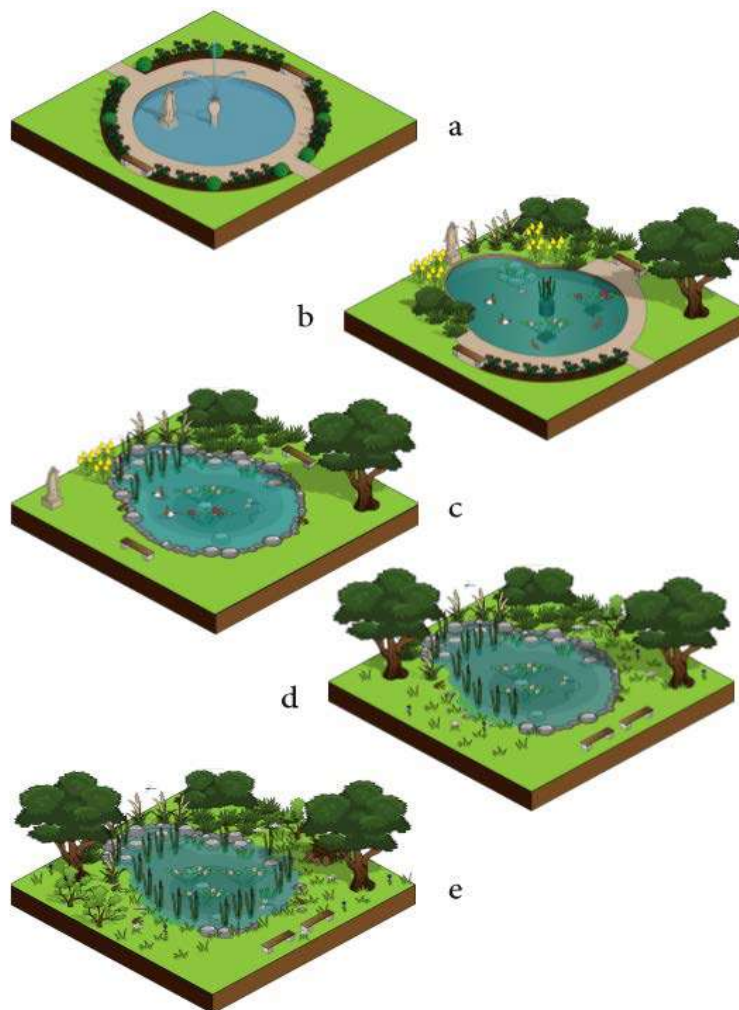
- ☐ Aucun ☐ Impact sur la santé physique et morale ☐ Création d'un ilot de fraîcheur
☐ Caractère ressourçant de la nature ☐ Absence de bruit ☐ Création d'un lien social
☐ Présence de fleurs et d'animaux aquatiques ☐ Beauté du paysage ☐ Lieu de promenade
☐ Qualité de l'air ☐ Autre : _____

5. Choisissez entre 1 et 2 inconvénients/risques que pourraient engendrer les plans d'eau sur vous :

- ☐ Aucun ☐ Présence de déchets ☐ Présence d'amas d'algues ☐ Moustiques
☐ Mauvaises odeurs ☐ Risque de noyade (sans barrière) ☐ Présence d'insectes
☐ Présence de rongeurs ☐ Nuisances sonores (grenouilles) ☐ Risque d'inondation
☐ Autre : _____

6. Quel plan d'eau préférez-vous parmi ceux représentés sur ces 5 images ?

- ☐ a ☐ b ☐ c ☐ d ☐ e ☐ Aucun avis



Dessin de 5 étangs selon un gradient de naturalité. © Barbara Przybyla

7. Quels éléments doivent être inclus dans les mares/étangs pour être appréciés par vous (choisir entre 1 et 2 propositions) ?

- ☐ Présence d'animaux ☐ Présence de fleurs colorées et de végétation sur les rives du plan d'eau
☐ Présence de plantes aquatiques sous l'eau et sur l'eau (ex. Nénuphars) ☐ Arbre et ombrage
☐ Eau claire et propre ☐ Fontaine ☐ Ruisseau ☐ Décor artistique (pont, statue, etc.)
☐ Autre : _____

8. Quels animaux présents dans les plans d'eau sont les plus appréciés par vous (choisir entre 1 et 2 réponses) ?

- ☐ Aucun ☐ Poissons ☐ Canards ☐ Autres oiseaux ☐ Insectes ☐ Libellules colorées
☐ Grenouilles ☐ Tritons ☐ Crapauds ☐ Tortues ☐ Autre : _____

9. Quels animaux présents dans les plans d'eau ne sont pas appréciés par vous (choisir entre 1 et 2 réponses) ?

- ☐ Aucun ☐ Poissons ☐ Canards ☐ Autres oiseaux ☐ Insectes ☐ Libellules colorées
☐ Grenouilles ☐ Tritons ☐ Crapauds ☐ Tortues ☐ Autre : _____

10. De manière générale, seriez-vous favorable à la création de plans d'eau proche de chez vous ?

- ☐ Non ☐ Un peu favorable ☐ Moyennement favorable ☐ Très favorable ☐ Aucun avis

10a. En quelques mots clés, pourriez-vous expliquer pourquoi ?

Les sons provenant du plan d'eau

11. Lorsque vous êtes chez vous/ vous vous promenez ici, percevez-vous des sons provenant du plan d'eau à proximité ?

- ☐ Oui ☐ Non

- Si vous avez répondu « non », le questionnaire s'arrête ici.

11a. Quels sont les sons que vous percevez ?

11b. Que vous évoque ces sons ?

- ☐ Rien ☐ Nature ☐ Tranquillité ☐ Dérangeant ☐ Autre : _____

11c. Quelle est l'effet de ces sons sur votre vie quotidienne/sur votre expérience dans le parc ?

- ☐ Dégrade beaucoup ☐ Dégrade ☐ Aucun effet ☐ Améliore ☐ Améliore beaucoup ☐ Aucun avis

Le chant des grenouilles (questions à poser uniquement si les grenouilles ont été mentionnées spontanément dans les questions précédentes)

12. Selon vous, le chant des grenouilles contribue-t-il à votre bien-être ?

☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Moyennement ☐ Beaucoup ☐ Aucun avis

13. Selon vous, le chant des grenouilles engendre-t-il des inconvénients sur vous ?

☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Moyennement ☐ Beaucoup ☐ Aucun avis

14. Est-ce que le chant des grenouilles a un effet sur votre sommeil (questions uniquement pour les riverains) ?

☐ Dégrade beaucoup ☐ Dégrade ☐ Aucun effet ☐ Améliore ☐ Améliore beaucoup ☐ Aucun avis

15. Pour les personnes étant dérangées par le chant des grenouilles : quel est le moment de la journée où ces chants causent le plus de dérangements ?

☐ Matin ☐ Midi ☐ Après-midi ☐ Soir ☐ Nuit

16. Je terminerai simplement en vous demandant dans quelle tranche d'âge vous vous situez.

☐ -25 ans ☐ 25-34 ans ☐ 35-49 ans ☐ 50-65 ans ☐ +65 ans ☐ Ne souhaite pas répondre

Annexe 9 Avantages, inconvénients et contraintes des types de questions employées dans le questionnaire

Source : Fenneteau (2015)

	Caractéristiques	Contraintes	Avantages	Inconvénients
Questions ouvertes	Aucune modalité de réponse n'est proposée	Reproduction exacte des dires de l'enquêtés	Incitation à l'expression libre	Certaines réponses peuvent s'avérer floues et difficiles à exploiter
		Limitation des réponses (limites dans la collecte des réponses)	Avis plus facilement critique de la part des enquêtés	
		Traitement des questions lourd	Réponses obtenues spontanées	
Questions fermées	Liste de modalités de réponses fournie	Complexité dans l'élaboration de la liste (modalités exhaustives, homogènes, exclusives et équilibrées)	Simplicité dans la collecte des réponses	Simplifications réductrices
			Obtention d'informations standardisées	Les enquêtés raisonnent selon une liste imposée
			Codification des informations immédiate (par rapport aux questions ouvertes)	La répétition des questions fermées peut être lassante
Questions mixtes	Accompagnées d'une liste de modalités de réponses et partiellement ouverte avec une modalité de réponse "autre"	Complexité dans le traitement des réponses obtenues avec la modalité "autre"	Liste des modalités facilite la collecte des opinions	Ne fournissent pas de données homogènes
			Possibilité de cerner des opinions qui ne figurent pas dans la liste des modalités de réponses	
			Donne une indication sur la façon dont la question a été comprise	

Annexe 10 Protocole pour les mesures des émissions et immissions sonores avec l'application *NoiseCapture*

1. Objectifs

- 1.1. Quantifier et évaluer le niveau sonore maximum émis par les coassements des grenouilles rieuses et reçu par les riverains en l'absence d'obstacles
- 1.2. Quantifier et évaluer le niveau sonore maximum émis par les coassements des grenouilles rieuses et reçu par les riverains en présence d'obstacles
- 1.3. Évaluer l'influence de différents obstacles sur l'atténuation du niveau sonore maximum généré par les grenouilles rieuses

2. Mesures du niveau sonore

Pour l'objectif 1.1 et 1.2, les mesures doivent être effectuées à différentes distances du bord de l'étang : à 0 mètre, à 25 mètres, à 50 mètres, à 100 mètres et à 200 mètres.

Chacune des mesures à ces différentes distances devra être réalisée en simultané avec une mesure à 0 mètre du bord de l'étang (nécessite deux personnes), ceci afin de prendre en compte les cas où les grenouilles chanteraient moins/moins fort entre les différentes mesures. Ces mesures seront effectuées sur des transects prédéfinis et devront être répliquées minimum 6 fois chacune (le même jour ou un jour différent selon les conditions (vent, pluie, fatigue de l'observateur, etc.)).

Pour l'objectif 1.3, s'il y a des structures atténuant potentiellement le bruit (mur, haie, etc.), les mesures doivent être effectuées à différentes distances : à 0 mètre du bord de l'étang (avant l'obstacle) ainsi qu'à 5, 10 et 20 mètres à l'arrière de la structure (après l'obstacle). Là encore les mesures réalisées aux différentes distances devront être effectuées en simultané avec les mesures à 0 mètre du bord de l'étang (nécessite deux personnes). Ces mesures seront également réalisées sur des transects prédéfinis et devront être répliquées minimum 6 fois chacune.

La durée de chacune des mesures, tout objectif confondu, est de 5 minutes. Idéalement, les mesures doivent être réalisées lorsque les bruits parasites (trafic, public, chantier, oiseaux, etc.) sont moindres (matin, nuit tombée, nuit). En cas de forts vent, les mesures ne pourront pas être réalisées et devront être repoussées à un autre moment.

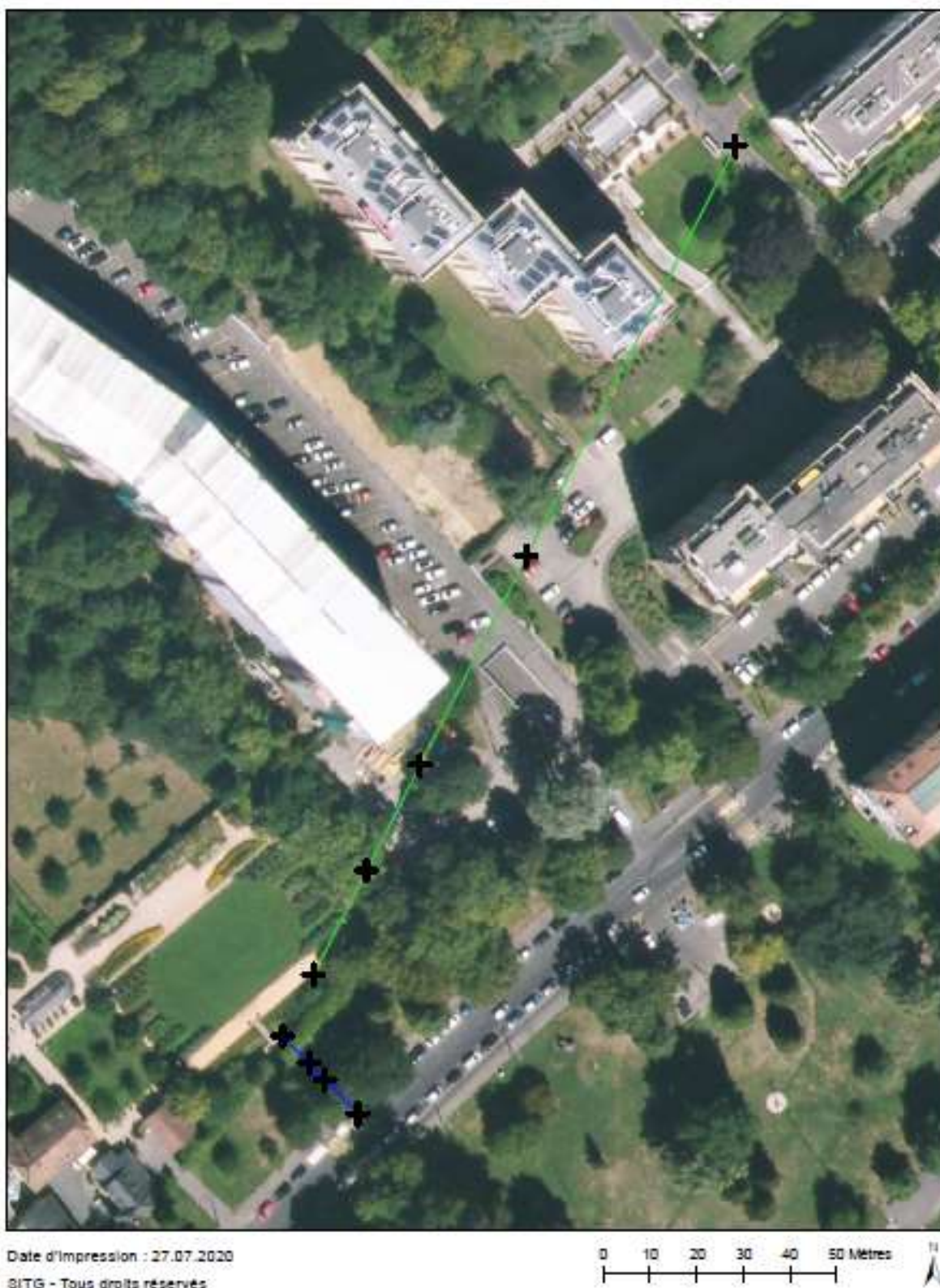
Chacun des six étangs étudiés se voit attribuer un ou plusieurs des objectifs mentionnés ci-dessus. Les transects sont définis en fonction des objectifs :

- Transect rouge pour l'objectif 1.1
- Transect vert pour l'objectif 1.2
- Transect bleu pour l'objectif 1.3

Les objectifs et transects prédéfinis pour chacun des six étangs étudiés se trouvent aux pages suivantes.

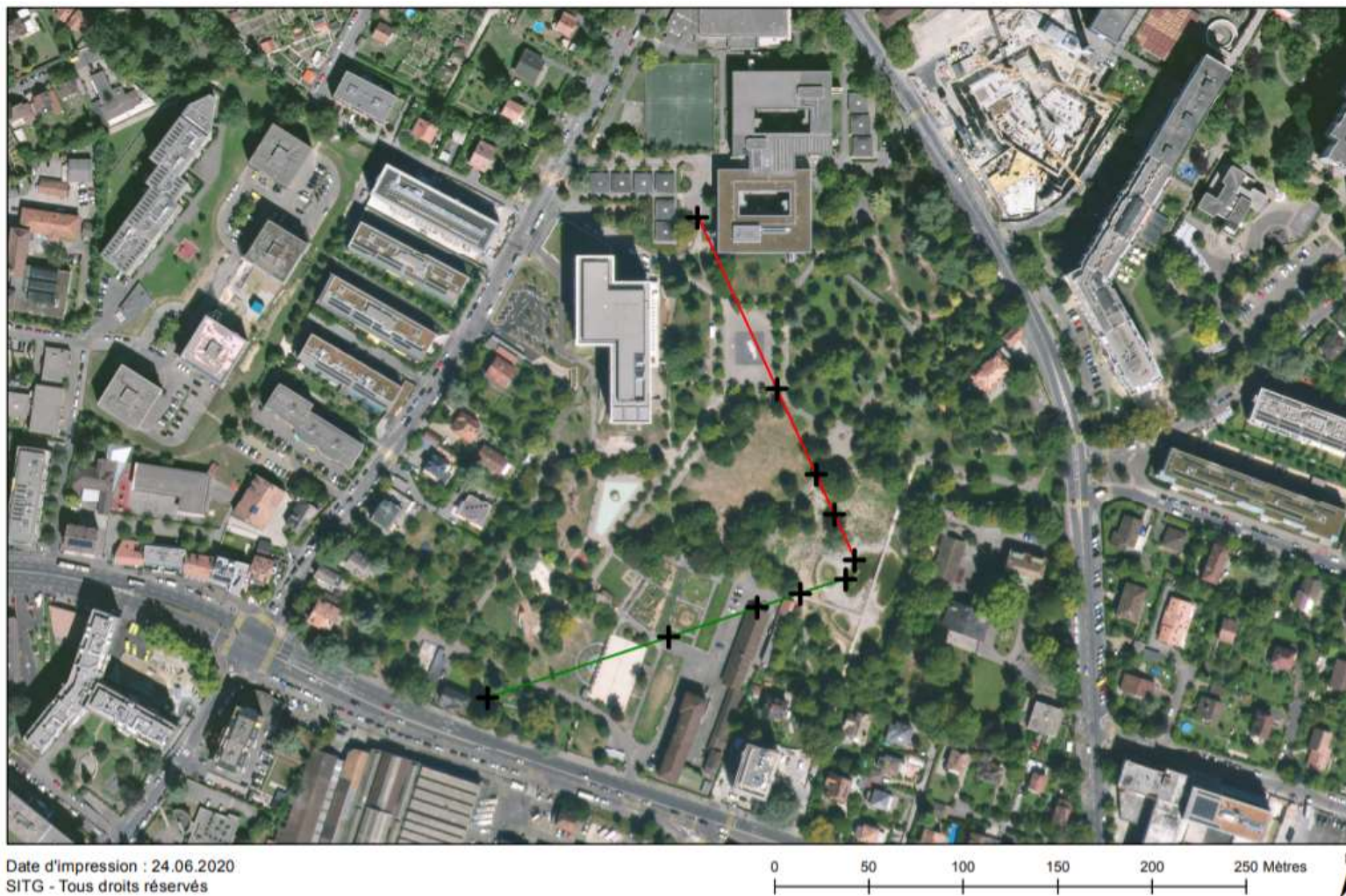
Bassin du Jardin de la Paix

- Objectifs 1.2 et 1.3
- Transects vert et bleu (cf. figure ci-dessous)



Étang du parc des Franchises

- Objectifs 1.1 et 1.2
- Transects rouge et vert (cf. figure ci-dessous)



Mare du chemin des Préjins

- Objectifs 1.2 et 1.3
- Transects vert et bleu (cf. figure ci-dessous)



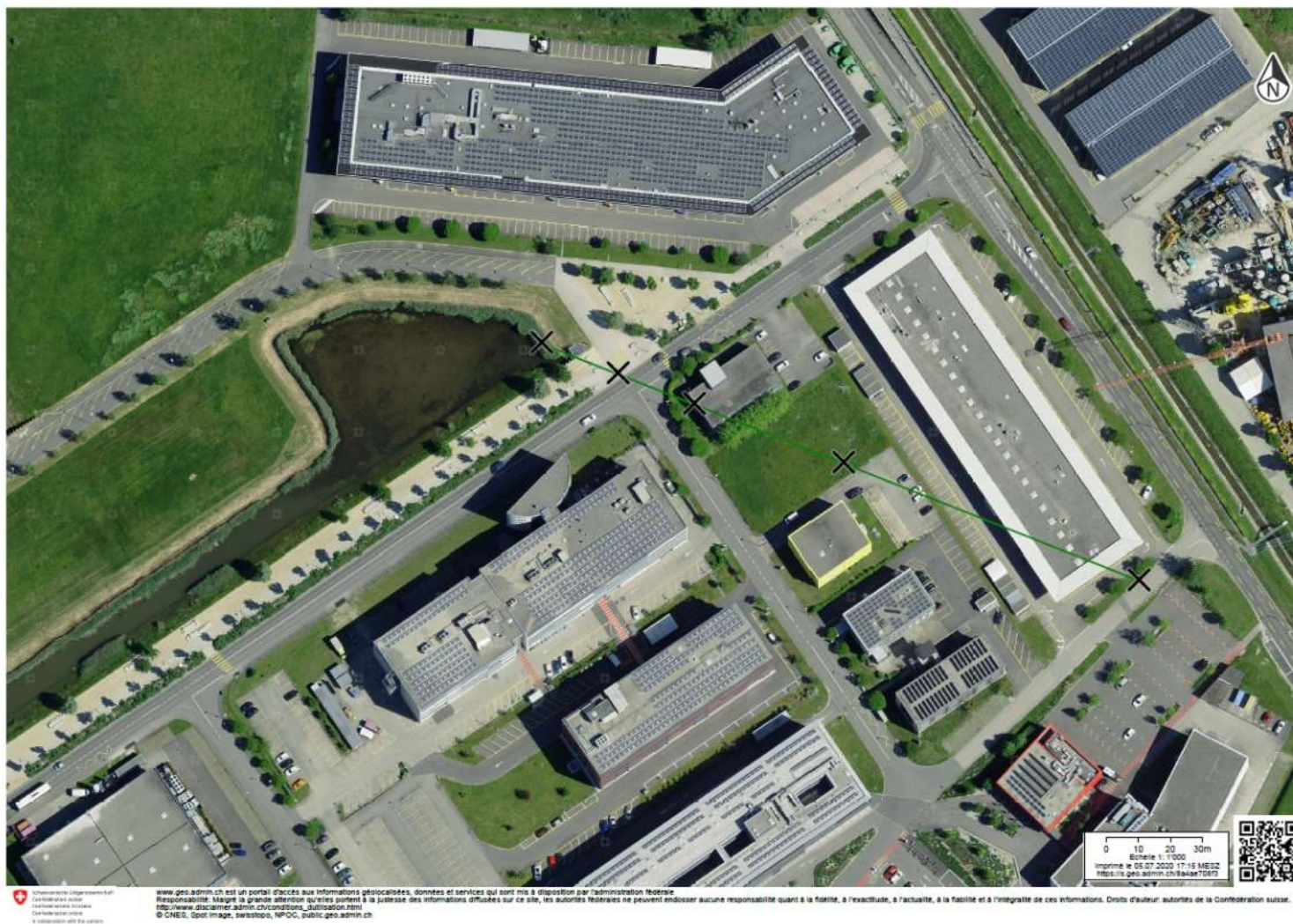
Mare des Jardins du Cœur

- Objectif 1.2
- Transect vert (cf. figure ci-dessous)



Mare de l'avenue des Sciences

- Objectif 1.2
- Transect vert (cf. figure ci-dessous)



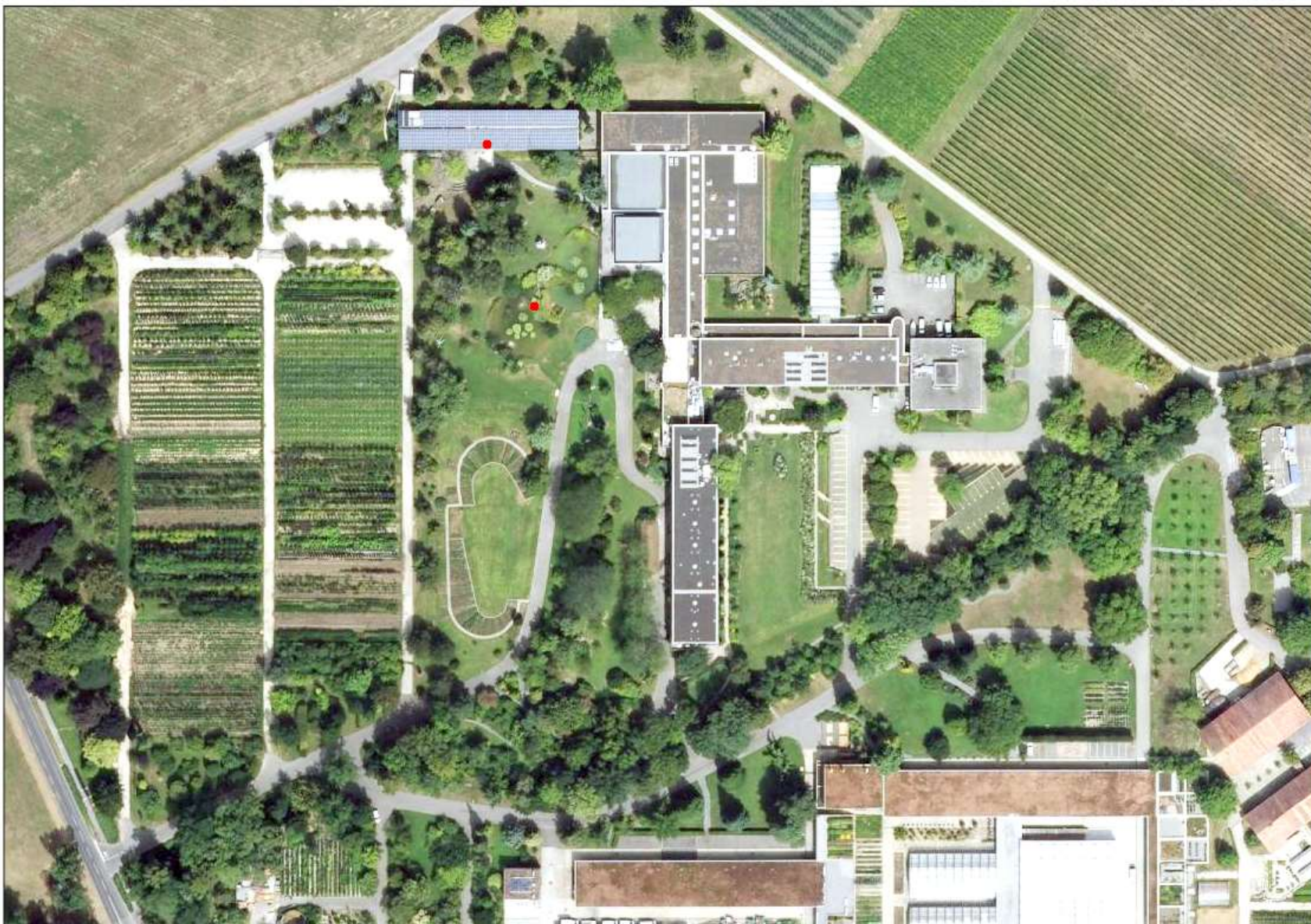
Annexe 11 Illustrations et emplacements des sonomètres posés 1) au bord de la mare de Lullier, 2) dans le bâtiment en préfabriqué de Lullier et 3) au bord de l'étang du parc des Franchises



1)

2)

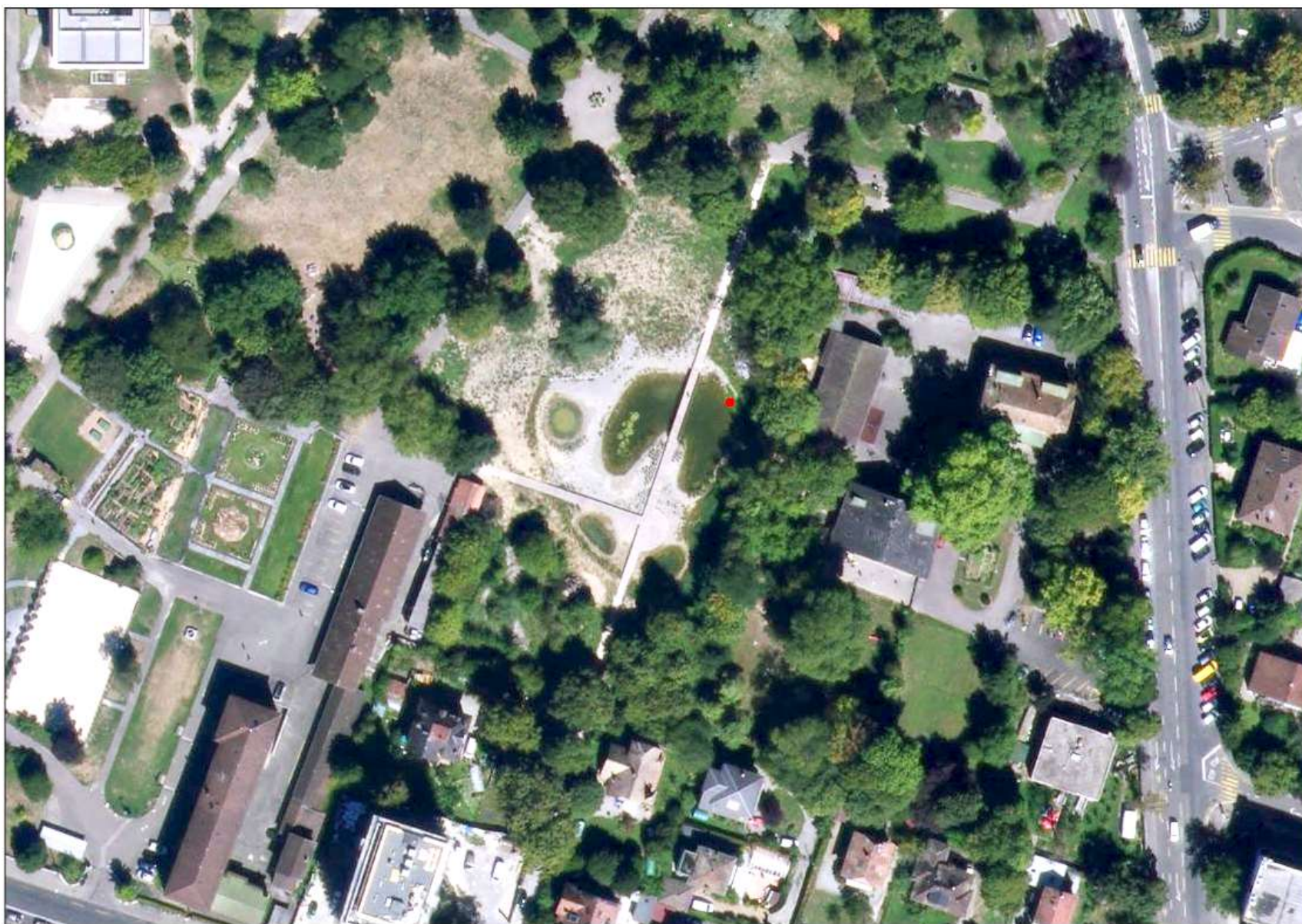




Emplacements des sonomètres à Lullier
 (Source : SITG | Carte professionnelle, 2020)



3)



**Emplacement du sonomètre au parc des Franchises
(Source : SITG | Carte professionnelle, 2020)**

Annexe 12 Moyennes et médianes correspondantes au nombre de taxons d'Odonates, de Gastéropodes, de Coléoptères, d'Amphibiens et de plantes aquatiques relevés en présence et absence de grenouilles rieuses

	Présence de grenouilles rieuses		Absence de grenouilles rieuses	
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane
Odonates	6.8	7	2.4	2
Gastéropodes	1.4	1	0.8	0
Coléoptères	2.1	1	1	0
Amphibiens	1.8	2	1.3	1
Plantes aquatiques	13	14	6	4

Annexe 13 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain à l'étang du parc des Franchises avec l'application *NoiseCapture* (données brutes)

Transect	Réplikat	Niveau sonore maximum relevé au bord de l'étang (dB(A))	Distance par rapport au bord de l'étang	Niveau sonore maximum relevé à x mètres du bord de l'étang (dB(A))	Présence d'obstacle(s)	Niveau sonore maximum en pourcent à x mètres par rapport au bord de l'étang (100%)	Moyenne des niveaux sonores maximums en pourcent à x mètres par rapport au bord de l'étang (100%)	Ecart-types
Transect rouge	1	74.3	25 mètres	68.2	Non	91.8	81.8	10.0
	2	77.3		73.1	Non	94.6		
	3	72.6		67.4	Non	92.8		
	4	89.7		55.3	Non	61.6		
	5	87.3		67.5	Non	77.3		
	6	78		70.6	Non	90.5		
	7	90.3		72.1	Non	79.8		
	8	68.4		44.6	Non	65.2		
	9	74.1		60.8	Non	82.1		
	10	72.2		58.9	Non	81.6		
	11	74.9		63	Non	84.1		
	12	73.9		62.1	Non	84.0		
	13	84.4		65.5	Non	77.6		
	1	75.8	50 mètres	65.7	Non	86.7	73.8	9.4
	2	81.1		65.4	Non	80.6		
	3	79.4		60	Non	75.6		
	4	88.8		47.6	Non	53.6		
	5	87.7		53	Non	60.4		
	6	88.4		68.7	Non	77.7		
	7	80.2		69.1	Non	86.2		
	8	68.6		45.1	Non	65.7		
	9	75.1		57.2	Non	76.2		
	10	75.3		53.8	Non	71.4		
	11	74.8		54.7	Non	73.1		
	12	73.5		57.1	Non	77.7		
	13	77.3		57.5	Non	74.4		
	1	74.5	100 mètres	54.3	Non	72.9	67.4	9.2
	2	78.5		63.7	Non	81.1		
	3	79.3		57.4	Non	72.4		
	4	86.5		44.6	Non	51.6		
	5	90.7		43.9	Non	48.4		
	6	85.9		57.5	Non	66.9		
	7	79		61.8	Non	78.2		
	8	68.7		49.1	Non	71.5		
	9	76.8		48.4	Non	63.0		
	10	72.8		50.7	Non	69.6		
	11	76.9		51	Non	66.3		
	12	76.4		52.3	Non	68.5		
	13	85.1		56.4	Non	66.3		
	1	74.1	200 mètres	38.7	Non	52.2	49.4	6.0
	2	79.5		43.2	Non	54.3		
	3	76.4		37.6	Non	49.2		
	4	90.1		37.9	Non	42.1		
	5	87.6		38.2	Non	43.6		
	6	83.8		33.4	Non	39.9		
	7	85.1		37.3	Non	43.8		
	8	69.5		40.1	Non	57.7		
	9	75.8		42.7	Non	56.3		
	10	78.9		42.1	Non	53.4		
	11	77.7		40.7	Non	52.4		
	12	84.3		37.1	Non	44.0		
	13	77.8		41.9	Non	53.9		
Transect vert	1	78.9	25 mètres	75.5	Non	95.7	89.0	6.9
	2	74.5		74	Non	99.3		
	3	76.8		72.9	Non	94.9		
	4	77.6		71	Non	91.5		
	5	82.9		76.3	Non	92.0		

Transect	Réplicat	Niveau sonore maximum relevé au bord de l'étang (dB(A))	Distance par rapport au bord de l'étang	Niveau sonore maximum relevé à x mètres du bord de l'étang (dB(A))	Présence d'obstacle(s)	Niveau sonore maximum en pourcent à x mètres par rapport au bord de l'étang (100%)	Moyenne des niveaux sonores maximums en pourcent à x mètres par rapport au bord de l'étang (100%)	Ecart-types
Transect vert	6	79.7	25 mètres	75.3	Non	94.5	89.0	6.9
	7	75.2		60.7	Non	80.7		
	8	75.8		61.8	Non	81.5		
	9	76.5		61.5	Non	80.4		
	10	80.1		68.3	Non	85.3		
	11	82.8		69.2	Non	83.6		
	1	80.6	50 mètres	74.4	Container	92.3	79.9	7.3
	2	76		64.8	Container	85.3		
	3	77.9		72.7	Container	93.3		
	4	80		63.7	Container	79.6		
	5	84.6		65.4	Container	77.3		
	6	88.8		68.3	Container	76.9		
	7	81.5		63.1	Container	77.4		
	8	79.1		60.9	Container	77.0		
	9	78.8		56.8	Container	72.1		
	10	77.4		58	Container	74.9		
	11	78.6		57.3	Container	72.9		
	1	81	100 mètres	57.6	Container et bâtiment	71.1	68.2	5.1
	2	80		57.2	Container et bâtiment	71.5		
	3	83.4		52.4	Container et bâtiment	62.8		
	4	82.1		53.3	Container et bâtiment	64.9		
	5	80.6		51.7	Container et bâtiment	64.1		
	6	77.5		58.2	Container et bâtiment	75.1		
	7	72.7		55.8	Container et bâtiment	76.8		
	8	76.8		54.9	Container et bâtiment	71.5		
	9	73.5		48.2	Container et bâtiment	65.6		
	10	77.3		49.1	Container et bâtiment	63.5		
	11	77.1		48.7	Container et bâtiment	63.2		
	1	79.7	200 mètres	29.8	Container, bâtiment et bosquet	37.4	35.4	4.7
	2	80		35.7	Container, bâtiment et bosquet	44.6		
	3	81.3		27.2	Container, bâtiment et bosquet	33.5		
	4	82.2		24.9	Container, bâtiment et bosquet	30.3		
	5	80.8		30.1	Container, bâtiment et bosquet	37.3		
	6	77		22.5	Container, bâtiment et bosquet	29.2		
	7	78.1		25.6	Container, bâtiment et bosquet	32.8		
	8	73.3		22.8	Container, bâtiment et bosquet	31.1		
	9	76		26.2	Container, bâtiment et bosquet	34.5		
	10	78.5		31.4	Container, bâtiment et bosquet	40.0		
	11	76.8		29.9	Container, bâtiment et bosquet	38.9		

Annexe 14 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain au bassin du Jardin de la Paix avec l’application *NoiseCapture* (données brutes)

Transect	Réplicat	Niveau sonore maximum relevé au bord du bassin (dB(A))	Distance par rapport au bord du bassin	Niveau sonore maximum relevé à x mètres du bord du bassin (dB(A))	Présence d'obstacle(s)	Niveau sonore en pourcent à x mètres par rapport au bord du bassin (100%)	Moyenne des niveaux sonores maximums en pourcent à x mètres par rapport au bord du bassin (100%)	Ecart-types
Transect vert	1	63.7	25 mètres	54.2	Non	85.1	80.5	5.9
	2	79.9		65.8	Non	82.4		
	3	50.9		43.9	Non	86.2		
	4	73.9		51.6	Non	69.8		
	5	67.1		52.7	Non	78.5		
	6	76.7		62.3	Non	81.2		
	1	73.2	50 mètres	48.1	Mur associé à une haie	65.7	66.8	4.1
	2	73.3		47.8	Mur associé à une haie	65.2		
	3	62		45.7	Mur associé à une haie	73.7		
	4	79.3		48.8	Mur associé à une haie	61.5		
	5	74.2		49.2	Mur associé à une haie	66.3		
	6	73.5		50.3	Mur associé à une haie	68.4		
	1	76.2	100 mètres	43.5	Mur associé à une haie, haie	57.1	62.0	4.0
	2	72		41.9	Mur associé à une haie, haie	58.2		
	3	58.7		38.2	Mur associé à une haie, haie	65.1		
	4	61.3		40.3	Mur associé à une haie, haie	65.7		
	5	61.1		40.1	Mur associé à une haie, haie	65.6		
	6	69		41.6	Mur associé à une haie, haie	60.3		
	1	79.3	200 mètres	38.9	Mur associé à une haie, haie, bâtiment	49.1	44.3	3.0
	2	71.2		32.3	Mur associé à une haie, haie, bâtiment	45.4		
	3	70.7		30.9	Mur associé à une haie, haie, bâtiment	43.7		
	4	63.1		26.3	Mur associé à une haie, haie, bâtiment	41.7		
	5	64.8		29.5	Mur associé à une haie, haie, bâtiment	40.6		
	6	66.6		30.1	Mur associé à une haie, haie, bâtiment	45.2		
Transect bleu	1	61.2	7 mètres	60.4	Mur	98.7	84.6	8.0
	2	71		61.2	Mur	86.2		
	3	78.1		61.4	Mur	78.6		
	4	83.3		62.9	Mur	75.5		
	5	70.7		59.9	Mur	84.7		
	6	51.5		43.3	Mur	84.1		
	1	68.6	12 mètres	66.9	Mur	97.5	80.6	10.5
	2	68.7		59.7	Mur	86.9		
	3	71.2		55.6	Mur	78.1		
	4	75.7		60.6	Mur	80.1		
	5	66.8		48.2	Mur	72.2		
	6	76.1		52.2	Mur	68.6		
	1	78.9	22 mètres	59.7	Mur	75.7	69.9	6.1
	2	64.1		50.3	Mur	78.5		
	3	70.6		48.1	Mur	68.1		
	4	68.1		45.7	Mur	67.1		
	5	59.3		40.3	Mur	68.0		
	6	77.9		48.2	Mur	61.9		

Annexe 15 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain à la mare des Jardins du Coeur avec l'application *NoiseCapture* (données brutes)

Transect	Réplicat	Niveau sonore maximum relevé au bord de la mare (dB(A))	Distance par rapport à la mare	Niveau sonore maximum relevé à x mètres du bord de la mare (dB(A))	Présence d'obstacle(s)	Niveau sonore en pourcent à x mètres par rapport au bord de la mare (100%)	Moyenne des niveaux sonores maximums en pourcent à x mètres par rapport au bord de la mare (100%)	Ecart-types
Transect vert	1	57.3	25 mètres	53.5	Non	93.4	85.8	8.1
	2	76.2		69.3	Non	90.9		
	3	88.6		69.8	Non	78.8		
	4	87.3		63.7	Non	73.0		
	5	80.4		70.4	Non	87.6		
	6	76.8		69.8	Non	90.9		
	1	62.2	50 mètres	51.3	Non	82.5	79.6	8.6
	2	71.1		60.9	Non	85.7		
	3	90		62.4	Non	69.3		
	4	83.6		57.1	Non	68.3		
	5	77.3		68.4	Non	88.5		
	6	77.4		64.4	Non	83.2		
	1	75.5	100 mètres	40.1	Bâtiment	53.1	54.7	3.4
	2	71.9		36.3	Bâtiment	50.5		
	3	89.1		47.7	Bâtiment	53.5		
	4	89		47.4	Bâtiment	53.3		
	5	79.6		47.2	Bâtiment	59.3		
	6	82.7		48.4	Bâtiment	58.5		

Annexe 16 Tableau des niveaux sonores maximums relevés sur le terrain à la mare de l’avenue des Sciences avec l’application *NoiseCapture* (données brutes)

Transect	Réplicat	Niveau sonore maximum relevé au bord de la mare (dB(A))	Distance par rapport à la mare	Niveau sonore maximum relevé à x mètres du bord de la mare (dB(A))	Présence d'obstacle(s)	Niveau sonore en pourcent à x mètres par rapport au bord de la mare (100%)	Moyenne des niveaux sonores maximums en pourcent à x mètres par rapport au bord de la mare (100%)	Ecart-types
Transect vert	1	62.5	25 mètres	52.3	Non	83.7	85.6	7.3
	2	72		55.2	Non	76.7		
	3	61		58.2	Non	95.4		
	4	67.9		53.4	Non	78.6		
	5	66		60.3	Non	91.4		
	6	68.2		59.8	Non	87.7		
	1	61.4	50 mètres	46.2	Haie	75.2	74.3	5.0
	2	65.9		47.3	Haie	71.8		
	3	68.1		51.1	Haie	75.0		
	4	67.2		45.4	Haie	67.6		
	5	64.2		53.2	Haie	82.9		
	6	64.7		47.6	Haie	73.6		
	1	60.7	100 mètres	36.7	Haie et bâtiment	60.5	61.8	4.9
	2	66.2		41.2	Haie et bâtiment	62.2		
	3	58.6		41.7	Haie et bâtiment	71.2		
	4	68.2		41.1	Haie et bâtiment	60.3		
	5	75.1		42.7	Haie et bâtiment	56.9		
	6	70.8		42.3	Haie et bâtiment	59.7		

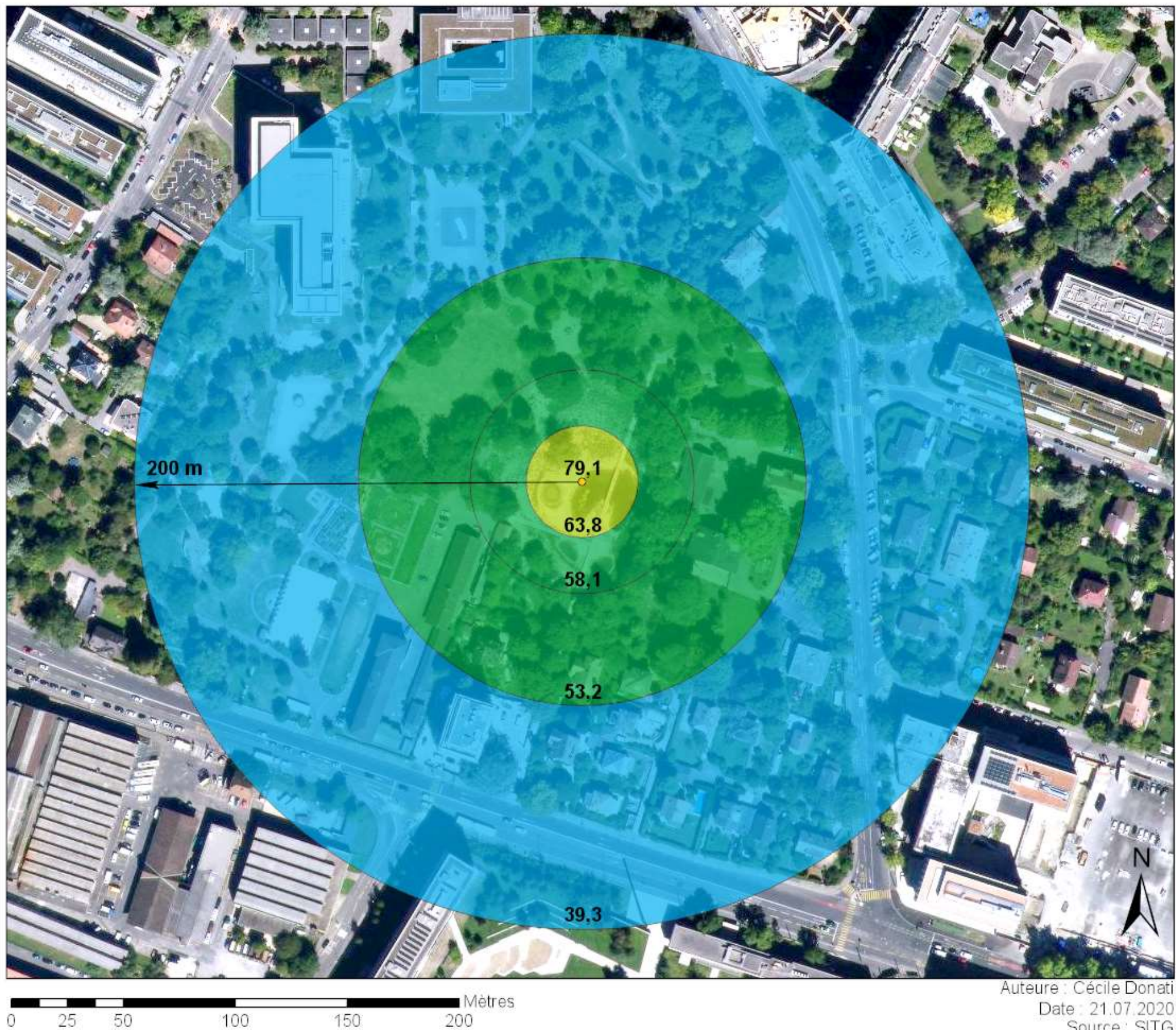
Annexe 17 Tableau des valeurs moyennes, maximales et minimales des niveaux sonores relevés (en dB(A)) selon la distance par rapport au bord des cinq plans d'eau

Distance par rapport au bord des plans d'eau (m)	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Valeurs minimales
0	73,8	90,7	50,9
25	63,4	76,3	43,9
50	57,3	74,4	45,1
100	48,5	63,7	36,3
200	33,5	43,2	22,5

Annexe 18 Niveaux sonores maximums (en dB(A) et %) et atténuation du niveau sonore (en %) en fonction de la distance par rapport au bord des plans d'eau

Nom du plan d'eau	Distance par rapport au bord du plan d'eau (m)	Moyenne des décibels maximums relevés	Niveau sonore maximum en pourcentage en fonction de la distance par rapport au bord du plan d'eau (100%)	Atténuation en pourcentage du niveau sonore maximum par rapport au bord du plan d'eau (100%)
Etang du parc des Franchises	0	79,1	100	0
	25	63,8	81,8	18,2
	50	58,1	73,8	26,2
	100	53,2	67,4	32,6
	200	39,3	49,4	50,6
Bassin du Jardin de la Paix	0	69,2	100	0
	25	55,1	80,5	19,5
Mare des Jardins du Cœur	0	78,7	100	0
	25	66,1	85,8	14,2
	50	60,8	79,6	20,4
Mare de l'avenue des Sciences	0	66	100	0
	25	56,5	85,6	14,4

Annexe 19 Propagation du niveau sonore maximum en champ libre : étang du parc des Franchises (GE)



Légende

Mesures au bord de l'étang

Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)

● 79,1

Mesures à distance (200, 100, 50 et 25 m)

Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)

■ 39,3

■ 53,2

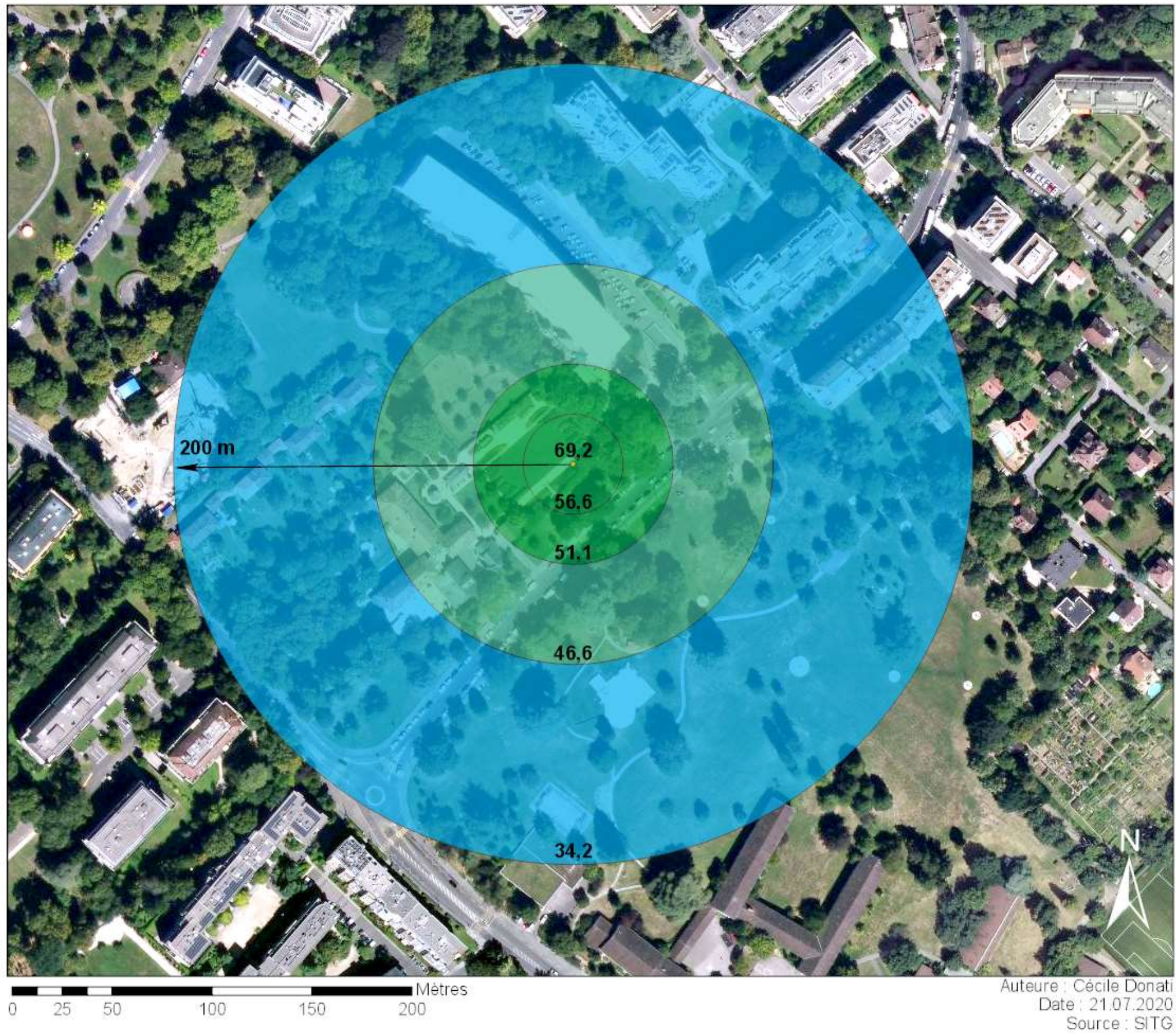
■ 58,1

■ 63,8

Echelle de référence



Annexe 20 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : bassin du Jardin de la Paix (GE)



Légende

Mesures au bord du plan d'eau

Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)

• 69,2

Mesures à distance (200, 100, 50 et 25 m)

Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)

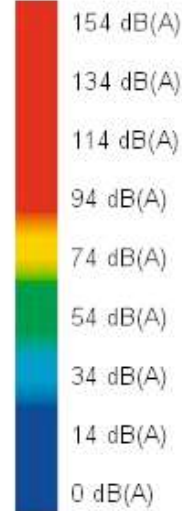
■ 34,2

■ 46,6

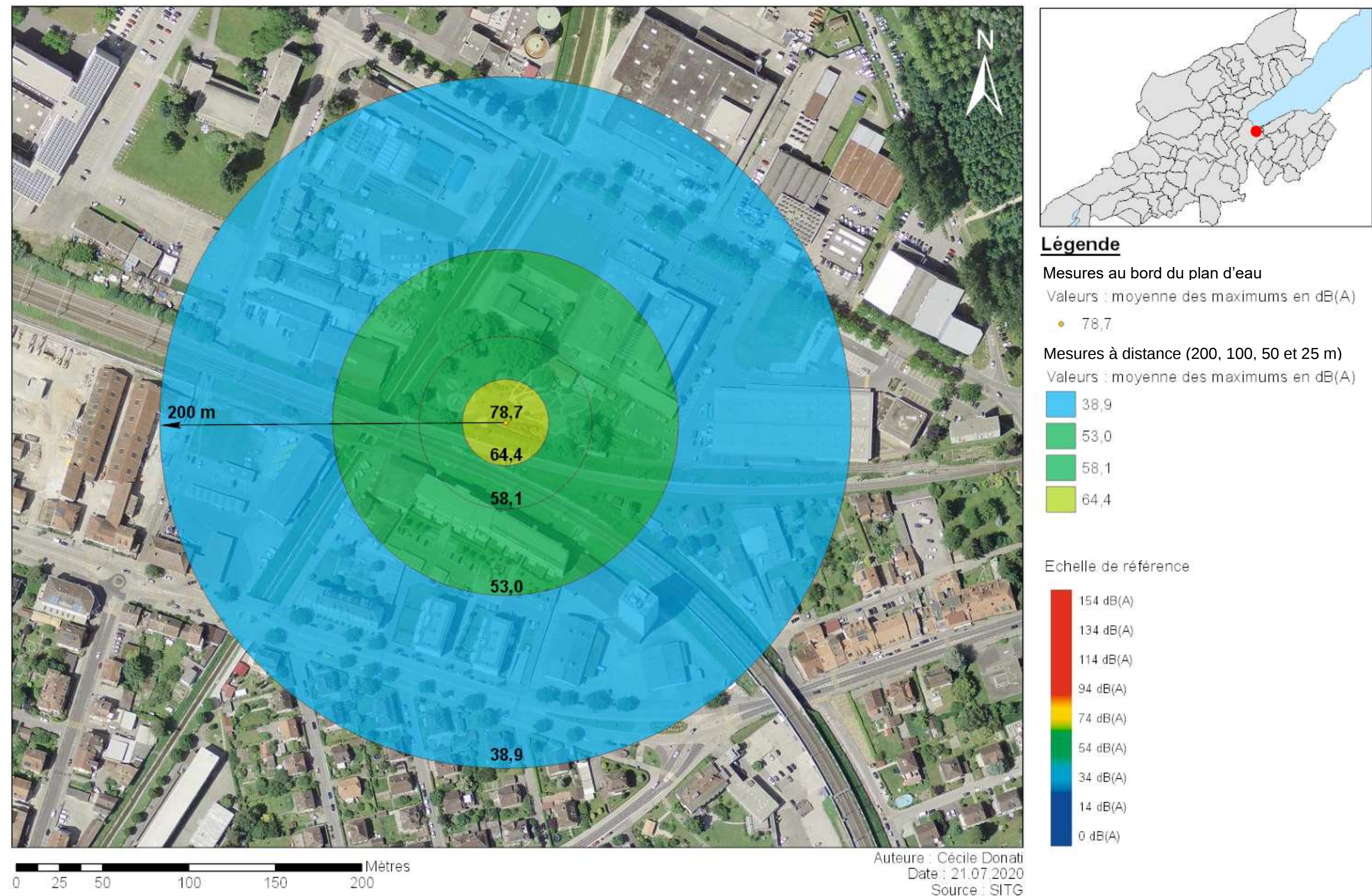
■ 51,1

■ 56,6

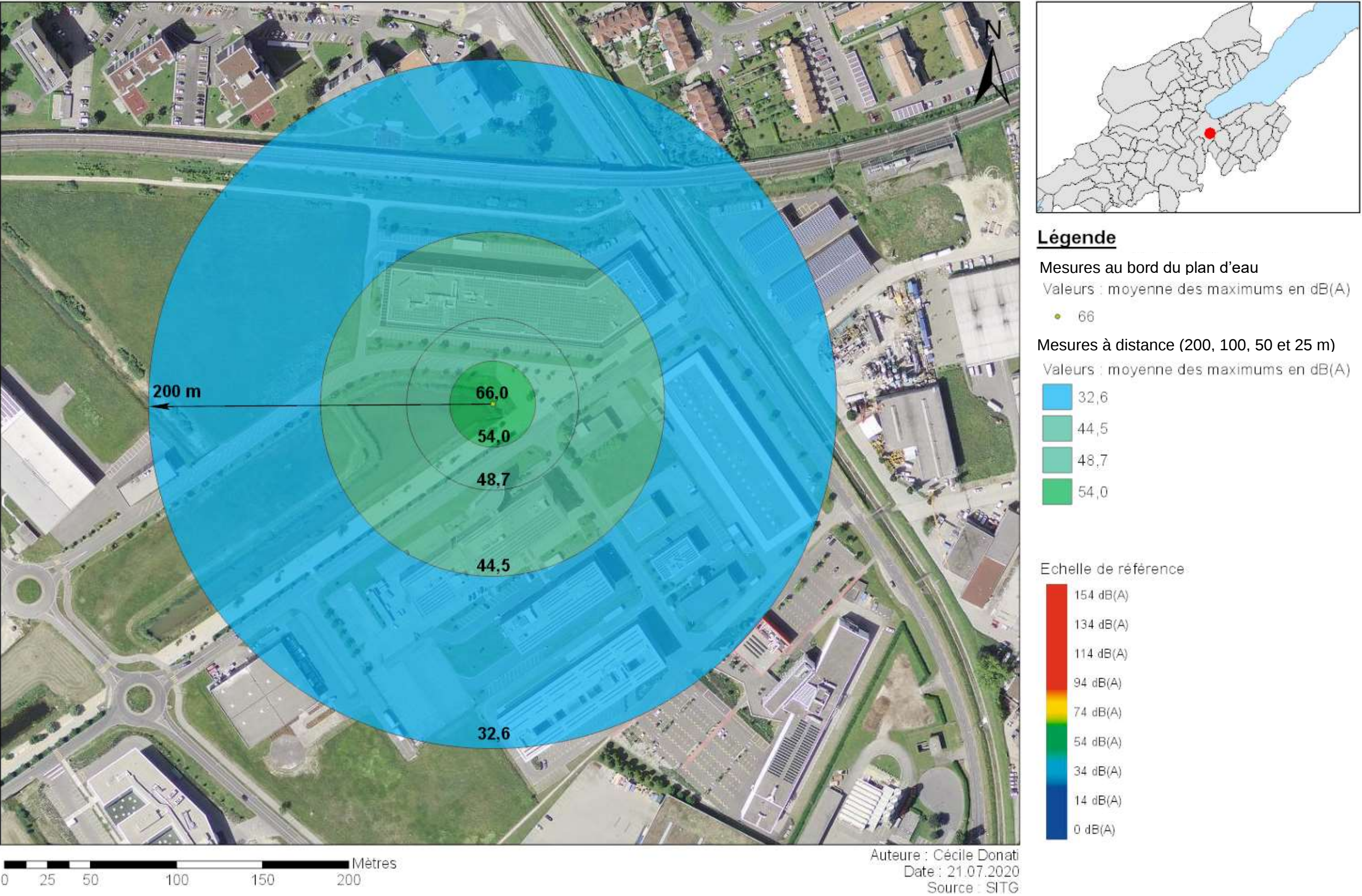
Echelle de référence



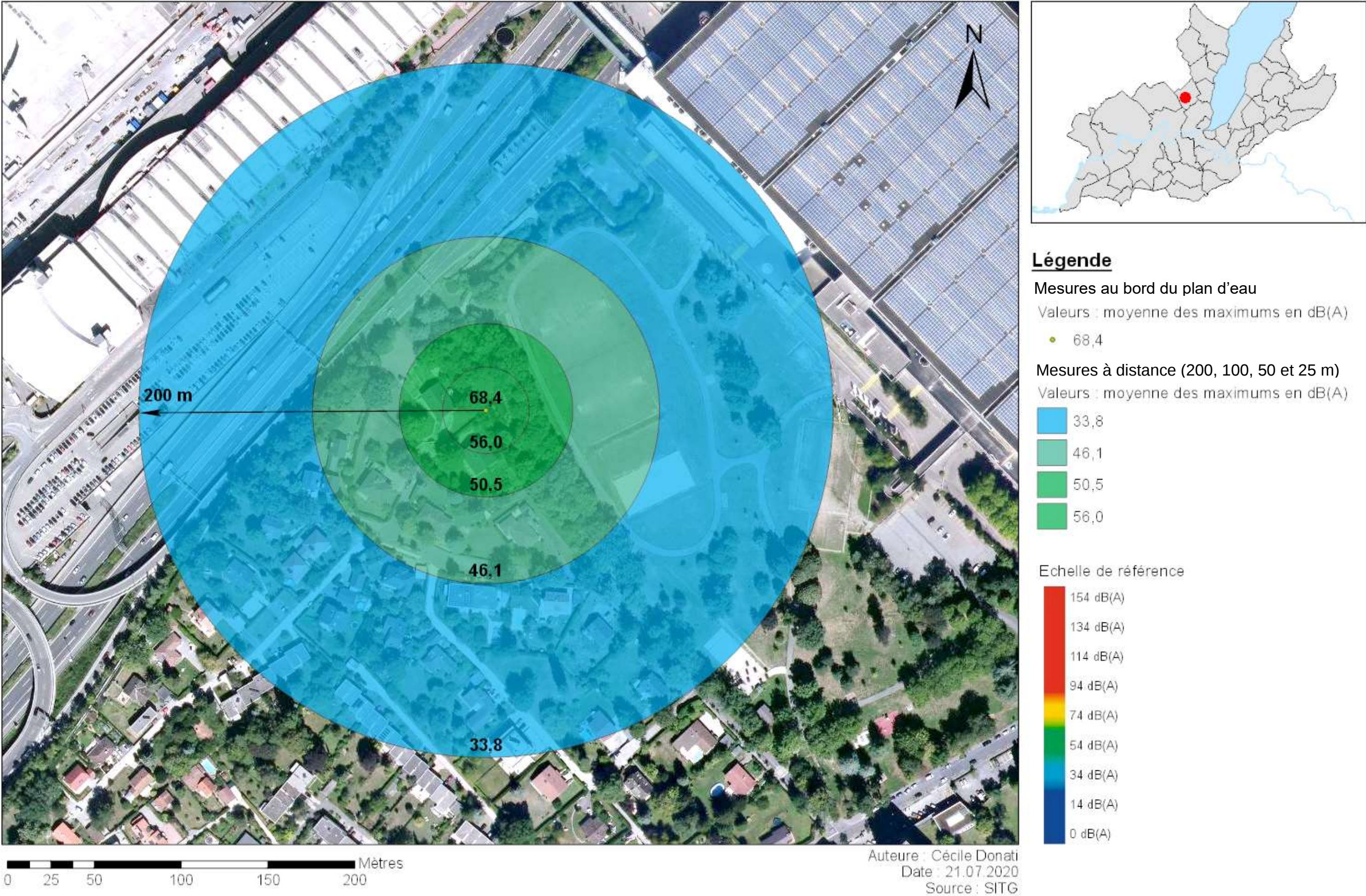
Annexe 21 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : mare des Jardins du Cœur (District du Jura-Nord vaudois, VD)



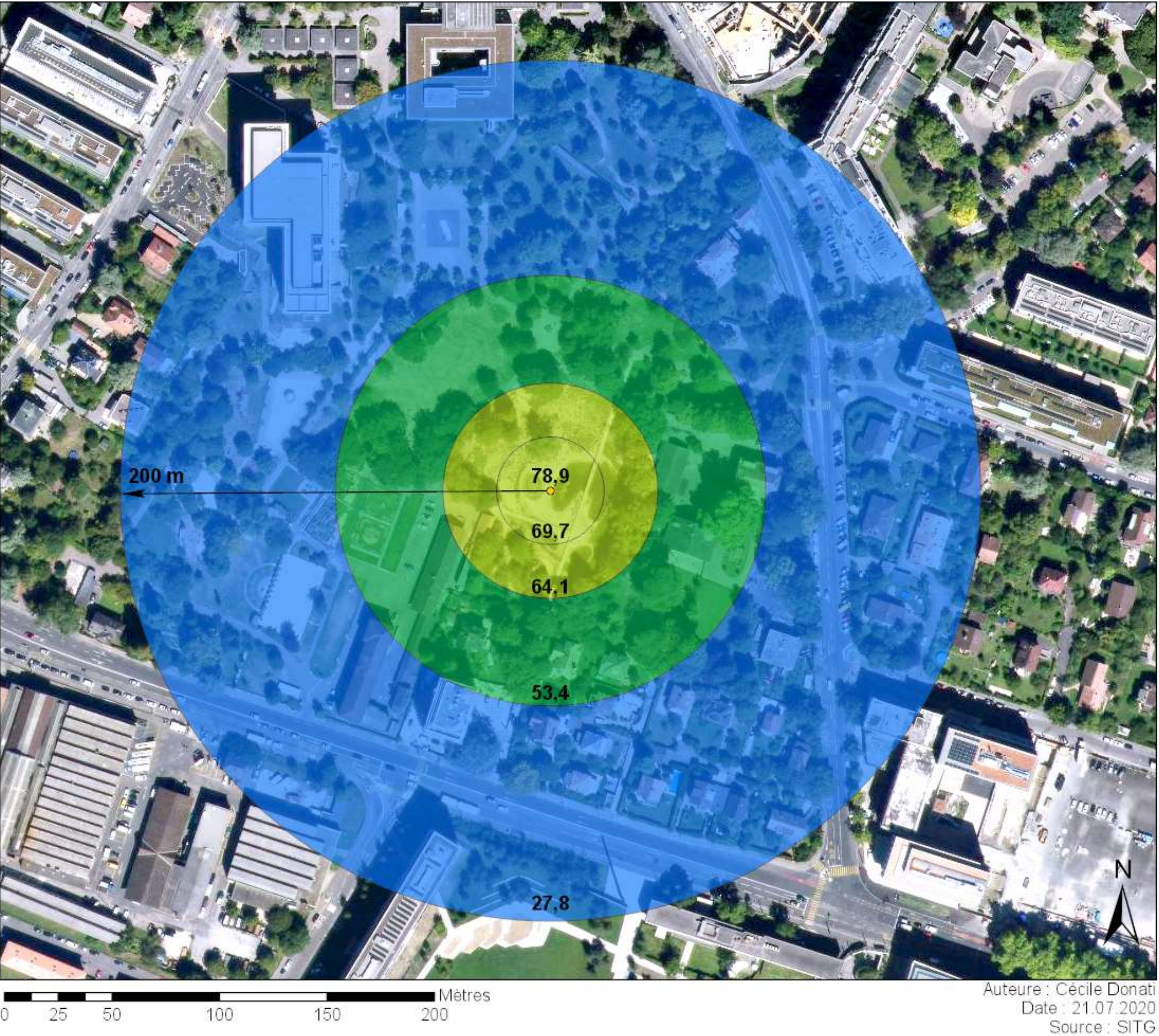
Annexe 22 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : mare de l'avenue des Sciences (District du Jura-Nord vaudois, VD)



Annexe 23 Simulation de la propagation du niveau sonore maximum dans une situation sans obstacles calculé selon des valeurs de référence : mare du chemin des Préjins (GE)



Annexe 24 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : étang du parc des Franchises (GE)



Légende

Mesures au bord de l'étang

Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)

● 78,9

Mesures à distance (200, 100, 50 et 25 m)

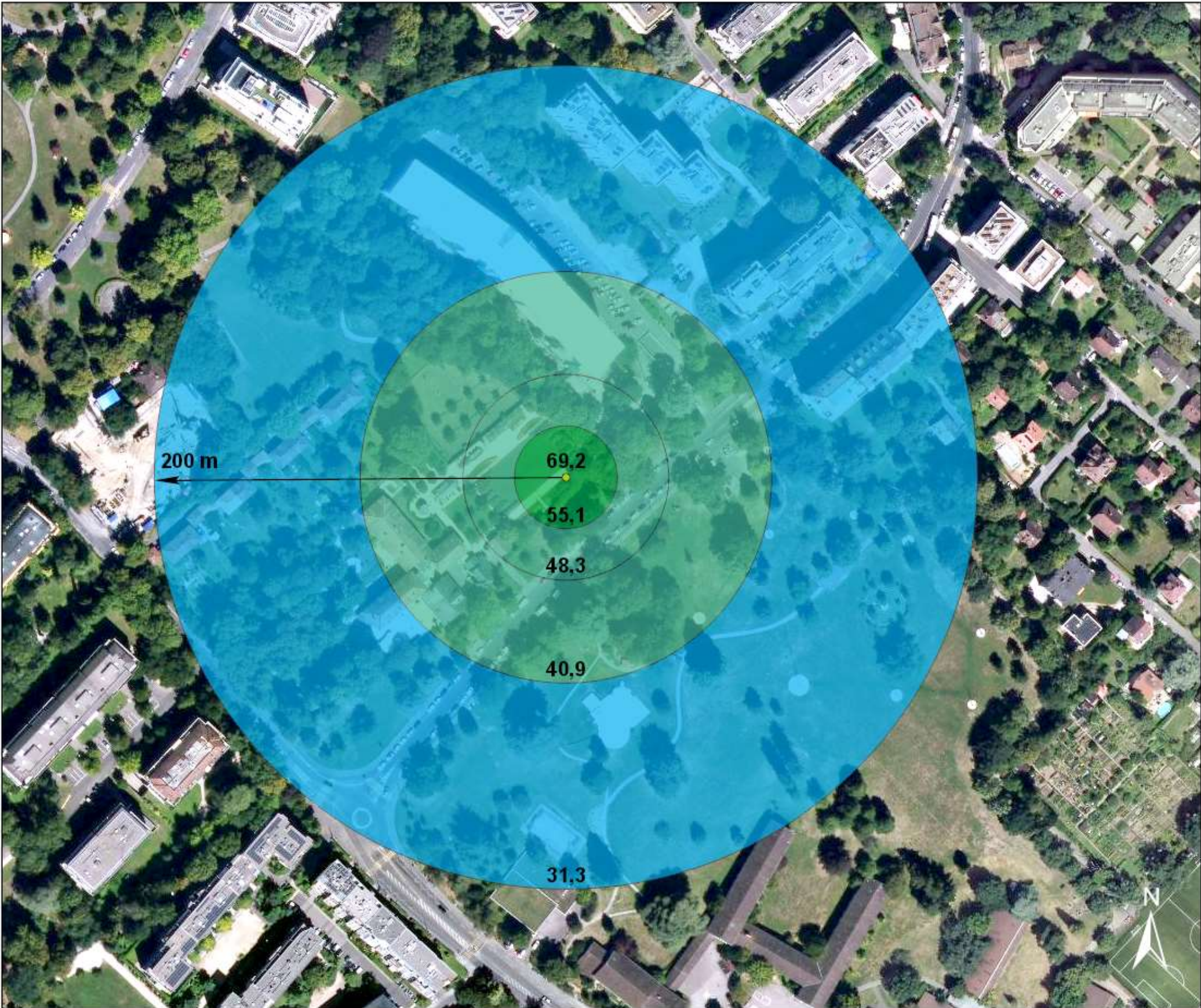
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)

■ 27,8
■ 53,4
■ 64,1
■ 69,7

Echelle de référence

154 dB(A)
134 dB(A)
114 dB(A)
94 dB(A)
74 dB(A)
54 dB(A)
34 dB(A)
14 dB(A)
0 dB(A)

Annexe 25 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : bassin du Jardin de la Paix (GE)

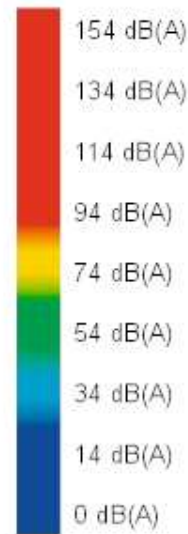


Légende

Mesures au bord du plan d'eau
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)
● 69,2

Mesures à distance (200, 100, 50 et 25 m)
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)
■ 31,3
■ 40,9
■ 48,3
■ 55,1

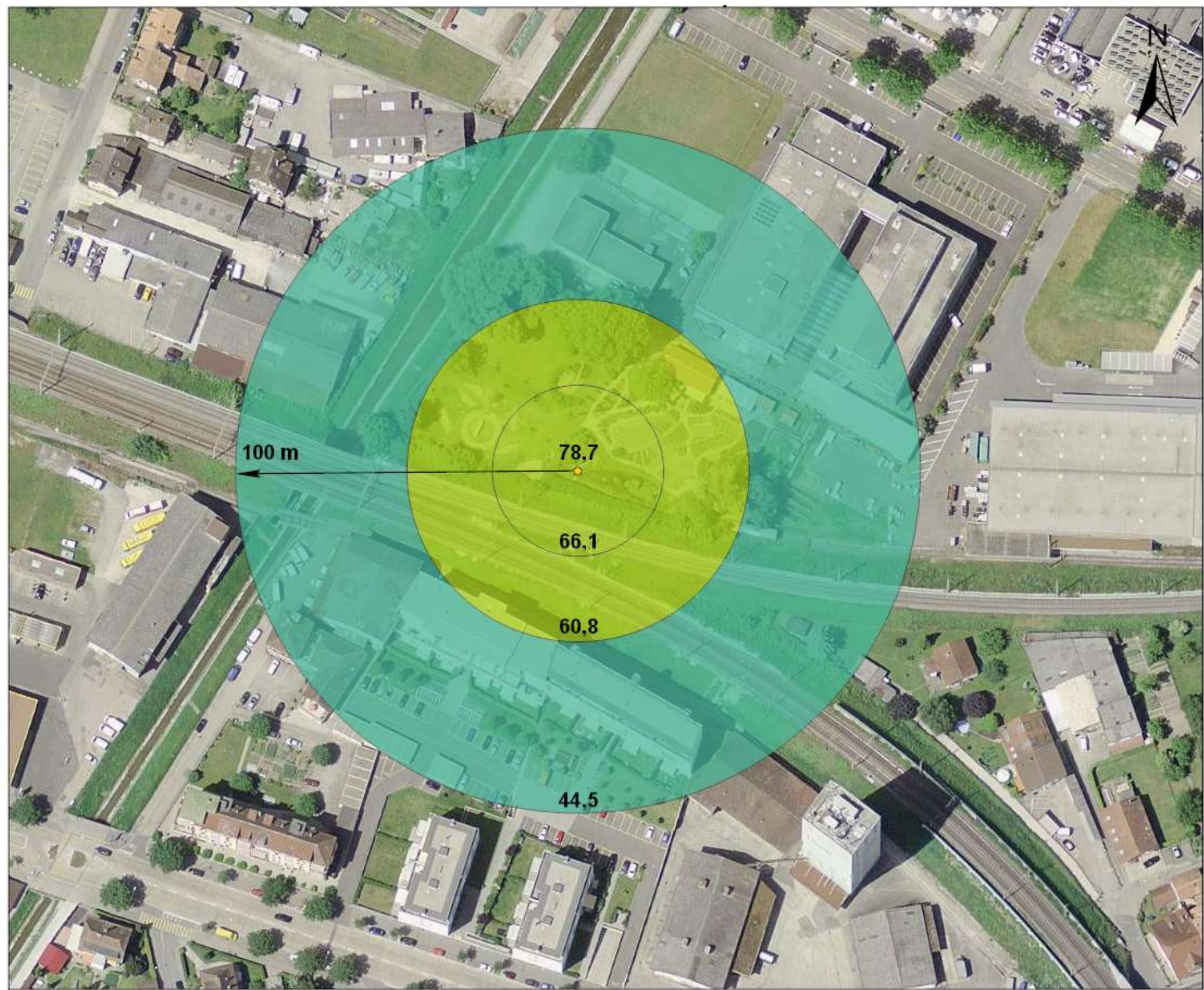
Echelle de référence



0 25 50 100 150 200 Mètres

Auteure : Cécile Donati
Date : 21.07.2020
Source : SITG

Annexe 26 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : mare des Jardins du Cœur (District du Jura-Nord vaudois, VD)

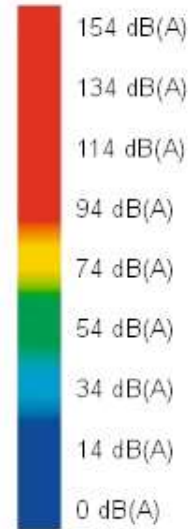


Légende

Mesures au bord du plan d'eau
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)
● 78,7

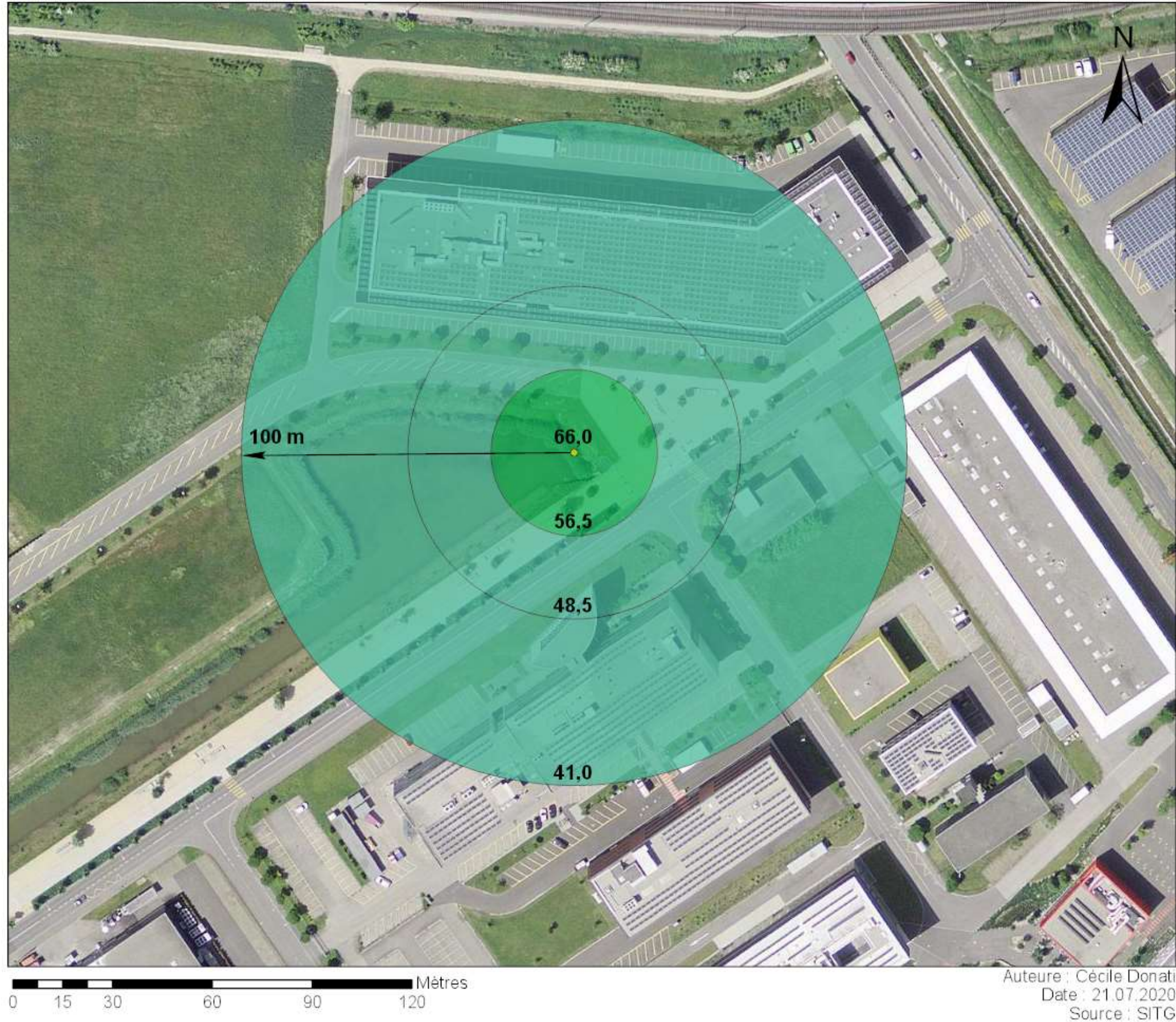
Mesures à distance (100, 50 et 25 m)
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)
■ 44,5
■ 60,8
■ 66,1

Echelle de référence



Auteure : Cécile Donati
Date : 21.07.2020
Source : SITG

Annexe 27 Propagation du niveau sonore maximum en présence d'obstacles : mare de l'avenue des Sciences (District du Jura-Nord vaudois, VD)



Légende

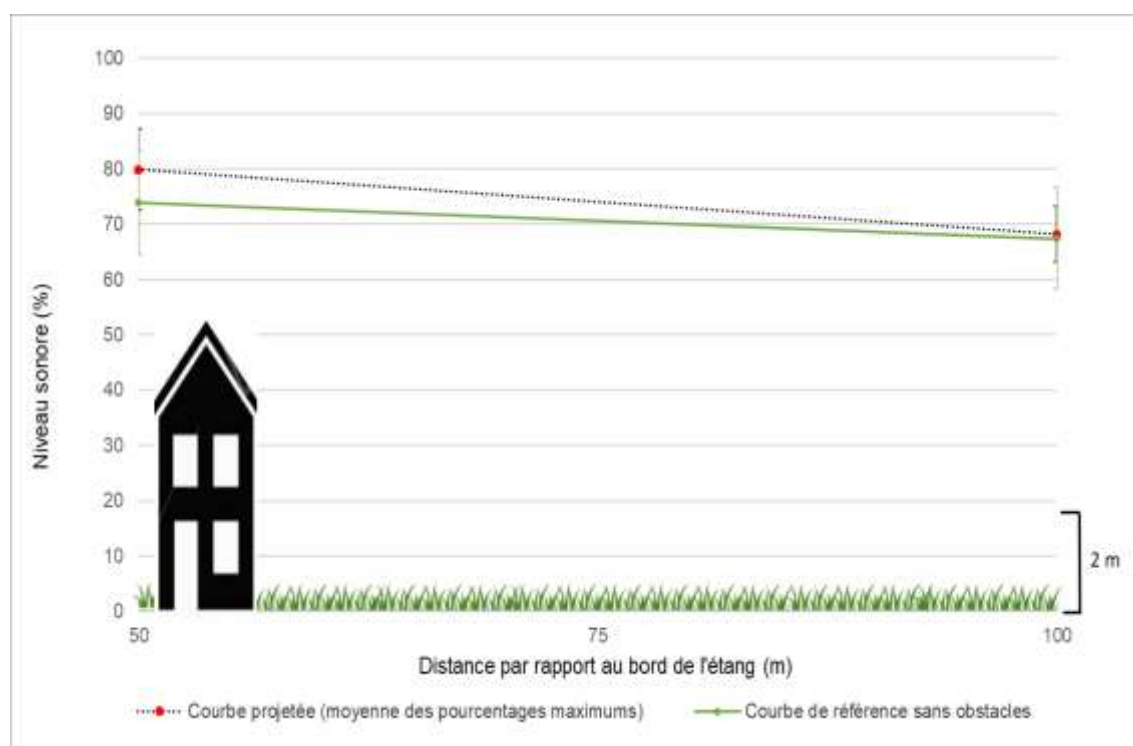
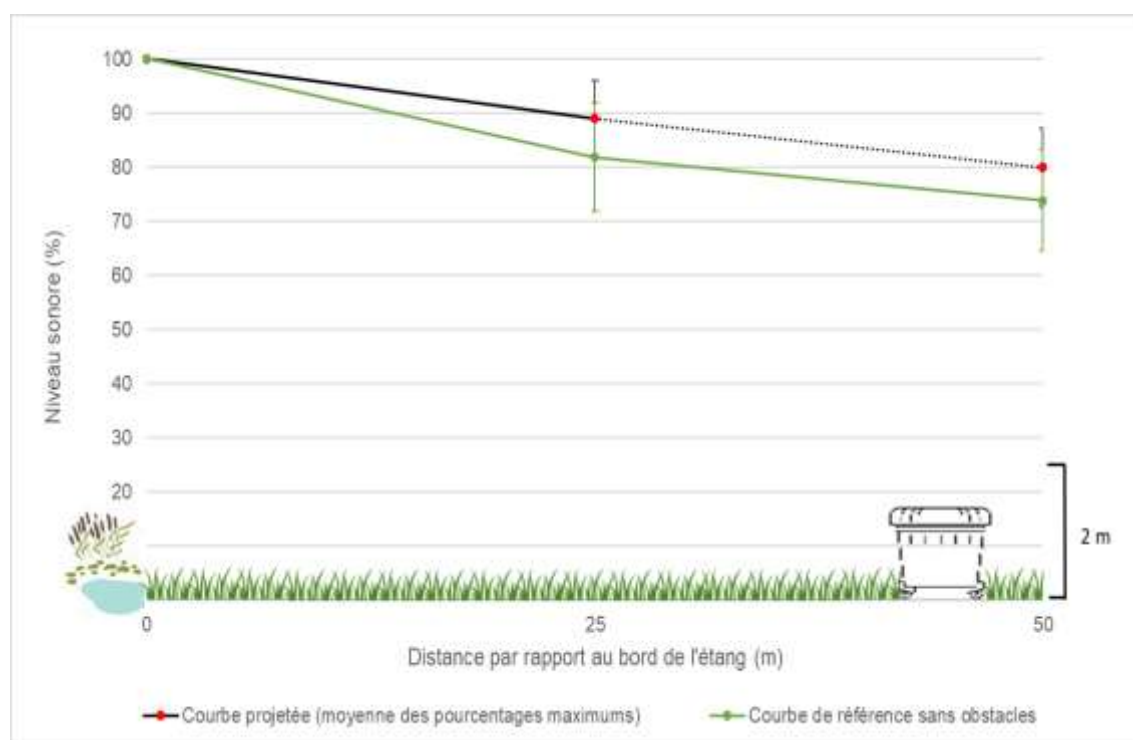
Mesures au bord du plan d'eau
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)
● 66,0

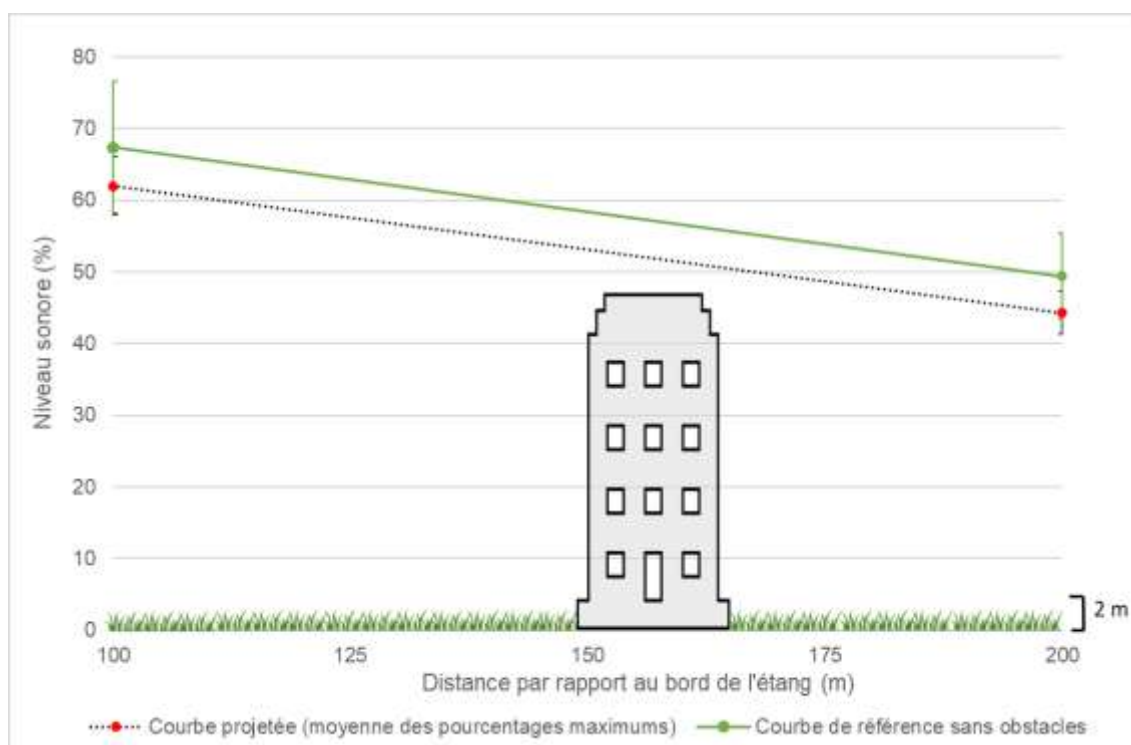
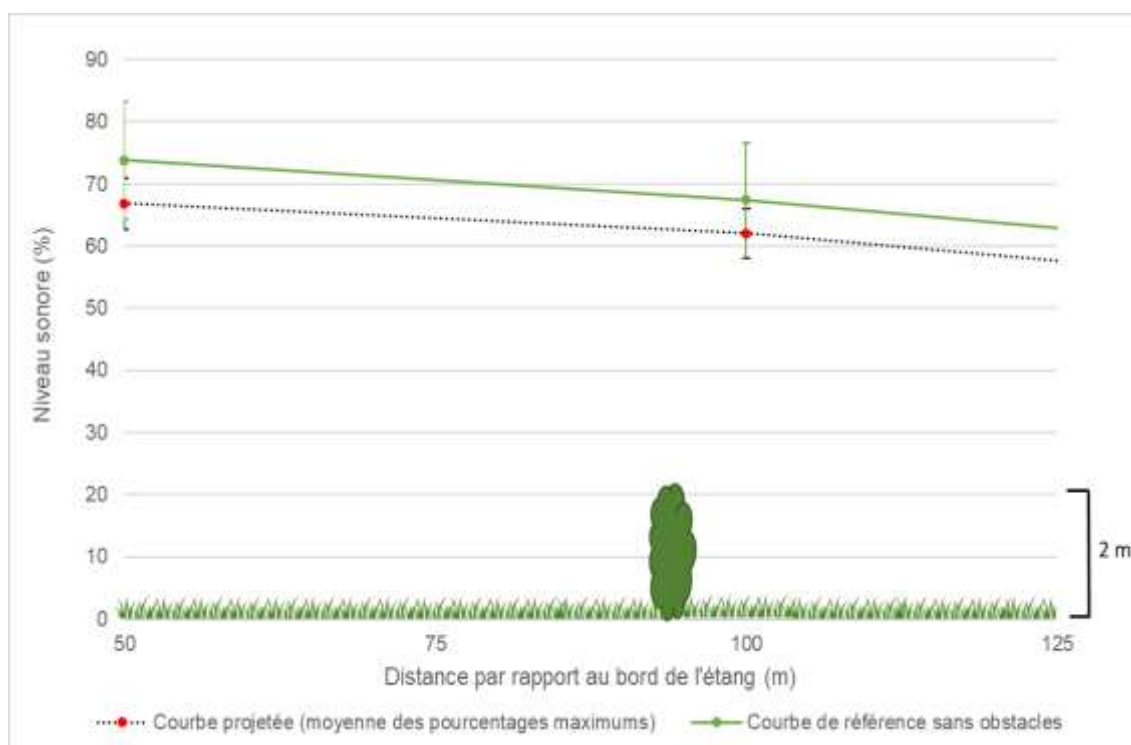
Mesures à distance (100, 50 et 25 m)
Valeurs : moyenne des maximums en dB(A)
■ 41,0
■ 48,5
■ 56,5

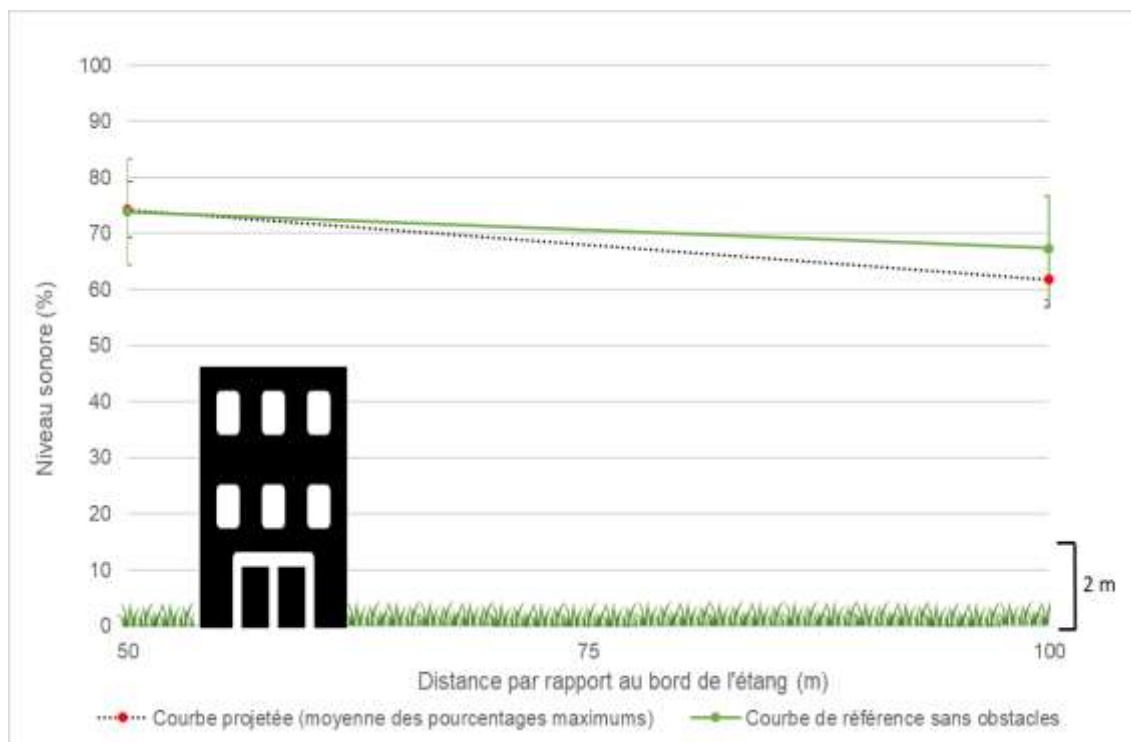
Echelle de référence



Annexe 28 Atténuation du niveau sonore par différents types d'obstacles



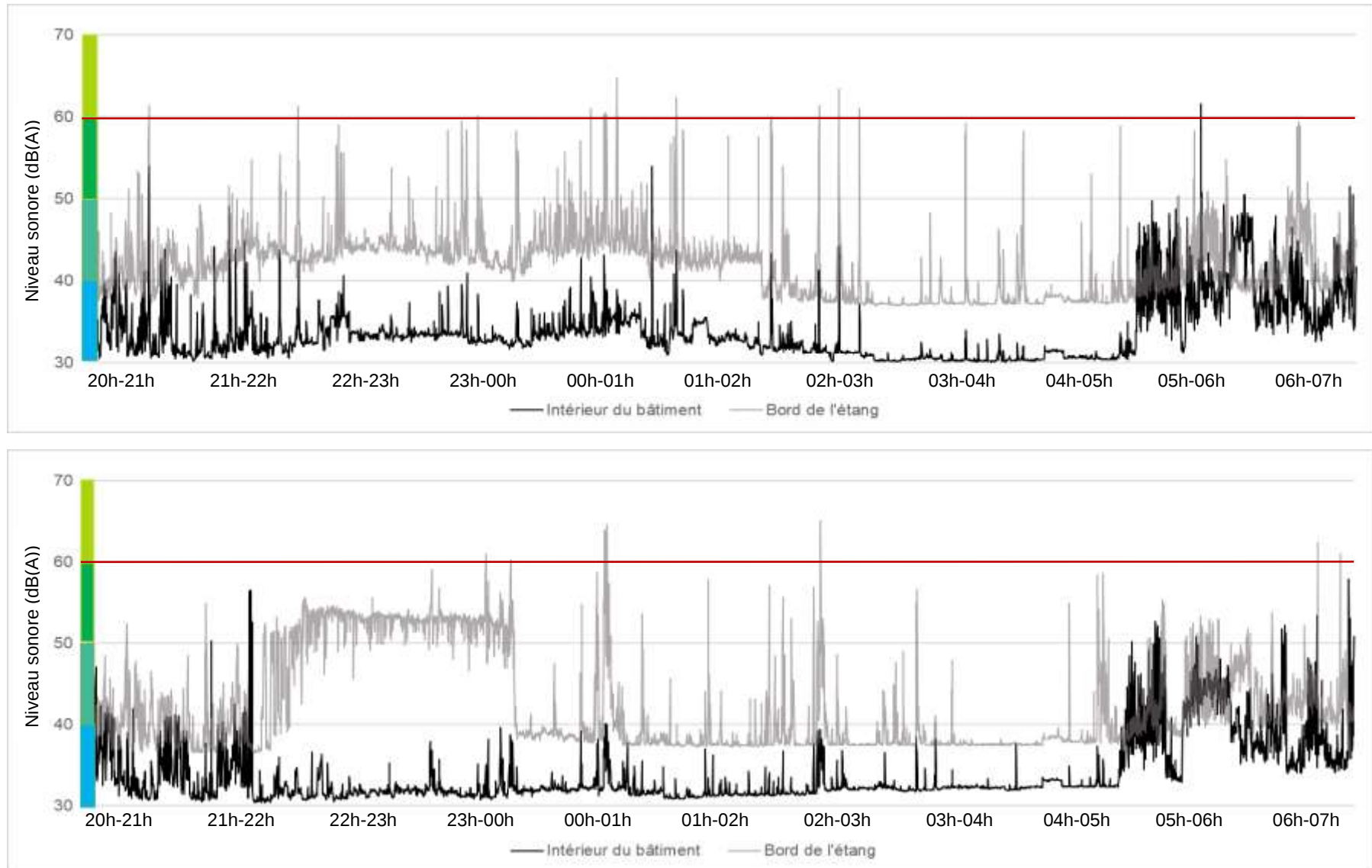


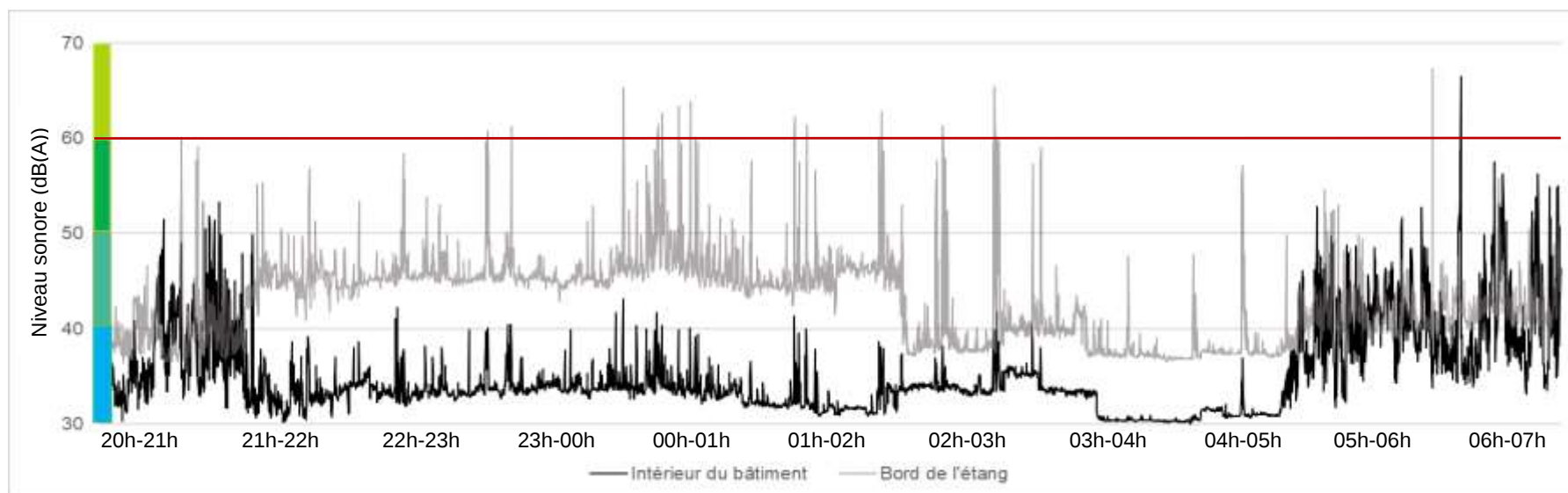
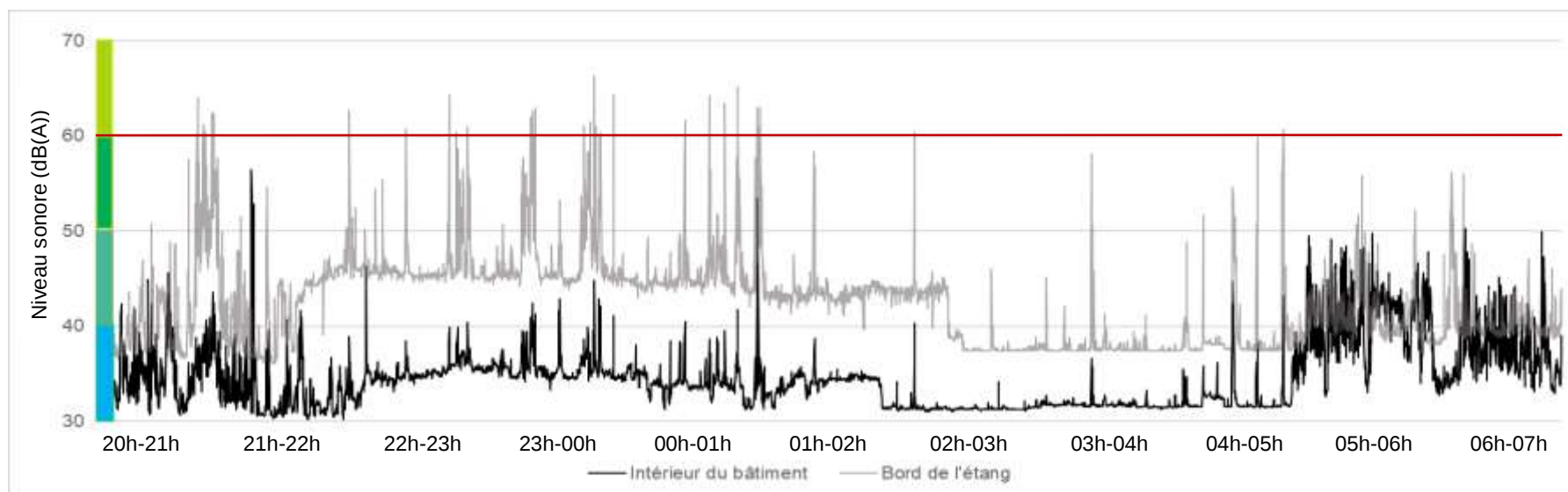


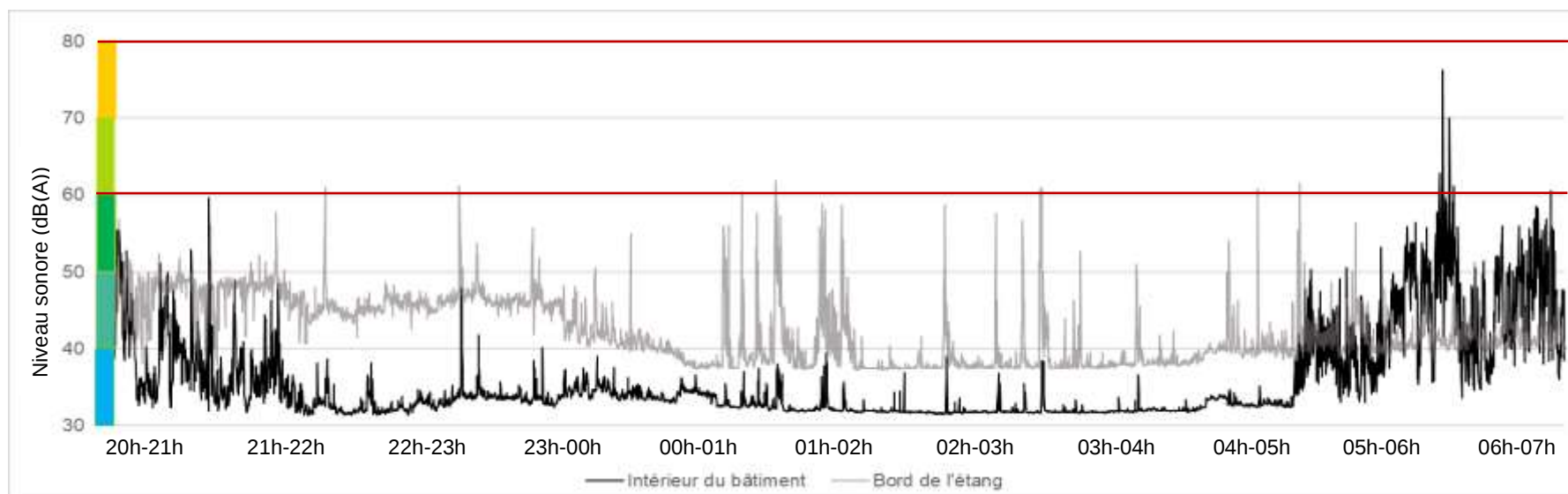
Annexe 29 Influence de différents types d'obstacles sur la propagation du son

Type d'obstacle	Distance avant/après l'obstacle (m)	Niveau sonore maximum relevé avant l'obstacle (%)	Référence pour le niveau sonore maximum avant l'obstacle (%)	Niveau sonore maximum relevé après l'obstacle (%)	Référence pour le niveau sonore maximum après l'obstacle (%)	Diminution du niveau sonore maximum relevé après l'obstacle par rapport à avant l'obstacle (%)	Référence pour la diminution du niveau sonore maximum après l'obstacle par rapport à avant l'obstacle (%)	Différence entre le niveau sonore maximum relevé et celui de référence avant l'obstacle (%)	Différence entre le niveau sonore maximum relevé et celui de référence après l'obstacle (%)
Bâtiment	50	79.6	73.8	54.7	67.4	24.9	6.4	5.8	-12.7
Bosquet	100	68.2	67.4	35.4	49.4	32.8	18	0.8	-14
Mur	7	100	100	84.6	94.9	15.4	5.1	0	-10.3
Haie	25	85.6	81.8	74.3	73.8	11.3	8	3.8	0.5
Mur + haie	25	80.5	81.8	66.8	73.8	13.7	8	-1.3	-7

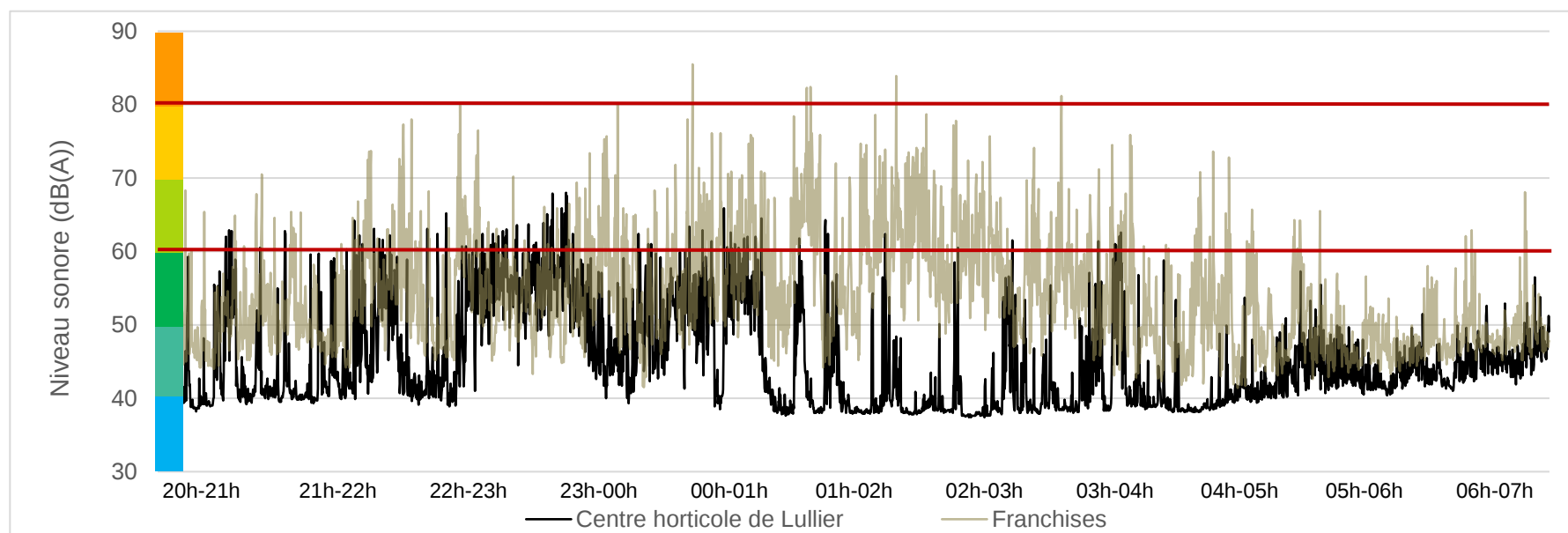
Annexe 30 Comparaison du niveau sonore enregistré en continu durant les nuits du 02.07 au 07.07 dans les bâtiments en préfabriqué et au bord de la mare de Lullier







Annexe 31 Comparaison des émissions sonores entre deux populations de grenouilles rieuses de différentes densités²⁰



²⁰ Les mesures ont été effectuées en continu durant les nuits du 01.07 au 02.07 et du 03.07 au 04.07 pour la mare du centre horticole de Lullier et durant les nuits du 07.07 au 08.07 et du 09.07 au 10.07 pour l'étang du parc des Franchises

