



ANNEXE 1 :

Plan cadastral des parcelles concernées par les travaux

Département :
GUADELOUPE

Commune :
BOUILLANTE

Section : AO
Feuille : 000 AO 01

Échelle d'origine : 1/2000
Échelle d'édition : 1/1000

Date d'édition : 17/08/2018
(fuseau horaire de Paris)

Coordonnées en projection :
GUAD48UTM20
©2017 Ministère de l'Action et des
Comptes publics

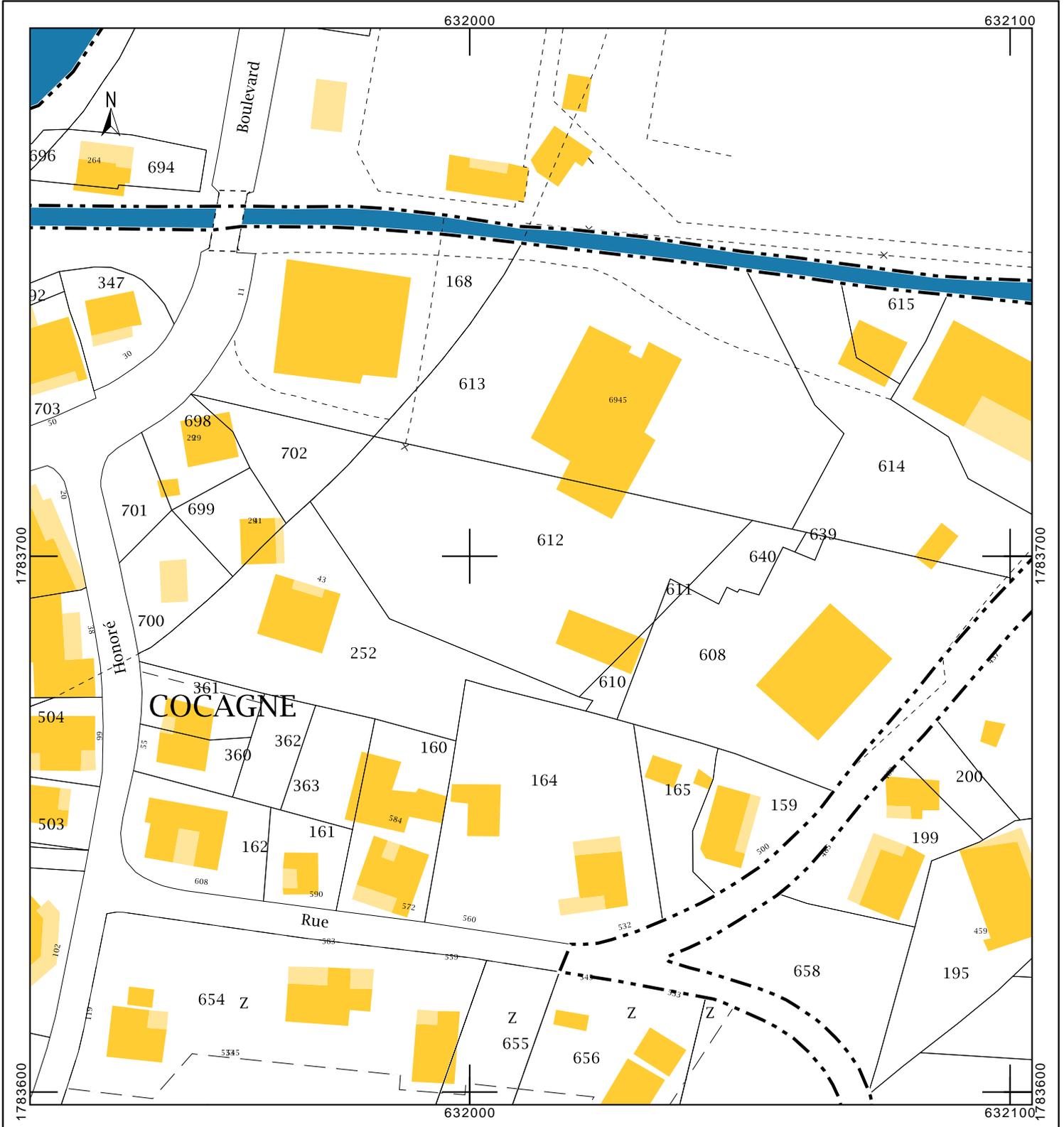
DIRECTION GÉNÉRALE DES FINANCES PUBLIQUES

EXTRAIT DU PLAN CADASTRAL

Le plan visualisé sur cet extrait est géré
par le centre des impôts foncier suivant :
Centre Des Impôts Foncier de BASSE-
TERRE
Desmarais BP561 97100
97100 BASSE-TERRE
tél. 0590994700 - fax 0590815087
centre.des.impots.foncier.basse-
terre@dgi.finances.gouv.fr

Cet extrait de plan vous est délivré par :

cadastre.gouv.fr



Département :
GUADELOUPE

Commune :
BOUILLANTE

Section : AO
Feuille : 000 AO 01

Échelle d'origine : 1/2000
Échelle d'édition : 1/2000

Date d'édition : 17/08/2018
(fuseau horaire de Paris)

Coordonnées en projection :
GUAD48UTM20
©2017 Ministère de l'Action et des
Comptes publics

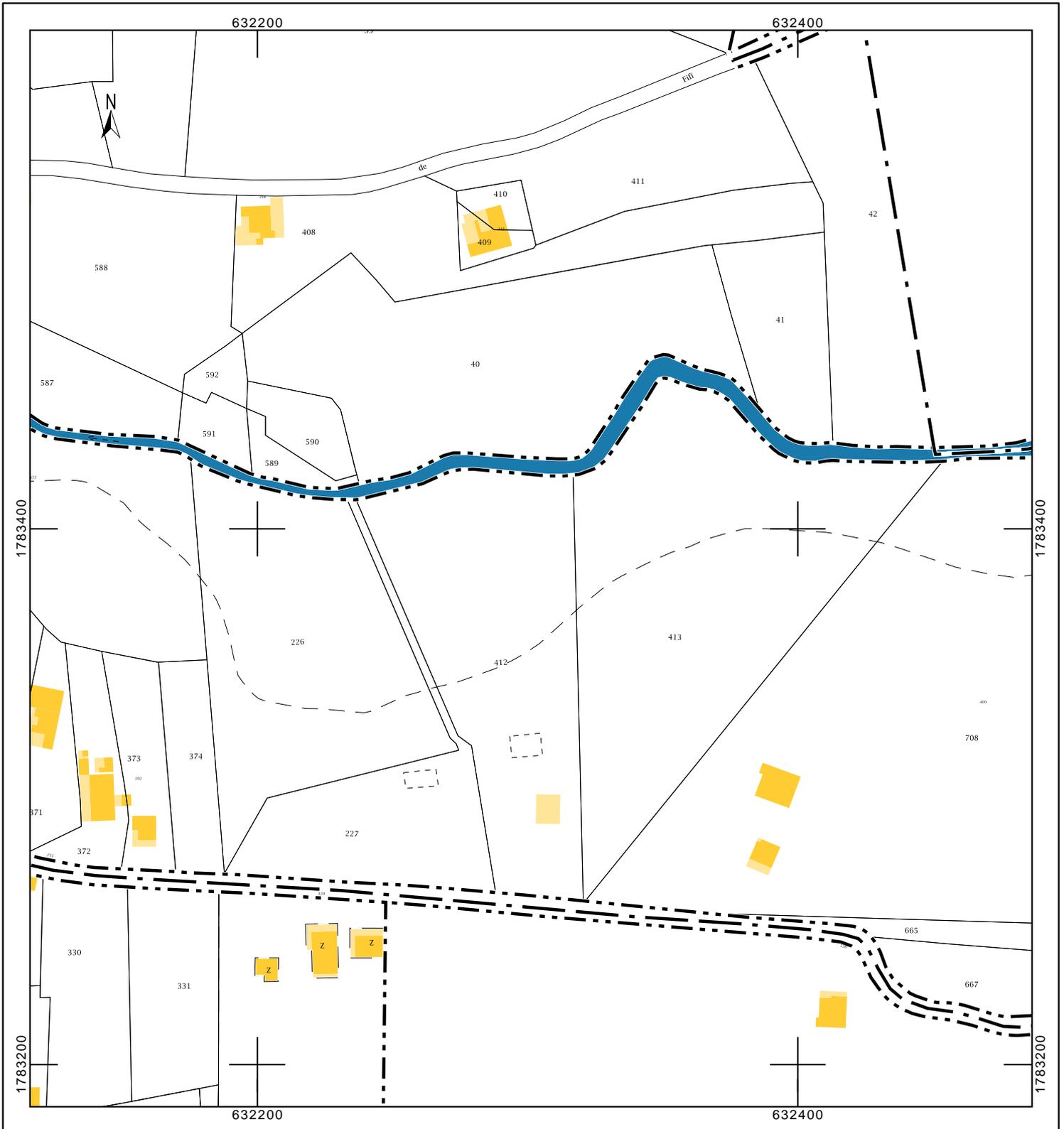
DIRECTION GÉNÉRALE DES FINANCES PUBLIQUES

EXTRAIT DU PLAN CADASTRAL

Le plan visualisé sur cet extrait est géré
par le centre des impôts foncier suivant :
Centre Des Impôts Foncier de BASSE-
TERRE
Desmarais BP561 97100
97100 BASSE-TERRE
tél. 0590994700 -fax 0590815087
centre.des.impots.foncier.basse-
terre@dgi.finances.gouv.fr

Cet extrait de plan vous est délivré par :

cadastre.gouv.fr





ANNEXE 2 :

Rapport du BRGM sur l'évaluation et le zonage des risques naturels



ANNEXE 3 :

Préfecture de la Région Guadeloupe. Commune de Bouillante – Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles. Règlement. Mai 2007.



**PREFECTURE DE LA REGION
GUADELOUPE**

COMMUNE DE BOUILLANTE

Plan de prévention des risques naturels prévisibles

Règlement

SOMMAIRE

<u>TITRE I – Portée du PPR – DISPOSITIONS GENERALES :</u>	4
Article 1 - Champ d'application :	4
Article 2 - Définition des risques et aléas naturels pris en compte :	5
Article 3 - Appréciation des enjeux :	5
Article 4 - Principes du zonage réglementaire :	6
Article 5 - Division du territoire en zones de risques :	7
Article 6 - Effets du PPR :	10
Article 7 - Limites du zonage réglementaire :	12
Article 8 - Utilisation et contenu du règlement :	12
<u>TITRE II – DISPOSITIONS COMMUNES APPLICABLES A L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE :</u>	16
<u>CHAPITRE I – Réglementation des projets nouveaux :</u>	16
Article 1-1 - Prescriptions visant la prévention des effets des vents cycloniques sur les constructions :	16
Article 1-2 - Prescriptions visant la prévention des effets des séismes sur les constructions :	17
Article 1-3 - Recommandations visant la prévention des effets des séismes sur les constructions :	17
Article 1-4 - Recommandations visant à la prévention de certains effets des éruptions volcaniques sur les constructions:	18
<u>CHAPITRE II – Mesures sur les biens et activités existants</u>	19
Article 2-1 - Mesures relatives aux études de prédiagnostic et de diagnostic :	19
Article 2-2 - Mesures relatives aux travaux :	20
<u>CHAPITRE III - Mesure de prévention, de protection et de sauvegarde :</u>	21
Article 3-1 - Élaboration du DICRIM.....	21
Article 3-2 - Recommandations de plans de secours et d'évacuation préventive	21
Article 3-3 - Gestion des eaux pluviales :	21
Article 3-4 - Entretien des cours d'eau et de leurs abords :	22
Article 3-5 - Entretien des abords du réseau routier :	22
Article 3-6 Entretien des ouvrages de protection :	22
<u>TITRE III – DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES INCONSTRUCTIBLES :</u>	
<u>CHAPITRE I - Réglementation des projets nouveaux :</u>	23
Article 1-1 - Interdictions :	23
Article 1-2 - Prescriptions :	24
Article 1-3 – Dispositions particulières concernant les zones inondables à très fort enjeu :	27
<u>CHAPITRE II - Mesures sur les biens et activités existants :</u>	28
Article 2-1 - Mesures visant à assurer la sécurité des personnes :	28
Article 2-2 - Mesures visant à limiter les dommages aux biens :	28
Article 2-3 - Mesures visant à faciliter le retour à la normale:	29

<u>CHAPITRE III - Mesure de prévention, de protection et de sauvegarde :</u>	29
Article 3-1 - Mesures obligatoires :	29
Article 3-2 - Mesures recommandées :	30
<u>TITRE IV - DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES CONSTRUCTIBLES</u>	
<u>A CONTRAINTES SPECIFIQUES FORTES :</u>	31
<u>CHAPITRE I - Réglementation des projets nouveaux :</u>	31
Article 1-1 - Interdictions :	31
Article 1-2 - Prescriptions :	33
<u>CHAPITRE II - Mesures sur les biens et activités existants:</u>	37
Article 2-1 – Mesures visant à assurer la sécurité des personnes :	37
Article 2-2 - Mesures visant à limiter les dommages aux biens :	37
Article 2-3 - Mesures visant à faciliter le retour à la normale:	37
<u>CHAPITRE III - Mesure de prévention, de protection et de sauvegarde:</u>	38
Article 3-1 - Mesures obligatoires :	38
Article 3-2 - Mesures recommandées :	39
<u>TITRE V - DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES DE CONTRAINTES</u>	
<u>SPECIFIQUES MOYENNES :</u>	40
<u>CHAPITRE I - Réglementation des projets nouveaux :</u>	40
Article 1-1 - Interdictions :	40
Article 1-2 - Prescriptions :	42
<u>CHAPITRE II - Mesures sur les biens et activités existants:</u>	44
Article 2-1 – Mesures visant à assurer la sécurité des personnes :	44
Article 2-2 - Mesures visant à limiter les dommages aux biens :	44
Article 2-3 - Mesures visant à faciliter le retour à la normale:.....	45
<u>CHAPITRE III - Mesure de prévention, de protection et de sauvegarde :</u>	45
Article 3-1 - Mesures obligatoires :	45
Article 3-2 - Mesures recommandées :	46
<u>TITRE VI - DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES DE CONTRAINTES</u>	
<u>SPECIFIQUES FAIBLES :</u>	47
<u>CHAPITRE I - Réglementation des projets nouveaux :</u>	47
Article 1-1 – Interdictions :	47
Article 1-2 - Prescriptions :	48
<u>CHAPITRE II - Mesures relatives aux biens et activités existants:</u>	50
<u>CHAPITRE III - Mesure de prévention, de protection et de sauvegarde :</u>	51
Article 3-1 - Mesures obligatoires :	51

TITRE I – PORTEE DU PPR – DISPOSITIONS GENERALES

Article 1 - Champ d'application

Le présent règlement s'applique au territoire de la commune de Bouillante.

Conformément à l'article L.562-1 du code de l'environnement, le règlement du plan de prévention des risques définit :

- ⇒ les possibilités et les conditions de réalisation dans lesquelles des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations nouveaux doivent être réalisés. Les exploitations concernées peuvent être de tous types et notamment agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles ;
- ⇒ les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation, l'exploitation des constructions, ouvrages, installations ou espaces cultivés existants qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs ;
- ⇒ les mesures de prévention de protection et de sauvegarde qui incombent aux particuliers et aux collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences.

Le PPR répond également aux deux objectifs suivants :

- Constituer et divulguer une connaissance du risque pour que chaque personne concernée soit informée et responsabilisée.
- Instituer une réglementation minimum afin de garantir les mesures de prévention. C'est pour cela que le PPR constitue une servitude d'utilité publique affectant l'utilisation du sol et s'impose notamment au plan local d'urbanisme (PLU) (voir article 6-1).

Le PPR est aussi l'outil qui permet d'afficher la prévention, de donner une dimension pérenne aux actions engagées par les collectivités et de contribuer au développement durable du territoire.

Article 2 - Définition des risques et aléas naturels pris en compte

Le risque naturel, c'est la probabilité de pertes en vies humaines, en biens et en activités consécutives à la survenance d'un aléa naturel.

Les aléas naturels pris en compte concernent les phénomènes suivants :

- Les inondations ;
- Les mouvements de terrain ;
- Les séismes et les effets qui en découlent : effets de site topographiques ou liés à la nature du sol, liquéfaction, mouvements de terrain ;
- Les cyclones et leurs effets (vents, surcotes marines, houles) ;
- Les éruptions volcaniques.

Ces aléas sont cartographiés en fonction de 3 niveaux définis par l'intensité et la probabilité d'occurrence du phénomène : faible, moyen et fort.

Article 3 - L'appréciation des enjeux

Les enjeux correspondent aux personnes, biens, activités, moyens, patrimoines, ... etc., susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

L'appréciation des enjeux passe par l'analyse des différents types d'occupation du sol actuelles et projetées à travers notamment le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la commune qui doit être compatible avec les orientations du Schéma d'Aménagement Régional (SAR).

L'appréciation des enjeux est formalisée dans l'atlas cartographique par la carte des enjeux. Elle permet de recenser notamment :

- les différentes zones du SAR
- les différentes zones de projet
- les bâtiments, équipements, ouvrages nécessaires à la gestion de crise (centres de secours police, pompiers, SAMU, hôpitaux, axes routiers, aéroports, ports, réseaux d'eau y compris station d'épuration et captage d'eau pour l'alimentation en eau potable, réseaux d'électricité et téléphonique, ...)
- les bâtiments à risque spécial, les bâtiments à risque normal de catégorie C recevant du public (écoles, stades,....)

Article 4 - Principes du zonage réglementaire

La prise en compte des enjeux et des aléas est le fondement de la délimitation du zonage réglementaire.

Le plan de zonage réglementaire de la commune de Bouillante repose sur une cartographie multirisque pour les raisons suivantes :

- La conjonction de plusieurs aléas peut conduire à un zonage et des clauses réglementaires plus sévères que s'ils étaient considérés isolément.
- Les prescriptions doivent être définies en veillant à la compatibilité de protection vis à vis des divers aléas.

Comme l'ensemble de la Guadeloupe, le territoire de la commune de Bouillante est concerné par le risque cyclonique et le risque sismique.

La prise en compte des vents cycloniques est géographiquement indifférenciée sur le territoire et ne fait pas l'objet d'un zonage spécifique.

S'agissant du risque sismique, les résultats de l'étude probabiliste de l'aléa sismique sur le territoire national, réalisée en 2002 par le Ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD) dans le cadre de la révision du zonage sismique de la France, montrent que l'accélération au rocher générée par les séismes n'est pas totalement uniforme sur l'ensemble du territoire de la Guadeloupe. Elle augmente significativement d'Ouest en Est.

Les autres effets (effets de site et effets induits pour les séismes ; surcotes marines, inondations et houles pour les cyclones) sont spécifiques à chaque zone du territoire. Les zones où s'appliquent de manière significative ces autres effets sont les zones rouges et bleues définies à l'article 5 du titre I.

Article 5 - Division du territoire en zones de risques

Le territoire comprend des **zones inconstructibles** et des **zones constructibles** dont la définition est synthétisée dans le tableau ci-après.

Phénomène naturel	Niveau d'aléa	Espaces urbanisés. Espaces à urbaniser construits	Espaces à urbaniser non construits. Zones naturelles ou agricoles
Houle cyclonique (effets directs de la houle) ou érosion	Aléa fort	Rouge	Rouge
Inondation (crue torrentielle ou surcote marine)	Aléa fort	Rouge	Rouge
Mouvements de terrain	Aléa fort	Rouge	Rouge
Mouvements de terrain	Aléa moyen	Bleu foncé	Bleu foncé
Inondation (cours d'eau ou surcote marine) ou houle cyclonique	Aléa moyen	Bleu	Bleu foncé
Inondation	Aléa faible	Bleu clair	Bleu clair
Faille active	Aléa faible	Bleu clair	Bleu clair
Liquéfaction	Quel que soit son niveau	Bleu clair	Bleu clair
Mouvements de terrain	Aléa faible	Bleu clair	Bleu clair
Aléa nul ou considéré comme négligeable, venant s'ajouter aux risques cyclonique et sismique		Non colorées	Non colorées

Tableau 1 : Principe proposé pour la détermination des zones du plan de zonage réglementaire en Guadeloupe.

Le territoire comprend 5 zones dont la définition est synthétisée dans le tableau ci-après (Tableau 2).

Zone	Niveau de contraintes	Nature des prescriptions
Rouge	Zones inconstructibles	Zones d'interdictions
Bleu foncé	Contraintes spécifiques fortes	Zones soumises à opération d'aménagement préalable
Bleu	Contraintes spécifiques moyennes	Zones soumises à prescriptions individuelles et/ou collectives
Bleu clair	Contraintes spécifiques faibles	Zones soumises à prescriptions individuelles
Non colorées	Contraintes courantes	Zones soumises aux règles de construction applicables à l'ensemble du territoire

Tableau 2 : Description des zones du plan de zonage réglementaire en Guadeloupe.

5.1 - Zones inconstructibles

Les zones inconstructibles sont les zones où les niveaux d'aléa sont les plus forts. Ce sont les zones colorées en rouge.

Dans ces zones, il convient de prendre les mesures permettant de mieux maîtriser les risques, d'améliorer la sécurité des personnes déjà présentes et de ne pas augmenter la population et les biens exposés.

Certains aménagements, ouvrages ou exploitations pourront néanmoins y être admis de façon à permettre aux occupants de mener une vie et des activités normales, et s'ils sont compatibles avec les objectifs visés ci-dessus.

5.2 - Zones constructibles sous prescriptions

Les zones constructibles sont constituées de zones à contraintes spécifiques fortes, moyennes ou faibles et des zones à contraintes courantes.

Dans ces zones les aléas naturels ne menacent pas directement les vies humaines en raison de leur niveau ou de leur caractère prévisible. Il convient cependant de prendre des mesures particulières afin de limiter les risques pour les personnes et les biens et de préserver la sécurité des personnes présentes.

➤ **Les zones à contraintes spécifiques fortes sont les parties du territoire colorées en bleu foncé.** Ce sont des zones constructibles sous prescription de réalisation d'une opération d'aménagement préalable qui devra prendre en compte les risques naturels identifiés, par des mesures visant à réduire les risques, réduire la vulnérabilité et maîtriser les enjeux.

➤ **Les zones à contraintes spécifiques moyennes sont les parties du territoire colorées en bleu.** Ce sont des zones constructibles soumises à prescriptions individuelles et/ou collectives.

➤ **Les zones à contraintes spécifiques faibles sont les parties du territoire colorées en bleu clair.** Ce sont des zones constructibles soumises à prescriptions individuelles.

➤ **Les zones à contraintes courantes sont les parties du territoire non colorées.** Ce sont des zones constructibles soumises aux prescriptions liées à l'application des règles de construction paracyclonique et parasismique.

Article 6 - Effets du PPR

6.1 - Effets sur le P.L.U.

Le PPR approuvé vaut servitude d'utilité publique. Il doit donc être annexé au PLU en application des articles L126-1 et R123-24 du Code de l'Urbanisme par l'autorité responsable de la réalisation du PLU dans un délai maximum de trois mois suivant son approbation.

A défaut et après mise en demeure non suivie d'effet adressé à l'autorité compétente, le Préfet a obligation de procéder d'office à l'annexion.

La mise en conformité du PLU avec les dispositions du PPR n'est pas réglementairement obligatoire. Elle est cependant nécessaire lorsque ces documents divergent pour rendre cohérentes les règles d'occupation du sol et donc dans ce cas intervenir à la première révision du PLU.

6.2 - Effets sur l'assurance des biens et activités

L'existence du PPR ne remet pas en cause l'obligation pour les sociétés d'assurance d'étendre leurs garanties concernant les biens et activités, aux effets des catastrophes naturelles (code des assurances, articles L.125-1 à L.125-5).

Toutefois, cette obligation ne s'impose pas à l'égard des biens immobiliers construits et des activités exercées en violation des règles administratives en vigueur et tendant à prévenir les dommages causés par une catastrophe naturelle (code des assurances, article L.125-6). Il en ira ainsi des biens immobiliers et des activités nouvelles créées en violation du présent PPR.

Il est rappelé que sont considérés comme effets des catastrophes naturelles les dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises.

L'état de catastrophe naturelle est constaté par arrêté interministériel. Cet arrêté détermine les zones et les périodes où s'est située la catastrophe ainsi que la nature des dommages en résultant qui sont couverts. Les demandes de constatation de l'état de catastrophe naturelle sont adressées au Préfet par les maires des communes concernées.

Pour être assuré contre les catastrophes naturelles, il suffit de souscrire une police d'assurance incendie classique d'après la loi n° 90-509 du 25 juin 1990 modifiant le champ d'intervention du régime des catastrophes naturelles.

Enfin, il est rappelé que l'article 13 de la loi d'orientation pour l'outre-mer du 13 décembre 2000 a étendu la couverture du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles aux effets du vent dû à un événement cyclonique pour lequel les vents maximaux de surface enregistrés ou estimés sur la zone sinistrée ont atteint ou dépassé 145 km/h en moyenne sur dix minutes ou 215 km/h en rafales. En revanche, la répartition entre le régime légal et la garantie contractuelle « tempêtes, ouragans, cyclones » est maintenue pour les événements de moindre importance.

6.3 - Rappel des responsabilités pour la mise en œuvre du PPR

6.3.1 - Mise en œuvre des interdictions et autorisations sous réserves de prescriptions

Les services chargés de l'urbanisme et de l'application du droit des sols, c'est à dire généralement les services de la DDE ou des collectivités locales, gèrent les mesures qui entrent dans le champ du Code de l'Urbanisme. Plus généralement toute autorité administrative qui délivre une autorisation doit tenir compte des règles définies par le PPR.

Les maîtres d'ouvrage qui s'engagent à respecter les règles de construction lors du dépôt de permis de construire, et les professionnels chargés de réaliser les projets, sont responsables des études ou des dispositions qui relèvent du code de la construction en application de son article R126-1.

Les maîtres d'ouvrages des travaux, aménagements et exploitations de différentes natures sont responsables des prescriptions et interdictions y afférents.

Le respect des dispositions du présent PPR ne saurait dispenser les aménageurs et constructeurs du respect d'autres dispositions et règlements (règles d'urbanisme, règles de construction...).

6.3.2 - Mise en œuvre des mesures de prévention, de protection, de sauvegarde et mesures sur l'existant

La mise en œuvre des mesures définies ou rendues obligatoires par le PPR est de la responsabilité du maître d'ouvrage compétent, de la collectivité locale, du particulier ou du groupement de particuliers.

Article 7 - Limites du zonage réglementaire

Lorsque le terrain d'implantation d'un projet est concerné par deux ou plusieurs zones réglementaires (rouge, bleu foncé, bleu, bleu clair, non coloré) les règles à appliquer seront suivant l'implantation du projet sur la parcelle :

- si le projet est situé intégralement dans une seule zone, ce sont les contraintes liées à cette zone qui s'appliquent ;
- Si le projet est à cheval sur plusieurs zones, c'est le règlement afférent à la zone la plus contraignante qui s'applique.

Article 8 - Utilisation et contenu du règlement

8.1 - Lecture du règlement

Le présent règlement comprend des dispositions communes et des dispositions spécifiques aux différentes zones.

Les dispositions communes s'appliquent sur l'ensemble du territoire. Elles sont présentées au titre II du présent règlement.

La première clef d'entrée du règlement est l'une des 6 zones réglementaires du plan de zonage.

Les dispositions relatives aux différentes zones ne s'appliquent que sur les zones concernées. Pour chaque zone, elles sont regroupées au sein des titres et chapitres du règlement précisés ci-après.

TABLEAU DE LECTURE DU REGLEMENT				
ZONES INCONSTRU- CTIBLES	ZONES CONSTRUCTIBLES SOUS PRESCRIPTIONS			DISPOSITIONS COMMUNES OU CONTRAINTES COURANTES
	Contraintes spécifiques fortes	Contraintes spécifiques moyennes	Contraintes spécifiques Faibles	
TITRE III CHAPITRES I, II et III	TITRE IV CHAPITRES I, II et III	TITRE V CHAPITRES I, II et III	TITRE VI CHAPITRES I, II et III	TITRE II

La deuxième clef d'entrée du règlement concerne, pour les titres II, III, IV, V et VI, les 3 objets suivants :

1. Les projets nouveaux,
2. Les biens et activités existants,
3. Les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

La troisième clef d'entrée concerne enfin, pour chacun des objets ci-dessus, les mesures dont les objectifs sont définis à l'article 8.2 ci-dessous.

8.2 - Définition des mesures réglementaires

Ces mesures comportent :

- Une **intention**, à priori motivée par la mitigation, la maîtrise ou la gestion des risques
- Un **objet** générique ;
- Des **conditions** encadrant son champ d'application.

Une intention traduit l'un des objectifs suivants :

- Limiter l'exposition des biens et des personnes ;
- Limiter la vulnérabilité ;
- Limiter les aléas ;

- Réduire les risques par des actions de prévention ou préparation.

L'objet des mesures relève de l'un des trois aspects suivants :

- Projets nouveaux ;
- Biens et activités existants ;
- Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

8.3 - Réglementation des projets nouveaux

Le PPR réglemente les utilisations et l'occupation du sol en fonction des risques présents. Il édicte notamment les prescriptions ou interdictions s'appliquant aux constructions, aux ouvrages, aux aménagements ainsi qu'aux exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles nouveaux.

Ces prescriptions ou interdictions peuvent concerner leurs conditions d'implantation, de réalisation ou d'utilisation.

Les prescriptions relatives aux projets de reconstruction d'un bâtiment sinistré, d'extension, de changement de destination ou de surélévation de construction existantes sont traités au titre des projets nouveaux.

8.4 - Mesures relatives aux biens et activités existants

Le PPR édicte des mesures concernant des ouvrages, constructions, exploitations ou aménagements existants à la date d'approbation du PPR.

Dans le présent PPR, ces mesures sont présentées en fonction de l'objectif de prévention recherché. Elles correspondent à des moyens légers de sauvegarde et de protection qui incombent aux propriétaires particuliers (par exemple pour les inondations : étanchéité ou surélévation, etc..) . Elles peuvent avoir également pour objet la réalisation d'études relatives à la réduction de la vulnérabilité du bien.

Elles sont rendues obligatoires à l'occasion de travaux de réhabilitation ou de réparation de biens.

8.5 - Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde

Le PPR définit des mesures de prévention à prendre en compte par les collectivités, ou leurs groupements, dans le cadre de leurs compétences, les propriétaires d'établissement recevant du public, les propriétaires de bâtiments et d'équipements stratégiques, notamment :

- des mesures à prendre par les communes dans le cadre de leur compétences en matière de police (par exemple, l'élaboration de plans communaux de secours ou d'évacuation),
- des études relatives à la réduction de la vulnérabilité et dépassant le cadre parcellaire,
- des mesures relatives à l'information du public,
- des mesures relatives aux réseaux et infrastructures publics desservant les zones exposées et visant à faciliter les éventuelles mesures d'évacuation et l'intervention des secours.

Si certaines de ces mesures sont rendues obligatoires, le règlement précise à qui elles incombent et le délai pour leur réalisation. Ce délai est au maximum de cinq ans et peut être réduit en cas d'urgence.

En résumé, le mode d'emploi de l'instructeur d'un dossier est le suivant :

- **Consultation du plan de zonage réglementaire au format papier ou numérique ;**
- **Identification de la zone réglementaire du projet (l'une des 5 zones) et consultation du tableau de lecture du règlement ;**
- **Consultation du titre et des chapitres correspondant à la zone identifiée indiqués dans le tableau, ainsi que le titre II relatif aux dispositions communes ;**
- **Application des dispositions générales et particulières et des mesures décrites dans ces chapitres.**

TITRE II – DISPOSITIONS COMMUNES APPLICABLES A L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE

Ces dispositions concernent l'ensemble des zones (rouges, bleues, beiges et non colorées).

Les réglementations parasismique et paracyclonique en vigueur s'appliquent à l'ensemble du territoire. Elles constituent des contraintes courantes.

Il convient de noter que les cours d'eau, les ravines et leurs abords, sur une bande de 10 m de part et d'autre (voir cartes d'aléas) sont inconstructibles.

CHAPITRE I – REGLEMENTATION DES PROJETS NOUVEAUX

Article 1.1 - Prescriptions visant la prévention des effets des vents cycloniques sur les constructions

- Il est rappelé que tout projet doit être conçu dans le respect de la réglementation paracyclonique en vigueur au moment du dépôt du permis de construire et dans le respect des dispositions spécifiques prévues au règlement du présent PPR.

La mise en œuvre des mesures préventives propres à ce risque et applicables aux constructions résulte à ce jour de l'application des dispositions des Règles NV 65 modifiées définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes, classant la Guadeloupe en région V, site exposé (coefficient de site de 1,2).

Article 1.2 - Prescriptions visant la prévention des effets des séismes sur les constructions

1.2.1 - Dispositions générales

- Il est rappelé que l'implantation des constructions, ouvrages et équipements de la catégorie à risque spécial doit être précédée d'une étude de dangers, et d'une évaluation de l'aléa sismique local (arrêté du 10 mai 1993).
- Il est rappelé que tout projet de la catégorie à risque normal doit être conçu dans le respect des normes parasismiques en vigueur au moment du dépôt du permis de construire et en appliquant le mouvement sismique de calcul défini ci après sauf prescriptions contraires.

1.2.2 - Mouvement sismique de calcul

- La commune de Bouillante n'a pas fait l'objet d'un microzonage sismique. Toutefois, des zones où peuvent se produire des effets de site géologiques ont été délimité dans l'atlas cartographique de l'aléa sismique local annexé au présent PPR. Pour l'application des règles parasismiques, le constructeur utilisera le spectre spécifique normalisé qui correspond à la classe du bâtiment et au type de site sur lequel sera implanté le projet. Ce spectre est proposé dans le rapport de présentation du présent PPR (pages 36 tableau 9 et page 38 figure 5). Ce spectre doit être multiplié par l'accélération en vigueur (a_N ou a_g) au moment de la délivrance du permis de construire.
- La prise en compte des effets de site liés à la topographie ne donne lieu à aucune prescription autre que les dispositions prévues par les règles de construction parasismique. Il appartient aux maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre de faire toutes vérifications utiles au stade des projets.

1.2.3 - Exigences de comportement des bâtiments de classe D

- Le maître d'ouvrage d'un bâtiment, équipement ou ouvrage de classe D a l'obligation de prendre toutes les dispositions nécessaires pour que celui-ci demeure opérationnel après un événement correspondant au séisme réglementaire. Ceci est valable pour les structures comme pour les équipements(groupe de secours en électricité, protection et renforcement des installations,...).

Article 1.3 - Recommandations visant la prévention des effets des séismes sur les constructions

Pour les maisons individuelles, il peut être fait usage du guide de recommandations de l'Association Française du génie Parasismique intitulé « Construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles » (CPMI Antilles) dans son domaine d'application.

Article 1.4 - Recommandations visant la prévention de certains effets des éruptions volcaniques sur les constructions

Les éruptions volcaniques peuvent être à l'origine de nuages de cendres susceptibles de parcourir des distances importantes. Sans constituer nécessairement un danger pour les constructions, les cendres peuvent nuire considérablement aux biens présents à l'intérieur des constructions et gêner considérablement le retour des habitants chez eux après l'éruption. Cela fut le cas en 1976.

La mesure suivante est définie et incombe aux maître d'ouvrage et maître d'œuvre : éviter tout système d'ouverture permanent (type claustra).

CHAPITRE II – MESURES RELATIVES AUX BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

Article 2.1 - Mesures relatives aux études de prédiagnostic et/ou diagnostic

Les mesures suivantes sont définies. Elles incombent aux propriétaires, aux locataires (en cas de bail emphytéotique ou de bail à réhabilitation) ou aux concessionnaires (en cas de concession d'une durée au moins égale à 12 ans et sauf indication contraire dans le contrat relatif à la concession) :

- En l'absence d'éléments sur leur comportement au séisme, les bâtiments, ouvrages et équipements visés ci-après et construits avant 1998, devront faire l'objet d'une étude de vulnérabilité au séisme simplifiée (prédiagnostic) ou le cas échéant plus approfondie (diagnostic) ;
- Dans le cas où le bâtiment, l'ouvrage ou l'équipement est situé dans une zone soumise à un aléa inondation ou mouvement de terrain, les études de vulnérabilité (prédiagnostic et diagnostic de vulnérabilité) seront étendues aux phénomènes correspondants ;
- Lorsque le bâtiment, l'ouvrage ou l'équipement a déjà fait l'objet d'un prédiagnostic de vulnérabilité qui conclut sur la nécessité et la faisabilité du renforcement, un diagnostic de vulnérabilité sera réalisé pour définir précisément les dispositions constructives et les coûts de confortement.

La réalisation des mesures définies ci dessus est rendue obligatoire dans un délai de :

- 3 ans pour les bâtiments, équipements et ouvrages de classe C ou D au sens de l'arrêté du 29 mai 1997, ainsi que les établissements ou installations relevant de la catégorie à risque spécial ;
- 3 ans pour les bâtiments des établissements scolaires qui sont destinés à l'accueil ou l'hébergement des enfants et des élèves (salles de cours, de classe, de TP, internats) ;
- 3 ans pour les bâtiments des établissements destinés à l'accueil des enfants en âge préscolaire (crèches parentales et municipales) ;

- 3 ans pour les éléments ponctuels et linéaires des réseaux d’Alimentation en Eau Potable (A.E.P.) et d’assainissement ;
- 5 ans pour les établissements recevant du public (ERP) de 4^{ème} catégorie ;
- 5 ans pour les bâtiments d’habitation collective comportant plus de deux niveaux habitables, ainsi que pour les bâtiments à usage de bureaux dont l’effectif est compris entre 50 et 300 personnes.

Les délais de réalisation sont fixés à compter de la date d’approbation du PPR.

Ces études de prédiagnostic et de diagnostic de l’existant pourront être réalisées prioritairement dans les zones rouges, puis dans les zones bleues et enfin dans les zones non colorées.

Ces études devront permettre au maître d’ouvrage de définir des travaux d’amélioration significative possibles, dans la limite de 10 % de la valeur à neuf de ces biens (décret n° 95-1089 du 05 octobre 1995, article 5, 3^{ème} alinéa), d’examiner les conditions de leur mise en œuvre et de prendre les mesures nécessaires à leur réalisation.

Article 2.2 - Mesures relatives aux travaux

- En cas d’extension ou de transformation importante d’un bâtiment existant, les règles définies au chapitre précédent sont applicables (assimilé à un projet nouveau).

Les extensions ou transformations concernées sont précisées par l’arrêté interministériel du 29 mai 1997 et le décret n°2000-892 du 13 septembre 2000.

- En cas de travaux de couverture, toitures, planchers, de surélévation ou de travaux de gros œuvre sur une construction existante, les propriétaires, les locataires (en cas de bail emphytéotique ou de bail à réhabilitation) ou les concessionnaires (en cas de concession d’une durée au moins égale à 12 ans et sauf indication contraire dans le contrat relatif à la concession) feront procéder à son confortement parasismique s’il le nécessite, dans la limite de 10 % de sa valeur vénale ou estimée à la date d’approbation du présent PPR.

CHAPITRE III - MESURES DE PREVENTION, DE PROTECTION ET DE SAUVEGARDE

Article 3.1 - Elaboration du DICRIM

- Il est rappelé au maire l'obligation d'élaborer un Document Communal d'Information sur les Risques Majeurs (DICRIM) et d'organiser les modalités d'affichage des consignes de sécurité figurant dans ce document dans les locaux et terrains mentionnés à l'article 6 du décret 90-918 du 11 octobre 1990 modifié.

Article 3.2 - Recommandation de plans de secours et d'évacuation préventive

La mesure suivante est définie et incombe à la commune :

- Elaborer les déclinaisons communales des Plan de Secours Spécialisé Cyclone (PSS Cyclone), et Plan de Secours Spécialisé Séismes (PSS Séisme).

Article 3.3 - Gestion des eaux pluviales

- Il est rappelé que les propriétaires des fonds amont ne doivent pas aggraver les conséquences, sur les fonds aval, des écoulements des eaux pluviales (article 640 du Code civil).
- Les propriétaires doivent maintenir le libre écoulement et la continuité d'un thalweg d'évacuation des eaux météoriques existant.

Les mesures préconisées à ces fins, après collecte des eaux au niveau de la parcelle, pourront être :

- infiltration à la parcelle,
 - limitation des débits de fuite par création de surfaces ou d'ouvrages de rétention,
 - raccordement au réseau des eaux pluviales, lorsqu'il existe.
- Il est rappelé que le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de Guadeloupe (SDAGE), approuvé le 25 juillet 2003 opposable à l'Etat, aux collectivités locales et aux établissements publics, définit plusieurs mesures opérationnelles concernant notamment la prévention contre les risques d'inondation aggravés par un réseau pluvial défaillant :
 - obligation d'entretien,

- dimensionnement adapté recommandé,
- obligation de diagnostic et de programmation des aménagements à réaliser sur le réseau pluvial dans le cadre des Schémas directeurs d'assainissement dont l'élaboration et la mise en œuvre sont du ressort des collectivités locales.

Article 3.4 - Entretien des cours d'eau et de leurs abords

- Il est rappelé que les rivières de Guadeloupe relevant du Domaine Public de l'Etat, ce dernier doit s'assurer du bon écoulement des eaux par un curage "vieux fond, vieux bords" (article 14 du Code du domaine public fluvial).
- En revanche, les ravines appartiennent aux propriétaires riverains. Ceux ci sont alors chargés d'en assurer l'entretien afin de maintenir le bon écoulement des eaux. Les propriétaires riverains doivent également entretenir les berges, à minima par élagage et recépage de la végétation.

Article 3.5 - Recommandation relative à l'entretien des abords du réseau routier

Avant chaque période cyclonique et dans le respect de leurs prérogatives respectives, les gestionnaires et riverains des réseaux routiers exposés feront procéder à l'élagage ou, si nécessaire, à l'abattage des végétaux vulnérables.

Article 3.6 – Entretien des ouvrages de protection

D'une manière générale, afin qu'une digue puisse réellement jouer son rôle, il convient de la compacter puis de la végétaliser, et ensuite de l'entretenir, et garder à l'esprit qu'une crue exceptionnelle peut toujours survenir : les digues ne mettent donc pas totalement à l'abri les constructions situées en deçà, qu'il convient de surélever de 50cm minimum.

Le raisonnement est le même pour les remblais en lit majeur : leurs talus doivent être surveillés, et les constructions situées sur le remblais doivent également être surélevées de 50cm minimum.

TITRE III - DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES INCONSTRUCTIBLES

Les zones inconstructibles (zones rouges) sont les zones soumises à aléa houle cyclonique, ou aléa mouvement de terrain ou érosion fort, ou aléa inondation (par crue torrentielle ou surcote marine) fort.

Dans ces zones, il convient de prendre les mesures permettant de mieux maîtriser les risques, d'améliorer la sécurité des personnes déjà présentes et de ne pas augmenter la population et les biens exposés.

Le principe y est donc l'inconstructibilité. Cependant, certains aménagements, ouvrages ou exploitations pourront y être admis, de façon à permettre aux occupants de mener une vie et des activités normales, et s'ils sont compatibles avec les objectifs visés ci-dessus.

Il convient de noter que les cours d'eau, les ravines et leurs abords sont inconstructibles sur une largeur minimale de 10 mètres de part et d'autre de l'axe d'écoulement tel que figurant en rouge sur le plan de zonage.

CHAPITRE I – REGLEMENTATION DES PROJETS NOUVEAUX

Article 1.1 - Interdictions

Sont interdits :

- La création ou l'extension de zones d'habitat ou d'activités (lotissements, opérations groupées, ZAC, ... etc.) ;
- Les infrastructures de transport sauf si la finalité de l'opération rend impossible toute implantation en dehors de la zone ;
- Les parkings collectifs sauf si des mesures sont prises pour réduire les risques ;
- Les constructions nouvelles ne rentrant pas dans le cadre des projets soumis à prescriptions visés à l'article 1.2 du présent chapitre ;

- Les changements de destination des constructions existantes avec augmentation de la vulnérabilité ou des enjeux exposés. En zone inondable, cela concerne notamment l'aménagement des sous-sol existants en pièces habitables ;
- La reconstruction de bâtiments détruits par la houle cyclonique, une crue torrentielle ou un mouvement de terrain, à l'exception de ceux détruits par la houle et visés à l'article 1.2 du présent chapitre. Dans ce cas, le nouveau bâtiment devra répondre aux prescriptions de l'article 1.2 du présent chapitre et des travaux de protection contre la houle devront être réalisés ;
- La création de logements ou de SHON supplémentaire et les extensions de constructions existantes, sauf dans le cas mentionné à l'article 1.2 du présent chapitre ;
- Les aménagements, ouvrages ou exploitations aggravant les risques, en créant de nouveaux ou augmentant la population exposée. A ce titre, sont interdits notamment les déboisements, défrichements et remblais ne respectant pas les prescriptions de l'article 1-2 du présent chapitre.

Article 1.2 - Prescriptions

Sont prescrites les conditions de réalisation, utilisation, exploitation suivantes :

- Les travaux courants de confortement, d'entretien et de gestion des constructions, ouvrages et aménagements implantés antérieurement à l'approbation du présent PPR, ne devront pas augmenter les risques, en créer de nouveaux ou conduire à une augmentation de la population exposée (aménagements internes, traitements de façade, réfection de toiture...) ;
- Les bâtiments ouverts, démontables, de surface au sol inférieure à 100 m² ne devront pas avoir de fonction d'hébergement et des mesures adéquates devront être prises par les propriétaires afin de ne pas aggraver les risques et afin de limiter les dommages sur les biens et les personnes en cas d'événement majeur ;

- Les travaux, aménagements, ouvrages ou exploitations contribuant à la réduction d'un ou plusieurs des risques pris en compte au titre du présent règlement, ne devront pas augmenter la vulnérabilité à l'égard des autres phénomènes ;
- Les travaux, aménagements, ouvrages ou exploitations soumis à déclaration d'utilité publique ou à déclaration d'intérêt général suivant l'article L211-7 du code de l'environnement, devront faire l'objet de toutes les mesures adéquates afin de réduire les risques. En particulier, ils devront faire l'objet d'une étude préalable précisant les conditions de faisabilité et de sécurité au regard du ou des types d'aléa présents et montrant qu'ils ne sont pas de nature à aggraver les risques ;
- Des mesures devront être prises pour interdire l'accès et garantir une évacuation rapide des zones de parking collectif en cas d'alerte ou en période de crise. Des panneaux signalétiques devront informer les usagers des risques potentiels ;
- Les travaux, aménagements, ouvrages ou bâtiments d'exploitations liés à l'activité touristique ou à la mer ne devront pas avoir de visée ou de fonction d'hébergement et devront faire l'objet de mesures adéquates afin de ne pas aggraver les risques (sont concernés notamment les restaurants, clubs de voile ou de plongée, étals de pêcheurs, boutiques de souvenirs, l'aménagement de carbets dans secteur de randonnée ...) et limiter les dommages sur les biens et les personnes. Ces projets seront en outre soumis à l'acceptation préalable de la commune ;
- Les bâtiments d'exploitation agricole, compatibles avec les documents d'urbanisme en vigueur (PLU, SAR), devront faire l'objet de mesures adéquates afin de ne pas aggraver les risques et afin de limiter les dommages sur les biens et les personnes.

Prescriptions particulières en zones inondables

- La création de logements ou de SHON supplémentaire et les extensions de constructions existantes en zone inondable ne devront pas conduire à une augmentation de l'emprise au sol et la surélévation devra être limitée à R+1 ;
- La construction et l'aménagement d'accès de sécurité extérieurs (voirie, escaliers, passage hors d'eau, par exemple) devront prendre en compte la nécessité de limiter l'encombrement de l'écoulement ;

- Les dispositions seront prises pour empêcher la libération d'objets et de produits dangereux, polluants ou flottants (exemple : arrimage, étanchéité, mise hors d'eau, protection des dépôts existants) ;
- Sauf en cas d'impossibilité technique, les équipements électriques, électroniques, et les appareils électroménagers seront placés au dessus de la cote de référence (niveau de crue centennale lorsque celle ci est connue ou niveau des plus hautes eaux observées) ;
- Les réseaux électriques situés en dessous de la cote de référence (sauf alimentation étanche de pompe submersible) seront dotés de dispositifs de mise hors circuit automatique ;
- Des techniques et des matériaux insensibles à l'eau permettant d'assurer une meilleure résistance aux vitesses d'écoulement et à une période d'immersion de plusieurs heures devront être utilisés pour les parties du bâtis situés sous le niveau de la crue de référence (niveau de crue centennale lorsque celle ci est connue ou niveau des plus hautes eaux observées).
- Les travaux effectués sur les réseaux par les propriétaires devront être réalisés de manière à :
 - limiter les risques d'accident pour la circulation des piétons et des véhicules (verrouillage des tampons d'assainissement ou dispositif de protection par exemple) ;
 - diminuer la vulnérabilité des réseaux : par exemple, pour les réseaux électriques, mettre hors d'eau les postes moyenne et basse tensions ainsi que les branchements et compteurs des particuliers ; Pour les réseaux d'eau potable, mettre hors d'eau des équipements sensibles (pompes, armoires électriques) et assurer l'étanchéité des équipements.

Les constructions et aménagements cités au présent article, devront être compatibles avec une gestion préventive du risque et devront faire l'objet d'une évacuation en cas d'alerte météorologique.

Article 1.3 Dispositions particulières concernant les zones inondables à très fort enjeu

Dans les zones à très fort enjeux soumises à aléa inondation fort, une modification du plan de prévention des risques ne pourra être sollicitée par la commune qu'après avoir :

- approfondi les questions relatives aux possibilités alternatives d'urbanisation et au bilan entre bénéfices attendus et accroissement de la vulnérabilité ;
- étudié les possibilités de réduction de la vulnérabilité et de protection de la zone
- réalisé les ouvrages de protections qui seraient possibles et nécessaires
- vérifié que les ouvrages présentent un niveau de sécurité et de fiabilité garanti avec maîtrise d'ouvrage pérenne ;

La vérification du niveau de sécurité et de fiabilité garantis avec maîtrise d'ouvrage pérenne pourra se faire sur la base :

- des études de dimensionnement des ouvrages de protection qui devront prendre en compte une période de retour des phénomènes naturels concernés de 100 ans et dans le cas où la période retenue serait moindre, évaluer le risque résiduel. Elles devront également évaluer les impacts de ces travaux de protection vis-à-vis des autres aléas ;
- des documents attestant que les travaux ont été réalisés suivant les règles de l'art devront être fournis (qualifications des entreprises, CCTP, PV de chantier, PV de réception...);
- d'une convention d'exploitation de ces ouvrages de protection qui devra définir leur modalités de surveillance et d'entretien afin que leur intégrité et leur pérennité de fonctionnement soient garantis.

CHAPITRE II – MESURES SUR LES BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

Lors des travaux de réhabilitation ou de réparation de biens existants situés en zone inondable, des mesures adaptées à la construction existante seront prises par le propriétaire afin de réduire la vulnérabilité de ses biens vis à vis de l'inondation en veillant à la cohérence de ces mesures avec l'aléa sismique.

Ces mesures viseront par ordre de priorité à assurer la sécurité des personnes, à limiter les dommages aux biens, à faciliter le retour à la normale. Sont obligatoires les mesures dont le coût des travaux correspondants ne dépasse pas 10% de la valeur vénale du bien.

Article 2.1 - Mesures visant à assurer la sécurité des personnes

- Faciliter la mise hors d'eau des personnes et l'attente de secours par l'identification ou la création de zone refuge par exemple ;
- Faciliter l'évacuation des personnes par la création d'un ouvrant de toiture ou d'un balcon, aménagement des abords immédiats de l'habitation par exemple ;
- Assurer la résistance mécanique du bâtiment par exemple en protégeant les fondations en amont du flux prévisible pour éviter l'affouillement ;
- Assurer la sécurité des occupants et des riverains en cas de maintien dans les locaux par exemple en empêchant la libération d'objets et de produits dangereux, polluants ou flottants et limitant la création d'embâcle par arrimage, étanchéité, mise hors d'eau ou protection des dépôts existants contenant ces objets.

Article 2.2 - Mesures visant à limiter les dommages aux biens

- Limiter la pénétration de l'eau dans le bâtiment par des dispositifs adaptés ;
- Choisir des équipements et des techniques de constructions adaptées (techniques et matériaux insensibles à l'eau permettant d'assurer une meilleure résistance aux vitesses d'écoulement et à une période d'immersion de plusieurs heures par exemple).

Article 2.3 - Mesures visant à faciliter le retour à la normale

- Faciliter la remise en route des équipements par exemple en mettant hors d'eau les réseaux électriques ou les installations de climatisation en les dotant de dispositifs de mise hors circuit automatique ;
- Faciliter le séchage par exemple en installant un drain périphérique.

CHAPITRE III – MESURE DE PREVENTION, DE PROTECTION ET DE SAUVEGARDE

Article 3.1 - Mesures obligatoires

- La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai de trois ans après l'approbation du PPR et incombe aux propriétaires des bâtiments et installations existants de classe D abritant des services en charge de la protection civile :
 - Procéder à l'installation de groupes de secours en électricité ;
 - Procéder à la protection et au renforcement des installations de radiotélécommunications ou se munir de moyens de communication redondants, notamment par satellite.
- La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai maximum de cinq ans après l'approbation du PPR et incombe à la commune :
 - faire procéder à la destruction des bâtiments existants sinistrés qui ont fait l'objet d'une évacuation et dont les habitants ont été relogés à la suite d'une crue torrentielle, de la houle cyclonique ou d'un mouvement de terrain.
 - réaliser des études visant à appréhender finement le risque, à réduire la vulnérabilité ou protéger l'existant et évaluer la nécessité de mettre en œuvre un plan de relogement pour les personnes concernées.

Ces études devront permettre à la commune de programmer les opérations de réduction de la vulnérabilité ou de protection qui y seront préconisées puis d'engager les démarches préalables nécessaires à leur mise en œuvre. Ces études

seront réalisées prioritairement dans les zones d'aléa mouvement de terrain fort puis dans les zones d'aléa inondation fort et houle cyclonique.

- mettre en place un plan d'alerte de secours et d'évacuation dans les secteurs urbanisés situés en zone d'aléa inondation fort ou houle cyclonique.
- La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai de un an après l'approbation du PPR et incombe aux propriétaires et exploitants d'établissements existants accueillant du public, d'activités industrielles, commerciales, artisanales ou de services :
 - afficher les risques présents,
 - informer les occupants de la conduite à tenir en cas de survenance d'un phénomène naturel,
 - mettre en place un plan d'évacuation des personnes,
 - prendre les dispositions pour alerter, signaler et guider.

Article 3.2 Mesures recommandées

- Le plan de secours et d'évacuation incombant à la commune et visé au titre II, chapitre III, article 3.1 ainsi qu'à l'article 3.1 du présent chapitre prévoira des lieux de refuge clairement identifiés et aménagés avec des accès aisément praticables, permanents et suffisants :
 - aisément praticables : itinéraire si possible hors d'eau pour un événement comparable à l'événement de référence ou à défaut franchissable à pied,
 - permanents : accès pérennes (passerelle, cote de plate-forme suffisante) et non vulnérable (structure porteuse adaptée à l'ennoisement et apte à résister aux effets du courant),
 - suffisants : gabarit suffisant pour l'évacuation des personnes concernées.
- Afin de limiter les risques d'accidents des piétons et des véhicules et de limiter les dommages sur les réseaux, sont recommandés :
 - le verrouillage des tampons d'assainissement,
 - la mise en place de dispositif de protection (grille),
 - la mise hors d'eau des équipements sensibles ou leur étanchéité.

TITRE IV DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES CONSTRUCTIBLES A CONTRAINTES SPECIFIQUES FORTES

Les zones à contraintes spécifiques fortes (zones bleues foncé) sont les zones soumises :

- **soit à un aléa mouvement de terrain moyen, quel que soit l'enjeu ;**
- **soit à un aléa houle cyclonique moyen, dans une zone à urbaniser, naturelle ou agricole ;**
- **soit à un aléa inondation moyen (par cours d'eau ou surcote marine) dans une zone à urbaniser, naturelle ou agricole.**

Dans ces secteurs, il est impératif d'éviter les aménagements au coup par coup qui peuvent se révéler contradictoires et augmenter les risques. Les travaux à réaliser doivent donc être envisagés à une échelle cohérente vis-à-vis du risque.

En conséquence, ce sont des zones constructibles sous prescription de réalisation d'une opération d'aménagement ou d'un aménagement global qui devra prendre en compte les risques naturels identifiés par des mesures visant à réduire les risques, réduire la vulnérabilité, maîtriser les enjeux. Le principe est d'éviter autant que possible d'exposer des enjeux dans les espaces naturels ou agricole situées dans ces zones et donc d'éviter leur urbanisation afin de ne pas engendrer de nouveaux risques.

CHAPITRE I – REGLEMENTATION DES PROJETS NOUVEAUX

Article 1.1 - Interdictions

Sont interdites :

- Toutes constructions n'entrant pas dans le cadre d'une opération d'aménagement telle que ZAD, ZAC, lotissements, permis groupés, RHI... comportant une étude préalable définie à l'article 1.2 ci-après ;

- Toutes constructions (y compris les extensions de constructions existantes) dans des secteurs urbanisés ou partiellement construits n'ayant pas fait l'objet d'une étude préalable et d'un schéma d'aménagement global définis à l'article 1-2 ci après sauf les extensions de constructions existantes, limitées à 20m² de SHOB et à une seule extension dans l'unité foncière considérée et à condition de prendre les mesures adéquates afin de ne pas aggraver les risques et augmenter la vulnérabilité.

En outre, dans le cadre de ces aménagements, sont interdits :

- Les constructions nouvelles présentant un intérêt primordial pour la sécurité civile ou la gestion de crise (bâtiments de classe D) ;
- Les établissements recevant du public suivants :
 - les établissements scolaires avec internat ;
 - les garderies d'enfants, et les écoles primaires et maternelles ;
 - les établissements d'hébergement des personnes à mobilité réduite ou des personnes âgées ;
 - les salles de spectacle, palais des sports et discothèques ;

Sauf si les conditions suivantes sont réunies :

- L'aménagement de ces secteurs, notamment en terme d'équilibre social et d'emploi, procure des bénéfices suffisamment importants pour compenser les risques résiduels ;
 - Il n'existe pas d'alternative réaliste pour l'implantation du projet sur des sites soumis à moindres risques sur un territoire éventuellement intercommunal ;
 - Les bâtiments de classe D doivent être conçus et réalisés pour rester opérationnel en cas de crise.
- La reconstruction de bâtiments détruits par une crue torrentielle ou un mouvement de terrain ;
 - Les changements de destination de constructions existantes avec augmentation de la vulnérabilité ;

- Si le projet est dans une zone soumise à aléa inondation, sont en outre interdits :
- Les constructions individuelles dont l'ensemble des pièces d'habitation est susceptible d'être inondé ;
 - Les sous-sols dont la conception ne garantit pas la sécurité des personnes et la sécurité des biens en cas d'inondation ;
 - Les clôtures pleines (murs ou équivalents) lorsqu'elles sont projetées perpendiculairement au sens de la plus grande pente (sens du courant principal) ;
 - Les exhaussements de terrain (remblais, digues) et les excavations de sols, sauf s'ils sont de nature à abaisser ou ne pas aggraver le risque collectif encouru par les constructions existantes. L'impact et les mesures compensatoires seront définies sur la base d'une étude hydraulique et de danger ;
 - Le stockage de substances incompatibles avec l'eau ou susceptibles de générer une pollution importante, sauf disposition constructive de mise hors d'eau.

Article 1.2 - Prescriptions

Prescriptions relatives aux opérations d'aménagement ou d'aménagement global

- Toute opération d'aménagement ou tout aménagement global visé à l'article 1.1 ci-dessus, devra faire l'objet d'une étude préalable par un bureau d'études qualifié, afin de maîtriser les risques d'inondations à l'échelle du bassin versant et les risques de mouvements de terrain à l'échelle du versant. Cette étude visera à appréhender plus finement le risque, comportera des informations préliminaires sur la faisabilité géotechnique du projet (étude G11) et précisera :
- Les conditions de faisabilité, de sécurité et de stabilité du projet au regard de la nature du terrain, de sa topographie et des aléas présents ;
 - Les dispositions architecturales et constructives à adopter au regard des aléas présents en tenant compte, lorsque c'est le cas, de la concomitance des aléas sismiques et inondation ;
 - L'impact des aménagements et des constructions projetées sur les terrains environnants, justifiant notamment la non aggravation des risques dans les zones construites.

L'étude devra dans tous les cas définir les mesures de prévention et de protection à prévoir.

La réalisation d'ouvrages de protection nécessite de définir les conditions de réalisation et d'entretien de ces ouvrages permettant de leur assurer sécurité et fiabilité dans la durée.

- Dans les secteurs urbanisés ou partiellement construits, l'étude devra permettre en outre de définir un schéma d'aménagement global incluant les constructions existantes et définissant les travaux à réaliser par la collectivité le cas échéant, et ceux qui seront à la charge des propriétaires. La réalisation de l'étude préalable incombe à la commune dans la mesure où elle doit être menée à une échelle dépassant le cadre parcellaire et définir les conditions de la poursuite de l'urbanisation de ces secteurs.
- Les constructions individuelles réalisées après aménagement préalable ou aménagement global décrits ci avant devront être précédées d'une étude de faisabilité des ouvrages géotechniques de type G12 afin de définir les conditions de leur faisabilité au regard de la géologie et de la nature des sols.
- Dans le cas où l'aménagement de la parcelle individuelle n'aurait pas d'influence sur la stabilité des terrains situés en amont ou en aval sur le même versant, ou dans le cas où le versant qualifié en aléa mouvement de terrain moyen serait limité à une seule parcelle individuelle, une étude préalable de risque à l'échelle du versant, élaborée par un bureau d'études qualifié, devra de même justifier la maîtrise des risques et leur non aggravation par les aménagements projetés. Les mesures prescrites par cette étude devront être mises en œuvre à l'échelle du versant et leur pérennisation devra être garantie.

Prescriptions particulières concernant les zones inondables :

- Tout projet devra tenir compte de l'étude combinée des aléas inondation et des aléas littoraux en aval., sachant par ailleurs que les champs d'expansion doivent être conservés au maximum compte tenu des forts enjeux existant en aval.
- La création de logements ou de SHON supplémentaire et les extensions de constructions existantes en zone inondable ne devront pas conduire à une augmentation de l'emprise au sol et la surélévation devra être limitée à R+1, en dehors des opérations d'ensemble ayant fait l'objet d'une étude et d'un aménagement global ;
- La construction et l'aménagement d'accès de sécurité extérieurs (voirie, escaliers, passage hors d'eau, par exemple) devront prendre en compte la nécessité de limiter l'encombrement de l'écoulement ;
- Des dispositions seront prises pour empêcher la libération d'objets et de produits dangereux, polluants ou flottants (exemple : arrimage, étanchéité, mise hors d'eau) ;
- Sauf en cas d'impossibilité technique, les équipements électriques, électroniques, et les appareils électroménagers seront placés au dessus du niveau de la crue de référence (niveau de crue centennale lorsque celle ci est connue ou niveau des plus hautes eaux observées) ;
- Les réseaux électriques situés au dessous du niveau de la crue de référence (sauf alimentation étanche de pompe submersible) seront dotés de dispositifs de mise hors circuit automatique ou rétablis au dessus de la cote de référence ;
- Des techniques et des matériaux insensibles à l'eau permettant d'assurer une meilleure résistance aux vitesses d'écoulement et à une période d'immersion de plusieurs heures devront être utilisés pour les parties du bâtis situés sous le niveau de la crue de référence (niveau de crue centennale lorsque celle ci est connue ou niveau des plus hautes eaux observées).
- Les travaux effectués sur les réseaux par les propriétaires devront être réalisés de manière à :

- limiter les risques d'accident pour la circulation des piétons et des véhicules (verrouillage des tampons d'assainissement ou dispositif de protection par exemple) ;
- diminuer la vulnérabilité des réseaux : par exemple, pour les réseaux électriques, mettre hors d'eau les postes moyenne et basse tensions ainsi que les branchements et compteurs des particuliers ; Pour les réseaux d'eau potable, mettre hors d'eau des équipements sensibles (pompes, armoires électriques) et assurer l'étanchéité des équipements .

Prescriptions relatives aux eaux usées, pluviales ou de drainage:

- Les eaux récupérées par le drainage ainsi que les eaux pluviales éventuellement collectées et les eaux usées seront évacuées dans les réseaux existants ou vers un émissaire naturel capable de recevoir un débit supplémentaire sans aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, inondation, glissement ou effondrement de terrains) ;
- Les ouvrages de collecte, de traitement et de rejet devront être entretenus et surveillés par leur propriétaire régulièrement et notamment après chaque forte précipitation.

Prescriptions relatives aux aménagements extérieurs :

- Des mesures devront être prises pour interdire l'accès et garantir une évacuation rapide des zones de stationnement collectif en cas d'alerte ou en période de crise. Des panneaux signalétiques devront informer les usagers des risques potentiels.

CHAPITRE II – MESURES SUR LES BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

Lors des travaux de réhabilitation ou de réparation de biens existants situés en zone inondable, des mesures adaptées à la construction existante seront prises par le propriétaire afin de réduire la vulnérabilité de ses biens vis à vis de l'inondation en veillant à la cohérence de ces mesures avec l'aléa sismique.

Ces mesures viseront par ordre de priorité à assurer la sécurité des personnes, à limiter les dommages aux biens, à faciliter le retour à la normale. Sont obligatoires, les mesures dont le coût des travaux correspondants ne dépasse pas 10% de la valeur vénale du bien.

Article 2.1 - Mesures visant à assurer la sécurité des personnes

- Faciliter la mise hors d'eau des personnes et l'attente de secours par l'identification ou la création de zone refuge par exemple ;
- Faciliter l'évacuation des personnes par la création d'un ouvrant de toiture ou d'un balcon, aménagement des abords immédiats de l'habitation par exemple ;
- Assurer la résistance mécanique du bâtiment par exemple en protégeant les fondations en amont du flux prévisible pour éviter l'affouillement ;
- Assurer la sécurité des occupants et des riverains en cas de maintien dans les locaux par exemple en empêchant la libération d'objets et de produits dangereux, polluants ou flottants et limitant la création d'embâcle par arrimage, étanchéité, mise hors d'eau ou protection des dépôts existants contenant ces objets.

Article 2.2 - Mesures visant à limiter les dommages aux biens

- Limiter la pénétration de l'eau dans le bâtiment par des dispositifs adaptés ;
- Choisir des équipements et des techniques de constructions adaptées (techniques et matériaux insensibles à l'eau permettant d'assurer une meilleure résistance aux vitesses d'écoulement et à une période d'immersion de plusieurs heures par exemple).

Article 2.3 - Mesures visant à faciliter le retour à la normale

- Faciliter la remise en route des équipements par exemple en mettant hors d'eau les réseaux électriques ou les installations de climatisation en les dotant de dispositifs de mise hors circuit automatique ;
- Faciliter le séchage par exemple en installant d'un drain périphérique.

CHAPITRE III – MESURE DE PREVENTION, DE PROTECTION ET DE SAUVEGARDE

Article 3.1 - Mesures obligatoires.

➤ La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai de trois ans après l'approbation du PPR et incombe aux propriétaires des bâtiments et installations existants de classe D abritant des services en charge de la protection civile :

- Procéder à l'installation de groupes de secours en électricité ;
- Procéder à la protection et le renforcement des installations de radiotélécommunications ou se munir de moyens de communication redondants, notamment par satellite.

➤ La réalisation de la mesure suivante est rendue obligatoire dans un délai de cinq ans après l'approbation du PPR, elle incombe à la commune :

- Faire procéder à la destruction des bâtiments existants sinistrés qui ont fait l'objet d'une évacuation et dont les habitants ont été relogés à la suite d'une crue torrentielle ou d'un mouvement de terrain.

➤ La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai de trois ans après l'approbation du PPR et incombe aux propriétaires et exploitants d'établissements existants accueillant du public, d'activités industrielles, commerciales, artisanales ou de services :

- Afficher les risques présents ;
- Informer les occupants de la conduite à tenir en cas de survenance d'un phénomène naturel ;
- Mettre en place un plan d'évacuation des personnes ;
- Prendre les dispositions pour alerter, signaler et guider.

Article 3.2 - Mesures recommandées

Dans les zones d'aléa inondation moyen, les mesures suivantes sont définies

- Le plan de secours et d'évacuation incombant à la commune et visé à l'article 3-1 du titre prévoira des lieux de refuge clairement identifiés et aménagés avec des accès aisément praticables, permanents et suffisants :
 - aisément praticables : itinéraire si possible hors d'eau pour un événement comparable à l'événement de référence ou à défaut franchissable à pied,
 - permanents : accès pérennes (passerelle, cote de plate-forme suffisante) et non vulnérable (structure porteuse adaptée à l'ennoisement et apte à résister aux effets du courant),
 - suffisants : gabarit suffisant pour l'évacuation des personnes concernées.

- Afin de limiter les risques d'accidents des piétons et des véhicules et de limiter les dommages sur les réseaux, sont recommandés :
 - le verrouillage des tampons d'assainissement,
 - la mise en place de dispositif de protection (grille),
 - la mise hors d'eau des équipements sensibles ou leur étanchéité.

TITRE V - DISPOSITIONS APPLICABLES AUX ZONES DE CONTRAINTES SPECIFIQUES MOYENNES

Les zones à contraintes spécifiques moyennes (zones bleues) sont les zones urbanisées soumises à aléa inondation (par cours d'eau ou submersion marine) ou houle moyen.

Dans ces zones, les risques d'inondation peuvent être aggravés par un réseau d'assainissement défaillant. Il incombe à la collectivité de prendre les mesures collectives nécessaires pour diminuer ces risques en cohérence avec le SDAGE. Ce sont des zones soumises à prescriptions individuelles et/ou collectives.

CHAPITRE I – REGLEMENTATION DES PROJETS NOUVEAUX

Article 1.1 - Interdictions

Sont interdits :

- Les constructions nouvelles présentant un intérêt primordial pour la sécurité civile ou la gestion de crise (bâtiments de classe D) ;
- Les établissements recevant du public suivants :
 - les établissements scolaires avec internat ;
 - les garderies d'enfants, et les écoles primaires et maternelles ;
 - les établissements d'hébergement des personnes à mobilité réduite ou des personnes âgées ;
 - les salles de spectacle, palais des sports et discothèques ;

Sauf s'il n'existe pas d'alternative réaliste pour l'implantation du projet sur des sites soumis à moindres risques sur un territoire éventuellement intercommunal .

En outre les bâtiments de classe D doivent être conçus et réalisés pour rester opérationnel en cas de crise.

- La reconstruction de bâtiments détruits par une crue torrentielle ou un mouvement de terrain ;
- Les changements de destination de construction existantes avec augmentation de la vulnérabilité. En zone inondable, cela concerne notamment l'aménagement des sous-sols existants en pièces habitables ;
- Les constructions individuelles dont l'ensemble des pièces d'habitation est susceptible d'être inondé ;
- Les sous-sols dont la conception ne garantit pas la sécurité des personnes et la sécurité des biens en cas d'inondation ;
- Les clôtures pleines (murs ou équivalents) lorsqu'elles sont projetées perpendiculairement au sens de la plus grande pente (sens du courant principal) ;
- Les exhaussements de terrain (remblais, digues) et les excavations de sol, sauf s'ils sont de nature à abaisser le risque collectif encouru par les constructions existantes. L'impact et les mesures compensatoires seront définies sur la base d'une étude hydraulique et de danger ;
- Le stockage de substances incompatibles avec l'eau ou susceptibles de générer une pollution importante, sauf disposition constructive de mise hors d'eau ;
- Les extensions et la création de SHON supplémentaire ne respectant pas les prescriptions mentionnées à l'article 1.2 du présent chapitre.

Article 1.2 - Prescriptions

Prescriptions relatives aux études :

- Toute construction ou aménagement nouveau devra faire l'objet d'une étude de risque par un bureau d'études qualifié, afin de préciser les conditions de faisabilité et de sécurité, en tenant compte de la concomitance des aléas météorologiques et sismiques.

L'étude devra prendre en compte l'environnement du projet et montrer que ses dispositions n'aggravent pas les risques sur les parcelles avoisinantes. Elle devra en particulier préciser les modalités de circulation des eaux, de drainage des terrains concernés par le projet, de terrassement, de soutènement de talus et de fondation de la construction ;

Sont prescrites les conditions suivantes de réalisation, utilisation, exploitation :

- Les constructions, aménagements, ouvrages ou exploitations concernant des services publics ou d'utilité collective doivent être conçus et réalisés pour rester fonctionnel en cas d'inondation ;
- Les habitations comporteront un refuge hors d'eau accessible de l'intérieur et de l'extérieur ;
- La création de logements ou de SHON supplémentaire et les extensions de constructions existantes en zone inondable ne devront pas conduire à une augmentation de l'emprise au sol et la surélévation devra être limitée à R+1 ;
- La construction et l'aménagement d'accès de sécurité extérieurs (voirie, escaliers, passage hors d'eau, par exemple) devront prendre en compte la nécessité de limiter l'encombrement de l'écoulement ;
- Des dispositions seront prises pour empêcher la libération d'objets et de produits dangereux, polluants ou flottants (exemple : arrimage, étanchéité, mise hors d'eau) ;
- Sauf en cas d'impossibilité technique, les équipements électriques, électroniques, et les appareils électroménagers seront placés au dessus du niveau de la crue de référence (niveau de crue centennale lorsque celle-ci est connue ou niveau des plus hautes eaux observées) ;

- Les réseaux électriques situés au dessous du niveau de la crue de référence (sauf alimentation étanche de pompe submersible) seront dotés de dispositifs de mise hors circuit automatique ou rétablis au dessus de la cote de référence ;
- Des techniques et des matériaux insensibles à l'eau permettant d'assurer une meilleure résistance aux vitesses d'écoulement et à une période d'immersion de plusieurs heures devront être utilisés pour les parties du bâtis situés sous le niveau de la crue de référence (niveau de crue centennale lorsque celle ci est connue ou niveau des plus hautes eaux observées).
- Les travaux effectués sur les réseaux par les propriétaires devront être réalisés de manière à :
 - limiter les risques d'accident pour la circulation des piétons et des véhicules (verrouillage des tampons d'assainissement ou dispositif de protection par exemple) ;
 - diminuer la vulnérabilité des réseaux : par exemple, pour les réseaux électriques, mettre hors d'eau les postes moyenne et basse tensions ainsi que les branchements et compteurs des particuliers ; pour les réseaux d'eau potable, mettre hors d'eau des équipements sensibles (pompes, armoires électriques) et assurer l'étanchéité des équipements .

Prescriptions relatives aux eaux usées, pluviales ou de drainage:

- Les eaux récupérées par le drainage ainsi que les eaux pluviales éventuellement collectées et les eaux usées seront évacuées dans les réseaux existants ou vers un émissaire naturel capable de recevoir un débit supplémentaire sans aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, inondation, glissement ou effondrement de terrains) ;
- Les ouvrages de collecte, de traitement et de rejet devront être entretenus et surveillés par leur propriétaire régulièrement et notamment après chaque forte précipitation.

Prescriptions relatives aux aménagements extérieurs :

- Des mesures devront être prises pour garantir une évacuation rapide des zones de stationnement collectif en période de crise. Des panneaux signalétiques devront informer les usagers des risques potentiels.

CHAPITRE II – MESURES SUR LES BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

Lors des travaux de réhabilitation ou de réparation de biens existants situés en zone inondable, des mesures adaptées à la construction existante seront prises par le propriétaire afin de réduire la vulnérabilité de ses biens vis à vis de l'inondation en veillant à la cohérence de ces mesures avec l'aléa sismique.

Ces mesures viseront par ordre de priorité à assurer la sécurité des personnes, à limiter les dommages aux biens, à faciliter le retour à la normale. Sont obligatoires, les mesures dont le coût des travaux correspondants ne dépasse pas 10% de la valeur vénale du bien.

Article 2.1 - Mesures visant à assurer la sécurité des personnes

- Faciliter la mise hors d'eau des personnes et l'attente de secours par l'identification ou la création de zone refuge par exemple ;
- Faciliter l'évacuation des personnes par la création d'un ouvrant de toiture ou d'un balcon, aménagement des abords immédiats de l'habitation par exemple ;
- Assurer la résistance mécanique du bâtiment par exemple en protégeant les fondations en amont du flux prévisible pour éviter l'affouillement ;
- Assurer la sécurité des occupants et des riverains en cas de maintien dans les locaux par exemple en empêchant la libération d'objets et de produits dangereux, polluants ou flottants et limitant la création d'embâcle par arrimage, étanchéité, mise hors d'eau ou protection des dépôts existants contenant ces objets.

Article 2.2 - Mesures visant à limiter les dommages aux biens

- Limiter la pénétration de l'eau dans le bâtiment par des dispositifs adaptés ;
- Choisir des équipements et des techniques de constructions adaptées (techniques et matériaux insensibles à l'eau permettant d'assurer une meilleure résistance aux vitesses d'écoulement et à une période d'immersion de plusieurs heures par exemple).

Article 2.3 - Mesures visant à faciliter le retour à la normale

- Faciliter la remise en route des équipements par exemple en mettant hors d'eau les réseaux électriques ou les installations de climatisation en les dotant de dispositifs de mise hors circuit automatique ;
- Faciliter le séchage par exemple en installant d'un drain périphérique.

CHAPITRE III – MESURE DE PREVENTION, DE PROTECTION ET DE SAUVEGARDE

Article 3.1 - Mesures obligatoires.

- La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai de trois ans après l'approbation du PPR et incombe aux propriétaires des bâtiments et installations existants de classe D abritant des services en charge de la protection civile :
 - Procéder à l'installation de groupes de secours en électricité ;
 - Procéder à la protection et le renforcement des installations de radiotélécommunications ou se munir de moyens de communication redondants, notamment par satellite.
- La réalisation de la mesure suivante est rendue obligatoire dans un délai de cinq ans après l'approbation du PPR, elle incombe à la commune :
 - Faire procéder à la destruction des bâtiments existants sinistrés qui ont fait l'objet d'une évacuation et dont les habitants ont été relogés à la suite d'une crue torrentielle.
- La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai de trois ans après l'approbation du PPR et incombe aux propriétaires et exploitants d'établissements existants accueillant du public, d'activités industrielles, commerciales, artisanales ou de services :
 - Afficher les risques présents ;
 - Informer les occupants de la conduite à tenir en cas de survenance d'un phénomène naturel ;

- Mettre en place un plan d'évacuation des personnes ;
- Prendre les dispositions pour alerter, signaler et guider.

Article 3.2 - Mesures recommandées

- Le plan de secours et d'évacuation incombant à la commune et visé à l'article 3-1 du titre prévoira des lieux de refuge clairement identifiés et aménagés avec des accès aisément praticables, permanents et suffisants :
 - aisément praticables : itinéraire si possible hors d'eau pour un événement comparable à l'événement de référence ou à défaut franchissable à pied,
 - permanents : accès pérennes (passerelle, cote de plate-forme suffisante) et non vulnérable (structure porteuse adaptée à l'ennoisement et apte à résister aux effets du courant) ,
 - suffisants : gabarit suffisant pour l'évacuation des personnes concernées.
- Afin de limiter les risques d'accidents des piétons et des véhicules et de limiter les dommages sur les réseaux, sont recommandés :
 - le verrouillage des tampons d'assainissement,
 - la mise en place de dispositif de protection (grille),
 - la mise hors d'eau des équipements sensibles ou leur étanchéité.

TITRE VI - ZONES DE CONTRAINTES SPECIFIQUES FAIBLES

Les zones à contraintes spécifiques faibles (zones bleues clair) sont les zones soumises à un ou plusieurs des aléas suivants, indépendamment du niveau d'enjeu de ces zones :

- **Aléa faille active ;**
- **Aléa liquéfaction ;**
- **Aléa mouvement de terrain faible;**
- **Aléa inondation ou submersion marine faible.**

Dans ces zones, des parades existent à l'échelle de la parcelle pour minimiser les effets des aléas identifiés. Ce sont des zones soumises à prescriptions individuelles.

Toutefois, les risques d'inondation peuvent être aggravés par un réseau d'assainissement défaillant. Il incombe à la collectivité de prendre les mesures collectives nécessaires pour diminuer ces risques en cohérence avec le SDAGE.

CHAPITRE I – REGLEMENTATION DES PROJETS NOUVEAUX

Article 1.1 - Interdiction

Sont interdits :

- La reconstruction de bâtiments détruits par un mouvement de terrain ou par une crue torrentielle ;
- Les changements de destination de constructions existantes avec augmentation de la vulnérabilité. En zone inondable, cela concerne notamment l'aménagement des sous-sols existants en pièces habitables ;

- Les sous-sols dont la conception ne garantit pas la sécurité des personnes et la sécurité des biens en cas d'inondation ;
- Les exhaussements de terrain (remblais, digues), sauf s'ils sont de nature à abaisser le risque collectif encouru par les constructions existantes. L'impact et les mesures compensatoires seront définies sur la base d'une étude hydraulique et de danger ;
- Tout stockage ou dépôt de biens susceptibles d'être atteints par une montée des eaux, si leur immersion, même partielle, peut les transformer en une source de pollution ou de danger ; sauf si des dispositions ont été prises pour empêcher leur libération.

Article 1.2 - Prescriptions

Prescriptions relatives aux études :

- Toute construction ou aménagement nouveau devra être réalisé dans le respect des règles parasismiques et paracycloniques en vigueur au moment de l'instruction du dossier en veillant à la définition de fondations adaptées.

En particulier, elle devra faire l'objet au préalable d'une étude géotechnique (mission normalisée de type G1), afin de :

- définir les conditions de sa faisabilité au regard de la géologie et de la nature des sols,
- préciser le cas échéant le risque lié à la liquéfaction,
- définir les paramètres en prendre en compte pour le dimensionnement des constructions en tenant compte des aléas présents (zones d'instabilités de pentes, d'inondations, de failles...) et des aménagements extérieurs (excavations, talus, terrassements, drainage, ouvrages de franchissement de fossés...).

L'objectif de cette prescription est d'adapter les bâtiments futurs à la nature du terrain, et de définir les mesures compensatoires actives ou passives permettant soit de minimiser les aléas, soit de définir les mesures permettant de s'affranchir de leurs effets.

Prescriptions particulières concernant les zones inondables :

- Toute construction ou aménagement nouveau devra faire l'objet d'une synthèse hydraulique réalisée par un bureau d'études qualifié, dont l'objectif sera de préciser le niveau prévisionnel atteint par les eaux.

L'étude devra prendre en compte l'environnement du projet et montrer que ses dispositions n'aggravent pas les risques sur les parcelles amont et aval. Elle devra en particulier préciser les modalités de circulation des eaux, de drainage des terrains concernés par le projet et de terrassement.

Prescriptions relatives aux aménagements extérieurs

- Les ouvrages de collecte, de transit et de rejet des eaux pluviales devront être entretenus et surveillés par leur propriétaire régulièrement et notamment après chaque forte précipitation.
- Des soutènements, dispositifs anti-érosion ou toute autre disposition assurant la stabilité doivent être envisagés pour tout talus de déblai de hauteur supérieure à 2 m. Les ouvrages de soutènement qui seraient nécessaires doivent être calculés suivant les règles de l'art, sous sollicitation sismique ;
- Lors de la création de talus de pente supérieure à 33°, des mesures de protection des personnes et des biens doivent être recherchées par le maître d'ouvrage :
 - mesures actives telles que l'équipement des talus avec des grillages, boulonnages, ... etc. ;
 - mesures passives telles que des murs et clôtures renforcés.

Dans tous les cas, les terrassements ou talutages seront réalisés avec des soutènements dimensionnés et adaptés au contexte géotechnique et géologique et seront drainés.

Cas particulier des projets de bâtiments de classe C et D et d'ICPE situés sur les zones de failles identifiées sur le plan de zonage :

- Les bâtiments, équipements et ouvrages de classe C et D de la catégorie à risque normal, ainsi que ceux de la catégorie à risques spécial et les installations classées pour la protection de l'environnement n'ayant pas fait l'objet d'une étude caractérisant le risque lié à la présence de la faille sont interdits.

Cette étude doit s'attacher à confirmer ou infirmer la présence de la faille, et en cas de confirmation délimiter sa position et son degré d'activité.

CHAPITRE II – MESURES SUR LES BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

Les extensions ou changement de destinations devront respecter les prescriptions relatives au chapitre II du titre II.

CHAPITRE III – MESURE DE PREVENTION, DE PROTECTION ET DE SAUVEGARDE

Article 3.1 - Mesures obligatoires.

- La réalisation de la mesure suivante est rendue obligatoire dans un délai de trois ans après l’approbation du PPR et incombe aux propriétaires des bâtiments et installations existants de classe D abritant des services en charge de la protection civile :
 - Procéder à l’installation de groupes de secours en électricité ;
 - Protéger et renforcer des installations de radiotélécommunications ou se munir de moyens de communication redondants, notamment par satellite.

- La réalisation de la mesure suivante est rendue obligatoire dans un délai de cinq ans après l’approbation du PPR, elle incombe à la commune :
 - Faire procéder à la destruction des bâtiments existants sinistrés qui ont fait l’objet d’une évacuation et dont les habitants ont été relogés à la suite d’une crue torrentielle ou d’un mouvement de terrain.

- La réalisation de la mesure suivante est rendue obligatoire dans un délai de cinq ans après l’approbation du PPR et incombe aux propriétaires et exploitants d’établissements existants accueillant du public, d’activités industrielles, commerciales, artisanales ou de services :
 - Afficher les risques présents ;
 - Informer les occupants de la conduite à tenir en cas de survenance d’un phénomène naturel ;
 - Mettre en place un plan d’évacuation des personnes ;
 - Prendre les dispositions pour alerter, signaler et guider.

- La réalisation des mesures suivantes est rendue obligatoire dans un délai d’un an après l’approbation du PPR et incombe aux propriétaires :
 - Procéder à l’enlèvement de tout objet non arrimé susceptible de générer des embâcles et de tout matériau flottant ou sensible à l’eau et polluant ;
 - Assurer la protection des dépôts existants d’objets ou de produits dangereux ou polluants.

* * * * *



ANNEXE 4 :

Rapport de Caraïbes Environnement Développement sur L'Etude faunistique et floristique de la parcelle AO413 de Bouillante et sa proche périphérie.

Géothermie Bouillante - Ormat

Bourg

97106 BOUILLANTE

À l'attention de M. Bernard HIRA



Étude faunistique et floristique de la parcelle AO 413 de Bouillante et sa proche périphérie

Rapport final





Références

Titre	Étude faunistique et floristique de la parcelle AO 413 de Bouillante et sa proche périphérie - Rapport Final
Destinataires	Bernard HIRA – Géothermie Bouillante - Ormat
Personne(s) rencontrée(s)	Bernard HIRA, Directeur QHSE
Auteur(s)	Félix LUREL – SEGE Biodiversité Gilles LEBLOND – BIOS Alexandre SOUDIEUX – Caraïbes Environnement Développement
Contrôle qualité	Olivier FELICITE – Caraïbes Environnement Développement Bertrand VIRET – Caraïbes Environnement Développement
Références	E8E8-R0251/18/AS
Version	F1
Date	7 novembre 2018

Ce rapport est basé sur les conditions observées et les informations fournies par les représentants de l'établissement lors de nos visites.

Les recommandations ou observations qu'il contient constituent un inventaire non exhaustif ou définitif, ne couvrent pas tous les dangers ou risques potentiels des activités de l'établissement, ni ne garantissent que l'établissement est en règle avec les dispositions législatives, réglementaires, normatives ou statutaires applicables.

Aucune prestation fournie par Caraïbes Environnement Développement ne peut s'assimiler à de la maîtrise d'œuvre et Caraïbes Environnement Développement n'est en aucun cas locateur d'ouvrage, concepteur ou maître d'œuvre.

Ce rapport a pour objet d'assister l'entreprise dans les actions de prévention et de protection de l'environnement et de la maîtrise des risques. Le contenu de ce rapport ne pourra pas être utilisé par un tiers en tant que document contractuel.



Sommaire

Table des matières

1	PREAMBULE	5
2	VOLET FLORE	7
2.1	Méthodologie	7
2.2	Résultats	7
2.3	Habitats	11
2.4	Enjeux patrimoniaux de la flore	12
3	VOLET FAUNE	13
3.1	Critères d'évaluation	13
3.2	Méthodologie	16
3.2.1	<i>Les habitats</i>	16
3.2.2	<i>La faune</i>	16
3.3	Résultats	17
3.3.1	<i>Liste des espèces et répartition selon les habitats</i>	17
3.3.2	<i>Enjeux patrimoniaux de la faune</i>	19
4	IMPACTS PRESENTIS DU PROJET	22
4.1	Le projet	22
4.2	Types d'impact	22
4.3	Impacts cumulés	23
4.4	Évaluation des impacts	23
4.5	Impacts sur la flore terrestre	23
4.5.1	<i>En phase de forage</i>	23
4.5.2	<i>En phase d'installation et de démantèlement du site de forage</i>	23
4.6	Impacts sur la faune	24
4.6.1	<i>En phase de forage</i>	24
4.6.2	<i>En phase d'installation et de démantèlement du site de forage</i>	25
5	MESURES EVITEMENT, REDUCTION, COMPENSATION	26
5.1	Mesures d'évitement	26
5.2	Mesures de réduction	27
5.3	Mesures de compensation	28
6	BIBLIOGRAPHIE	31

Table des figures

Figure 1: Représentation schématique du bilan écologique de la séquence ERC, Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018	28
---	----



Liste des cartes

Carte 1: Localisation de la parcelle AO 413 à Bouillante (Guadeloupe).....	5
Carte 2 : Localisation des stations de Sideroxylon foetidissimum sur la parcelle AO 413 (ancien cadastre) de Bouillante, espèce protégée par arrêté ministériel en Guadeloupe	8
Carte 3: Localisation des habitats de la parcelle AO 413 de Bouillante (971)	11

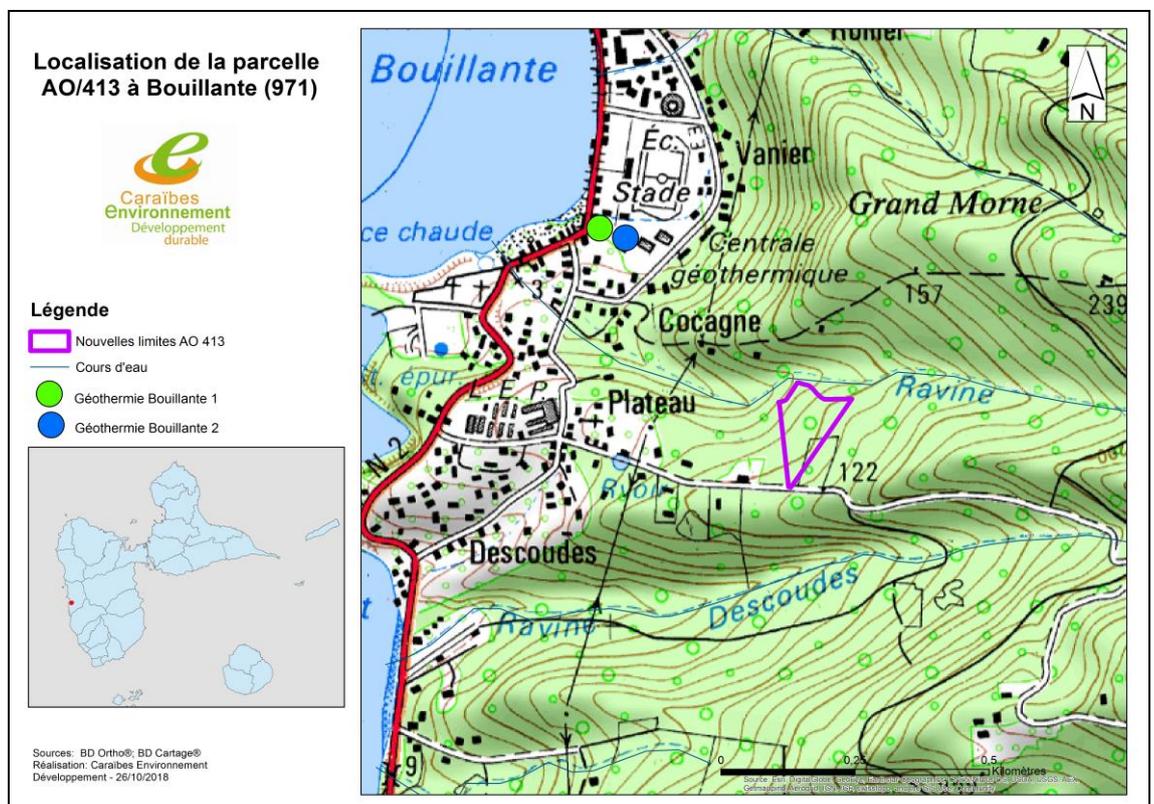
Liste des tableaux

Tableau 1: Inventaire floristique de la parcelle AO 413 et ses abords (octobre 2018).....	9
Tableau 2: Calendrier des prospections	16
Tableau 3: Liste des espèces contactées sur le site.....	17
Tableau 4: Répartition des espèces selon les habitats.	18
Tableau 5: Statuts biologiques et patrimoniaux des différentes espèces des sites.....	19

1 PREAMBULE

Les Antilles sont un des hot spots de la biodiversité mondiale traduisant une richesse biologique importante mais menacée. La raison de cette particularité repose sur une spéciation dynamique et donc un endémisme chronique. Cet endémisme se retrouve dans tous les taxons de la faune et de la flore composant une biodiversité patrimoniale qui est exposée à des menaces récurrentes. L'appellation « Hot spot », souvent labélisée par les instances internationales, nationales et régionales amène une grande responsabilité vis-à-vis des espèces présentes sur les îles et impose la nécessité d'intégrer sérieusement cette composante dans tous les projets d'aménagement.

Dans le cadre de projets de forage, Géothermie Bouillante a acquis la parcelle AO 413, en périphérie de la parcelle AO 412 déjà occupée par des puits de forage, située au Sud-Est de la centrale géothermique à environ 530 m. L'emprise du projet concerne une partie de ce terrain déjà défriché, située au sud. La parcelle s'étend sur une surface de 1,36 ha (liseré en rouge). Elle est située en marge d'un massif boisé important qui surplombe le bourg de Bouillante (Cf. Carte 1 ci-dessous).



Carte 1: Localisation de la parcelle AO 413 à Bouillante (Guadeloupe)

Géothermie Bouillante a sollicité Caraïbes Environnement Développement, SEGE Biodiversité et BIOS afin de réaliser une étude floristique et faunistique sur la parcelle AO 413.

- **Cadrage et phasage de l'étude**

Le cadrage et le phasage de l'étude ont été contraints au mois de septembre et d'octobre, hors période de reproduction de la plupart de la faune.

- **Niveaux d'investigation**

Les efforts d'inventaires ont ciblés les habitats ainsi que les groupes et les espèces patrimoniaux.

Les niveaux d'investigations ont été choisis en fonction :



- ✓ Des enjeux patrimoniaux identifiés,
- ✓ De l'importance des impacts supposés.
- ✓ Du cahier des charges.

- **Prospections**

Les premières visites de site ont été réalisées par les experts entre le 20 septembre et le 7 octobre 2018. Une seconde prospection a été réalisée pour la partie faune le 9 octobre 2018.

Les prospections se sont bien déroulées, de jour comme de nuit. En revanche, le parcellaire identifié sur Géoportail semblait différent de celui proposé par Ormat. En effet, les limites cadastrales de la parcelle AO 413 ont évolué et Géoportail n'a pas inclus cette modification. Les prospections ont eu lieu sur une zone suffisamment vaste pour couvrir les bonnes limites de la parcelle.

Ce rapport constitue le rapport final suite à l'ensemble des investigations de terrain. Une sortie de reconnaissance et de repérage a été effectuée le 20 septembre 2018 sur la parcelle AO 413 en compagnie de Mr Hira, Directeur de la qualité, de l'environnement, de l'hygiène et de la sécurité de la société Ormat. Une autre sortie s'est déroulée le 03 octobre 2018. Les premiers éléments relevés indiquent des habitats et des espèces principalement forestiers et une valeur patrimoniale importante.



2 VOLET FLORE

2.1 Méthodologie

L'inventaire floristique a été réalisé en octobre 2018. L'ensemble des espèces végétales présentes ont été recensées.

2.2 Résultats

- **Richesse spécifique**

- ✓ Pas moins de 124 espèces recensées
- ✓ Réparties en 49 familles et 104 genres
- ✓ Un quart des espèces sont naturalisées ou cultivées

- **Près d'une dizaine d'espèces indigènes Assez Rares**

- ✓ *Amphilophium paniculatum*
- ✓ *Annona reticulata*
- ✓ *Chiococca alba*
- ✓ *Cordia alliodora*
- ✓ *Cordia collococca*
- ✓ *Eugenia gregii* (au niveau de la ripisylve autour de la ravine Blanche)
- ✓ *Guazuma tomentosa* (au niveau de la ripisylve autour de la ravine Blanche)
- ✓ *Guettarda odorata*
- ✓ *Hymenaea courbaril* (au niveau de la ripisylve autour de la ravine Blanche)
- ✓ *Petrea kohautiana*

- **Deux espèces Rares**

- ✓ *Manilkara bidentata* (au niveau de la ripisylve autour de la ravine Blanche)
- ✓ *Sideroxylon foetidissimum* (au niveau de la ripisylve autour de la ravine Blanche)

- **Une espèce protégée par arrêté ministériel**

- ✓ *Sideroxylon foetidissimum* ou Syn. *Mastichodendron foetidissimum* H.J. Lam.
Akoma fran, Akoma Gran Tè - Cette espèce est caractéristique du climax de la forêt xérophile

Sur l'ensemble du périmètre étudié, quatre individus ont été recensés en limite périphérique, à une dizaine de mètres de la ravine sèche).

- **Espèces endémiques dont 7 endémiques des Antilles et 2 des Petites Antilles***

<i>Chimarrhis cymosa</i>	Résolu, Bwa riyè	RUBIACEAE
<i>Coccothrinax barbadensis</i>	Latanier, Latanyé a balé	ARECACEAE
<i>Cordia sulcata</i>	Maho gran fèy, Mapou gran fèy	BORAGINACEAE
<i>Desmanthus virgatus</i>	Akasya savann	MIMOSACEAE
<i>Eugenia gregii*</i>	Gwayav bata, Bwa kouròn	MYRTACEAE
<i>Petrea kohautiana*</i>	Lyann rid voyèt	VERBENACEAE
<i>Solanum racemosum igneum</i>	Pikannyé mal	SOLANACEAE
<i>Tabebuia heterophylla</i>	Pwayé, Poirie	BIGNONIACEAE
<i>Tabernaemontana citrifolia</i>	Bwa lèt	APOCYNACEAE

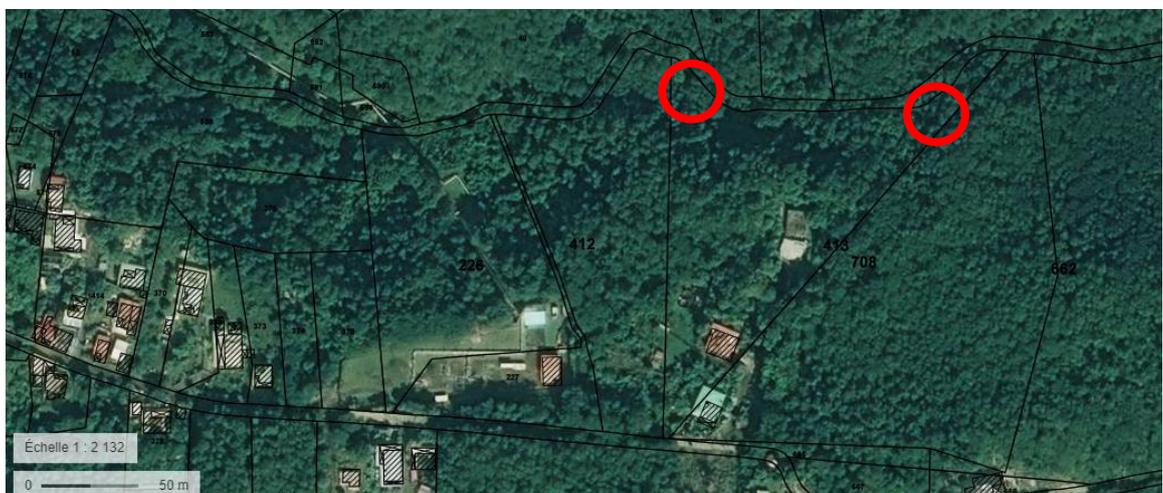
- **Espèces Exotiques Envahissantes**

- ✓ *Delonix regia*
- ✓ *Oeceoclades maculata*
- ✓ *Rhoeo spathacea*
- ✓ *Sansevieria hyacinthoides*
- ✓ *Vangueria madagascariensis*
- ✓ *Ziziphus mauritiana*

- **Familles les mieux représentées**

- ✓ CAESALPINIACEAE avec 9 espèces
- ✓ RUBIACEAE avec 8 espèces
- ✓ POACEAE avec 7 espèces
- ✓ FABACEAE avec 5 espèces
- ✓ MIMOSACEAE avec 5 espèces

Les légumineuses sont les mieux représentées, ces végétaux produisent des gousses et ont la faculté de fixer l'azote atmosphérique.



Carte 2 : Localisation des stations de *Sideroxylon foetidissimum* sur la parcelle AO 413 (ancien cadastre) de Bouillante, espèce protégée par arrêté ministériel en Guadeloupe



La liste complète des espèces végétales recensées sur la parcelle AO 413 et ses abords sont visibles dans le Tableau 1 ci-après.

Tableau 1: Inventaire floristique de la parcelle AO 413 et ses abords (octobre 2018)

Liste floristique Bouillante Plateau Parcelle AO 413 Géothermie Ormat felix.lurel@wanadoo.fr Oct 2018

Espèce	Nom vernaculaire	Famille
<i>Abrus precatorius</i>	Grenn légliz, Grenn réglis	FABACEAE
<i>Abutilon hirtum</i>	Gwo mòv, Mòv savann	MALVACEAE
<i>Acacia retusa</i>	Akasya, Zamourèt	MIMOSACEAE
<i>Acacia tortuosa</i>	Ponpon jòn, Akasya bò lanmè	MIMOSACEAE
<i>Achyranthes aspera pubescens</i>	Ké a rat, Kolan	AMARANTHACEAE
<i>Adiantum latifolium</i>	Foujè	POLYPODIACEAE Adia.
<i>Adiantum villosum</i>	Foujè	POLYPODIACEAE Adia.
<i>Ageratum conyzoides</i>	Pendou, Zèb (a) sosyé	ASTERACEAE
<i>Alocasia sandariana</i>	Kris plant	ARACEAE
<i>Amphilophium paniculatum</i>	Lyann a kanot.	BIGNONIACEAE
<i>Anacardium occidentale</i>	Pòm kajou, Nwa kajou	ANACARDIACEAE
<i>Annona muricata</i>	Kowosol	ANNONACEAE
<i>Annona reticulata</i>	Kachiman	ANNONACEAE
<i>Annona squamosa</i>	Ponm kannèl	ANNONACEAE
<i>Antigonon leptopus</i>	La belle mexicaine, Lyann koray	POLYGONACEAE
<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucaria Sapin	ARAUCARIACEAE
<i>Artocarpus altilis non seminifera</i>	Arbre à pain, Fruit à pain	MORACEAE
<i>Bauhinia multinervia</i>	Ti flanbwayan.	CAESALPINIACEAE
<i>Bidens alba</i>	Zègwiy	ASTERACEAE
<i>Borreria succulenta</i>	Bwa kabrit, Akoma kòtlèt.	BORAGINACEAE
<i>Bouteloua americana</i>	Zèb	POACEAE
<i>Bursera simaruba</i>	Gonmyé, Gonmyé wouj	BURSERACEAE
<i>Byrsonima spicata</i>	Bwa tan, Mowisip	MALPIGHIACEAE
<i>Capparis baducca</i>	Mabouya, Mabouj	CAPPARACEAE
<i>Capparis flexuosa</i>	Mabouj, Bwa mabouj	CAPPARACEAE
<i>Capparis indica</i>	Bwa de mèch, Bwa pyan	CAPPARACEAE
<i>Casearia decandra</i>	Kokora vèt, Bwa jòn	FLACOURTIACEAE
<i>Ceiba pentandra</i>	Fwomajé, Mapou	BOMBACACEAE
<i>Chimaphys cymosa</i>	Résolu, Bwa riyè	RUBIACEAE
<i>Chiococca alba</i>	Ti branda, Jasmen bwa	RUBIACEAE
<i>Chionanthus compacta</i>	Bwadfè blan	OLEACEAE
<i>Chloris inflata</i>	Zèb	POACEAE
<i>Chrysophyllum argenteum</i>	Ti bwé, Ti kwi	SAPOTACEAE
<i>Cissus verticillata</i>	Lyann mòl, Lyann a dlo	VITACEAE
<i>Citharexylum spinosum</i>	Bwa karé, Bwa gitar	VERBENACEAE
<i>Coccoloba swartzii</i>	Bwa wouj, Rézinyé wouj	POLYGONACEAE
<i>Coccoloba venosa</i>	Rézen koud, Rézinyé koud	POLYGONACEAE
<i>Coccothrinax barbadensis</i>	Latanier, Latanyé a balé	ARECACEAE
<i>Colocasia esculenta</i>	Madère, Dachin	ARACEAE
<i>Cordia alliodora</i>	Bwadwòz, Bois de rose	BORAGINACEAE
<i>Cordia collococca</i>	Maho bré, Mapou riyè	BORAGINACEAE
<i>Cordia sulcata</i>	Maho gran fèy, Mapou gran fèy	BORAGINACEAE
<i>Crescentia cujete</i>	Kalbas, Pyé kalbas	BIGNONIACEAE
<i>Cuscuta americana</i>	Vèmisèl dyab San pyé	CONVOLVULACEAE
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Zèb pyé poul	POACEAE
<i>Delonix regia</i>	Flamboyant, Flanbwayan.	CAESALPINIACEAE
<i>Desmanthus virgatus</i>	Akasya savann	MIMOSACEAE
<i>Erithalis fruticosa</i>	Bwa flanbo. Lignum rorum.	RUBIACEAE
<i>Erythroxylum havanense</i>	Vinèt, Bwa mabrè bata	ERYTHROXYLACEAE
<i>Eugenia gregii*</i>	Gwayav bata, Bwa kouròn	MYRTACEAE
<i>Eugenia ligustrina</i>	Mérisyé nwè, Siriz nwè	MYRTACEAE
<i>Gouania lupuloides</i>	Lyann savon	RHAMNACEAE
<i>Guazuma tomentosa</i>	Bwa dòm, Hêtre gris	STERCULIACEAE
<i>Guettarda odorata</i>	Bwa pyan, Bwa kaka	RUBIACEAE
<i>Haematoxylon campechianum</i>	Kanpèch, Campèche	CAESALPINIACEAE
<i>Heteropterys purpurea</i>	Lyann karayib	MALPIGHIACEAE
<i>Hymenaea courbaril</i>	Koubari, Courbaril	CAESALPINIACEAE



Liste floristique Bouillante Plateau Parcelle AO 413 Géothermie Ormat felix.lurel@wanadoo.fr Oct 2018

Espèce	Nom vernaculaire	Famille
<i>Indigofera suffruticosa</i>	Endigo bata	FABACEAE
<i>Indigofera tinctoria</i>	Endigo bata	FABACEAE
<i>Ipomoea tiliacea</i>	Manjé lapen, Patat mawon	CONVOLVULACEAE
<i>Jacquemontia pentantha</i>	Lizwon blé hazyé	CONVOLVULACEAE
<i>Jatropha gossypifolia</i>	Médsinyé wouj	EUPHORBIACEAE
<i>Lantana camara</i>	Sòj, Mil flè	VERBENACEAE
<i>Lasiacis maculata</i>	Ti bambou fin	POACEAE
<i>Leonotis nepetifolia</i>	Gwo ponpon	LAMIACEAE
<i>Leucaena leucocephala</i>	Monval, Zakadi	MIMOSACEAE
<i>Lonchocarpus punctatus</i>	Savonnèt	FABACEAE
<i>Macfadyena unguis-cati</i>	Grif a chat	BIGNONIACEAE
<i>Malpighia emarginata</i>	Cerise antillaise, Siriz	MALPIGHACEAE
<i>Mangifera indica</i>	Mango	ANACARDIACEAE
<i>Manilkara bidentata</i>	Balata	SAPOTACEAE
<i>Manilkara zapota</i>	Sapotiy	SAPOTACEAE
<i>Melicoccus bijugatus</i>	Kénèt	SAPINDACEAE
<i>Merremia aegyptia</i>	Lyann pwèli	CONVOLVULACEAE
<i>Mimosa pudica</i>	Mari hont, Hontèz	MIMOSACEAE
<i>Morinda citrifolia</i>	Noni	RUBIACEAE
<i>Musa x paradisiaca</i>	Bannann, Fig	MUSACEAE
<i>Myrcia citrifolia citrifolia</i>	Mérizyé, Bwa ti fèy	MYRTACEAE
<i>Ocimum basilicum</i>	Basilic	LAMIACEAE
<i>Oeceoclades maculata</i>	Orchidée terrestre	ORCHIDACEAE
<i>Olyra latifolia</i>	Ti bambou	POACEAE
<i>Paspalum vaginatum</i>	Zèb	POACEAE
<i>Passiflora suberosa</i>	Pòm lyann hazyé	PASSIFLORACEAE
<i>Petiveria alliacea</i>	Danday, Douvan nèg	PHYTOLACCACEAE
<i>Petrea kohautiana*</i>	Lyann rid wylèt	VERBENACEAE
<i>Phytolacca rivinoides?</i>	Zépina Kayèn	PHYTOLACCACEAE
<i>Picramnia pentandra</i>	Bwa moudong	SIMAROUBACEAE
<i>Pimenta racemosa</i>	Bwadend	MYRTACEAE
<i>Piscidia carthagenensis</i>	Annivraj, Bwa annivran	FABACEAE
<i>Pisonia aculeata</i>	Krok chyen, Mapou blan	NYCTAGINACEAE
<i>Pisonia fragrans</i>	Mapou, Mapou blan	NYCTAGINACEAE
<i>Psychotria microdon</i>	Kafé bata mawon	RUBIACEAE
<i>Randia aculeata</i>	Ti koko	RUBIACEAE
<i>Rauvolfia viridis</i>	Ti bwa lèt	APOCYNACEAE
<i>Rhoeo spathacea</i>	Gwo kiraj	COMMELINACEAE
<i>Ricinus communis</i>	Karapat, Ricin	EUPHORBIACEAE
<i>Rivina humilis</i>	Zèb blan	PHYTOLACCACEAE
<i>Sansevieria hyacinthoides</i>	Lang a chat, Sandragon sèmityé	DRACAENACEAE
<i>Senna alata</i>	Datyé	CAESALPINIACEAE
<i>Senna atomaria</i>	Soumaké, Kanéfis	CAESALPINIACEAE
<i>Senna obtusifolia</i>	Zépyant	CAESALPINIACEAE
<i>Senna occidentalis</i>	Zépyant	CAESALPINIACEAE
<i>Sida acuta</i>	Balé onzè	MALVACEAE
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	Akoma fran	SAPOTACEAE
<i>Solanum racemosum igneum</i>	Pikannyé mal	SOLANACEAE
<i>Solanum torvum torvum</i>	Bélanjè bata	SOLANACEAE
<i>Spondias cytherea</i>	Prin sitè, Pomme Cythère	ANACARDIACEAE
<i>Tabebuia heterophylla</i>	Pwayé, Poirie	BIGNONIACEAE
<i>Tabernaemontana citrifolia</i>	Bwa lèt	APOCYNACEAE
<i>Tamarindus indica</i>	Tamaren ti fèy	CAESALPINIACEAE
<i>Tillandsia utriculata</i>	Zannanna bwa, Ananas sauvage	BROMELIACEAE
<i>Tragia volubilis</i>	Zouti	EUPHORBIACEAE
<i>Trema micrantha</i>	Bwa d'om	ULMACEAE
<i>Trichostigma octandrum</i>	Mirèt, Lyann a barik	PHYTOLACCACEAE
<i>Urena lobata</i>	Gran kouzen	MALVACEAE
<i>Urena sinuata</i>	Ti kouzen	MALVACEAE
<i>Vangueria madagascariensis</i>	Tamarin des Indes	RUBIACEAE
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Vétiver	POACEAE
<i>Wedelia trilobata</i>	Pât a kanna	ASTERACEAE
<i>Zanthoxylum monophyllum</i>	Lépiné jòn	RUTACEAE
<i>Ziziphus mauritiana</i>	Sirèt, Jijib	RHAMNACEAE



2.4 Enjeux patrimoniaux de la flore

- **Sensibilité botanique** : Présence d'espèce végétale protégée
- **Enjeu écologique faible à fort sur la parcelle AO 413 de Bouillante avec sa proche périphérie.**

Les enjeux peuvent être définis par type d'habitat de la manière suivante :

- ✓ Habitat 1 : **Sensibilité nulle à faible**
- ✓ Habitat 2 : **Sensibilité moyenne**
- ✓ Habitat 3 : **Sensibilité forte**



3 VOLET FAUNE

3.1 Critères d'évaluation

Un certain nombre d'outils réglementaires ou scientifiques permet de hiérarchiser l'intérêt patrimonial des milieux et des espèces observés sur un secteur donné. Il devient alors possible, en utilisant des critères exclusivement biologiques, d'évaluer l'enjeu de conservation des espèces et des habitats, à une échelle donnée. Les critères pris en compte dans cette étude sont les suivants :

- **Le statut biologique (SB) = statut de reproduction (SR).**

Il concerne principalement l'avifaune. Les statuts de reproduction sont précisés par espèce.

Légende : S : Sédentaire (présence annuelle de l'espèce)

N : Nicheur

NS : Sédentaire nicheur dans la zone

M : Migrateur

MS : Migrateur nicheur

MH : Migrateur hivernant

- **Protection dans le département de la Guadeloupe (SP).**

Sont utilisés les différents arrêtés ministériels fixant par taxon les listes des espèces protégées sur l'ensemble de la Guadeloupe. Les espèces protégées seront désignées « **P** », les autres « **NP** ». Pour l'ensemble des taxons, les listes des espèces protégées sont en révisions et une liste d'insectes est en cours de validation par le CSRPN de Guadeloupe.

- **L'Indice de Répartition Géographique (IRG) ou l'endémisme (EN)**

Il permet de mieux situer la répartition et l'endémisme d'une espèce dans le contexte local à international. Les indices 1 à 6 permettent d'évaluer la répartition des espèces.

Légende :

1 = Guadeloupe

2 = Guadeloupe et quelques îles

3 = Petites Antilles

4 = Caraïbes (Grandes et Petites Antilles)

5 = Continent Américain

6 = Cosmopolite

I = Introduit

- **Statut UICN/Liste et livres rouges**

La liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), constitue l'inventaire mondial le plus complet de l'état de conservation global des espèces végétales et animales.

Pour chaque espèce évaluée, une estimation du danger d'extinction qui la menace est formulée par des groupes d'experts, basée sur des critères bien définis, comme la taille de la population, la disparition de son habitat naturel et le nombre d'individus qui ont atteint la maturité.

La classification dans les catégories d'espèces menacées d'extinction s'effectue par le biais d'une série de cinq critères quantitatifs, basés sur des facteurs biologiques associés au risque



d'extinction, à savoir : taux de déclin, population totale, zone d'occurrence et d'occupation, degré de peuplement, et fragmentation de la répartition.

Afin de rendre l'information finale obtenue la plus intelligible possible, une catégorie de risque d'extinction est alors attribuée à l'espèce.

Légende :

CR : En danger critique
EN : En danger
VU : Vulnérable
NT : Quasi menacée

LC : Préoccupation mineure

Le statut IUCN international sera utilisé pour les mammifères et les reptiles.

L'utilisation des critères IUCN appliqué à un niveau régional a permis de produire Le livre rouge des plantes menacées aux Antilles françaises (Bernard et al, 2014) ainsi que dans la Liste rouge des espèces menacées de France (IUCN, 2012), les oiseaux de Guadeloupe. Il n'y a pas eu encore de travaux sur les insectes de Guadeloupe, mais des propositions sur les odonates (libellules) sont en cours.

- **Abondance : Légende et précision sur la terminologie employée**

Un travail pluriannuel d'inventaire est réalisé depuis de nombreuses années par les membres de l'association Amazona qui édite régulièrement un document de synthèse et précise entre-autre les statuts d'abondance de chacune des espèces répertoriées ajustés grâce aux nombreuses investigations effectuées par notre bureau d'étude BIOS.

Légende :

Et. : Éteint

Disp. : Disparu

A : Accidentel - moins de 5 données à ce jour pour les espèces eurasiatiques

O : Occasionnel - moins de 5 données à ce jour pour les espèces américaines

R : Rare - moins de 3 données par an pas forcément vu tous les ans

PC : Peu Commun - 3 à 15 données par an vu au moins 3 années sur 4

C : Commun - 16 à 100 données vu tous les ans

TC : Très Commun - plus de 100 données vu tous les ans

- **Espèces d'intérêt patrimonial et enjeu local de conservation**

L'intérêt patrimonial est avant tout une définition partagée par tous mais subjective. Elle peut s'exprimer comme « la perception que l'on a de l'espèce, et l'intérêt qu'elle constitue à nos yeux » (intérêt scientifique, historique, culturel, etc.).

Il y a ainsi autant de critères d'évaluation qu'il y a d'évaluateurs. C'est un concept que l'on définit indépendamment de l'échelle de réflexion sur la base de critères scientifiques mais aussi parfois partiellement scientifiques tels que les statuts réglementaires.

Parmi ces critères, citons :



- ✓ Le statut réglementaire ;
- ✓ La rareté numérique, rareté géographique (endémisme), originalité phylogénétique, importance écologique (espèce clefs, spécialisée, ubiquiste, etc.) ;
- ✓ Le statut biologique (migrateur, nicheur, espèce invasive) ;
- ✓ La vulnérabilité biologique (dynamique de la population) ;
- ✓ La vulnérabilité écologique ;
- ✓ Le statut sur les listes rouges IUCN ;
- ✓ Les dires d'experts.

L'intérêt patrimonial est une notion floue tant par sa définition que dans ses limites. Au sein de cette même notion, on rencontre des espèces dont l'enjeu de conservation est différent. La différence qui existe entre l'enjeu de conservation d'une espèce et sa protection par exemple, ou encore l'absence de listes rouges adaptées, sont autant d'exemples de la difficulté à laquelle est confronté l'expert lorsqu'il doit hiérarchiser les enjeux. De fait, la méthode de hiérarchisation présentée dans cette étude se base sur une notion moins floue, sans doute plus objective, que celle relative à l'intérêt patrimonial : **l'enjeu local de conservation**.

- **Évaluation de l'enjeu local de conservation (ELC)**

L'enjeu local de conservation (ELC) est la responsabilité assumée localement pour la conservation d'une espèce ou d'un habitat par rapport à une échelle biogéographique cohérente. Cette échelle est relativement réduite aux Antilles où l'on doit tenir compte d'espaces vitaux restreints et des variabilités géomorphologiques et bioclimatiques importantes (cas de la Basse-Terre et de la Grande-Terre) associés à un fort endémisme de la faune et de la flore, ainsi que des pressions anthropiques. Aussi l'enjeu local de conservation sera appliqué non seulement à la Guadeloupe, mais aussi à l'échelle du secteur biogéographique étudié selon la définition de Blondel (1995) : « ensemble des habitats situés sur un territoire caractérisé par les mêmes constantes géomorphologiques et bioclimatiques » pour éviter l'érosion de la biodiversité qui conduit généralement à la disparition des espèces.

Cet enjeu local de conservation sera défini uniquement sur la base de critères scientifiques tels que :

- ✓ Les paramètres d'aire de répartition, d'affinité de la répartition, et de distribution
- ✓ La vulnérabilité biologique
- ✓ Le statut biologique
- ✓ Les menaces

Cinq classes d'enjeu local de conservation peuvent ainsi être définies de façon usuelle, plus une sixième exceptionnelle :

Très fort	Fort	Modéré	Faible	Très faible	Nul*
------------------	-------------	---------------	---------------	--------------------	------

*La classe « enjeu local de conservation nul » ne peut en effet être utilisée que de façon exceptionnelle pour des espèces exogènes plantées ou échappées dont la conservation n'est aucunement justifiée.

Ainsi, les espèces seront présentées en fonction de leur enjeu de conservation local, dont les principaux éléments d'évaluation seront rappelés dans les monographies. De fait, il est évident que cette analyse conduira à mettre en évidence des espèces qui ne sont pas protégées par la loi. À noter que l'enjeu local de conservation d'une espèce ne doit pas être



confondu avec la sensibilité de cette espèce au regard de l'aménagement prévu. Ainsi, une espèce à très fort enjeu local de conservation peut ne présenter qu'une faible sensibilité au regard du projet d'aménagement.

N.B. : Sont également intégrées à la présente étude, les **espèces fortement potentielles** sur la zone d'étude. La forte potentialité de présence d'une espèce est principalement justifiée par :

- ✓ La présence de l'habitat d'espèce
- ✓ L'observation de l'espèce à proximité de la zone d'étude (petite zone géographique)
- ✓ La zone d'étude figure au sein ou en limite de l'aire de répartition de l'espèce
- ✓ Les données bibliographiques récentes mentionnant l'espèce localement

Une fois ces critères remplis, la potentialité de présence de l'espèce peut être confortée ou non par la période de prospection et la pression de prospection effectuée. L'évaluation de l'impact intégrera ces espèces, bien qu'elles n'aient pas été observées sur la zone d'étude.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Les habitats

Le terrain concerné est en grande partie boisé et fait partie d'un massif assez vaste qui surplombe Bouillante. Il est limité au nord par une ravine, La Ravine blanche, qui constitue un bioclimat intéressant. Le boisement est dégradé notamment en sous-bois en raison de nombreuses coupes (charbon de bois, gaulette, etc.) qui simplifient la structure forestière. Toutefois, en terme d'enjeux local de conservation, il doit être considéré comme **fort**. Juxtant la zone d'emprise constituée d'une friche, une ancienne maison et des parcs à cochons sont présents et à la limite du terrain des maisons ainsi que sur la parcelle AO412, des installations similaires à celles prévues dans le projet.

La cartographie des habitats est visible ci-dessus (Cf. Carte 3).

3.2.2 La faune

Les prospections ont eu lieu sur l'ensemble du site. La zone étant trop petite pour effectuer des points d'écoute, des relevés présence - absence ont été effectués et attribués aux habitats.

- **Prospections**

Des observations visuelles et auditives ont été effectuées lors des prospections sur la zone d'étude. Les données sont alors relevées et associées à des points GPS. Le matériel optique employé se compose de jumelles Leica 10x50. Pour les chiroptères, un détecteur ultra-son, D240X associé à un enregistreur a été employé.

Tableau 2: Calendrier des prospections

Dates des prospections	Type de prospection (nature)
20-septembre	Avifaune/reptiles
03-octobre	Avifaune/Reptiles/Chirodermes
09-octobre	Chirodermes/Avifaune



3.3 Résultats

Les relevés permettent d'établir une liste non exhaustive de :

- ✓ 1 amphibien
- ✓ 4 reptiles
- ✓ 25 espèces d'oiseaux
- ✓ 6 chiroptères
- ✓ 3 mammifères terrestres

La liste n'est pas exhaustive, toutefois la richesse aviaire est relativement élevée. Par comparaison, l'étude de la parcelle AO 196 faisait état de 15 espèces d'oiseaux, bien qu'en marge du même massif boisé. Une étude précédente, datée de 2005 sur des terrains situés au Nord de la commune faisait état de 31 espèces.

L'enjeu patrimonial est important en raison de la présence de faunes endémiques ou subendémiques.

3.3.1 Liste des espèces et répartition selon les habitats

Tableau 3: Liste des espèces contactées sur le site

Classe	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire
Oiseaux	Ardéidés	<i>Butorides virescens</i>	Héron vert
	Falconidés	<i>Falco sparverius</i>	Crécerelle d'Amérique
	Colombidés	<i>Columbina passerina</i>	Colombe à queue noire
		<i>Zenaida aurita</i>	Tourterelle à queue carré
		<i>Geotrygon montana</i>	Colombe rouviolette
		<i>Geotrygon mystacea</i>	Colombe à croissants
		<i>Streptopelia decaocto</i>	Tourterelle turque
	Trochilidés	<i>Orthorhyncus cristatus</i>	Colibri huppé
	Picidés	<i>Melanerpes herminieri</i>	Pic de la Guadeloupe
	Cuculidés	<i>Coccyzus minor</i>	Coulicou manioc
	Turdidés	<i>Turdus lherminieri</i>	Grive à pieds jaunes
	Mimidés	<i>Margarops fuscatus</i>	Moqueur corossol
		<i>Alenia fusca</i>	Moqueur grivotte
		<i>Cinlocerthia ruficauda</i>	Trembleur brun
	Tyrannidés	<i>Elaenia martinica</i>	Elénie siffleuse
		<i>Tyrannus dominicensis</i>	Tyran gris
		<i>Contopus latirostris</i>	Moucherolle gobemouche
	Viréonidés	<i>Vireo altiloquus</i>	Viréo à moustaches
	Parulidés	<i>Setophaga plumbea</i>	Paruline caféïette
		<i>Setophaga petechia</i>	Paruline jaune
Thraupidés	<i>Loxigilla noctis</i>	Sporophile rouge-gorge	
	<i>Coereba flaveola</i>	Sucrier à ventre jaune	
	<i>Tiaris bicolor</i>	Sporophile cici	
	<i>Saltator albicollis</i>	Saltator gros bec	



Classe	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire
	Ictéridés	<i>Quiscalus lugubris</i>	Quiscale merle
Amphibiens	Eleutherodactylidés	<i>Eleutherodactylus johnstonei</i>	Hylode de Johnstone
Reptiles	Dactyloïdés	<i>Anolis marmoratus</i>	Anolis de la Guadeloupe
	Sphaerodactylidés	<i>Sphaerodactylus fantasticus</i>	Sphérodactyle bizarre
	Gekkonidés	<i>Hemidactylus mabouia</i>	Hémidactyle mabouia
	Gymnophthalmidés	<i>Gymnophthalmus underwoodi</i>	Gymnophthalme d'Underwood
Mammifère	Molossidés	<i>Molossus molossus</i>	Molosse commun
		<i>Tadarida brasiliensis</i>	Tadaride du Brésil
	Phyllostomidés	<i>Artibeus jamaicensis</i>	Fer de lance commun
		<i>Brachyphylla cavernarum</i>	Brachyphyllé des Antilles
	Mormoopidés	<i>Pteronotus davyi</i>	Ptéronote de Davy
	Vespertilionidés	<i>Myotis dominicensis</i>	Murin de la Dominique
	Herpestidés	<i>Urva auropunctata</i>	Petite mangouste indienne
	Muridés	<i>Rattus rattus</i>	Rat noir
		<i>Mus musculus</i>	Souris grise

Tableau 4: Répartition des espèces selon les habitats.

Nom vernaculaire	Boisement	Friche	Habitations
Héron vert	1		
Crécerelle d'Amérique	1	1	1
Colombe à queue noire	1	1	1
Tourterelle à queue carré	1	1	1
Colombe rouviolette	1		
Colombe à croissants	1		
Tourterelle turque		1	1
Colibri huppé	1	1	1
Pic de la Guadeloupe	1		
Coulicou manioc	1	1	
Grive à pieds jaunes	1		
Moqueur corossol	1		
Moqueur grivotte	1		
Trembleur brun	1		
Elénie siffleuse	1	1	1
Tyran gris	1	1	1
Moucherolle gobemouche	1		
Viréo à moustaches	1		1
Paruline caféïette	1		
Paruline jaune	1	1	1
Sporophile rouge-gorge	1	1	1
Sucrier à ventre jaune	1	1	1

Nom vernaculaire	Boisement	Friche	Habitations
Sporophile ceci	1	1	1
Saltator gros bec	1		1
Quiscale merle		1	1
Hylode de Johnstone	1	1	1
Anolis de la Guadeloupe	1	1	1
Sphérodactyle bizarre	1		
Hémidactyle mabouia	1	1	1
Gymnophthalme d'Underwood		1	1
Molosse commun	1	1	1
Tadaride du Brésil	1	1	1
Fer de lance commun	1	1	1
Brachyphylle des Antilles	1	1	1
Ptéronote de Davy	1	1	1
Murin de la Dominique	1		
Petite mangouste indienne		1	1
Rat noir	1	1	1
Souris grise	1	1	1
Richesse spécifique	33	24	25

Légende : En rouge les espèces probablement présentes mais non détectées pendant les inventaires.

La biodiversité la plus importante se trouve dans le boisement qui accueille, notamment pour la nidification des oiseaux, l'ensemble des espèces, de surcroît la faune patrimoniale.

3.3.2 Enjeux patrimoniaux de la faune

En prenant en compte différents critères patrimoniaux, il a été possible de déterminer l'enjeu local de conservation (ELC) pour les espèces répertoriées. Ces enjeux sont analysés à l'échelle de la Guadeloupe, mais aussi du secteur biogéographique, « territoire caractérisé par les mêmes constantes géomorphologiques et bioclimatiques »-définis par Blondel (1995). La présence d'un massif forestier conséquent et continu, bien que dégradé, est favorable à la présence d'espèces forestières dont certaines patrimoniales.

Tableau 5: Statuts biologiques et patrimoniaux des différentes espèces des sites

Nom vernaculaire	SR	SP	LR	IRG	ELC
Pic de la Guadeloupe	N	P	NT	1	Fort
Moucherolle gobemouche	N	P	NT	2	Fort
Murin de la Dominique	N	P	VU	2	Fort
Crécerelle d'Amérique	N	P		5	Modéré
Colombe rouviolette	N	NP		5	Modéré
Colombe à croissants	N	NP		4	Modéré
Grive à pieds jaunes	N	NP	VU	2	Modéré
Trembleur brun	N	P		2	Modéré
Paruline caféïette	N	P		2	Modéré



Nom vernaculaire	SR	SP	LR	IRG	ELC
Sphérodactyle bizarre	N	P		2	Modéré
Héron vert	N	P		5	Faible
Colombe à queue noire	N	NP		5	Faible
Tourterelle à queue carré	N	NP		5	Faible
Coulicou manioc	N	P		5	Faible
Moqueur corossol	N	NP		4	Faible
Moqueur grivotte	N	NP		3	Faible
Viréo à moustaches	N	P		5	Faible
Paruline jaune	N	P		5	Faible
Saltator gros bec	N	P		2	Faible
Quiscale merle	N	P		5	Faible
Anolis de la Guadeloupe	N	P		1	Faible
Tadaride du Brésil	N	P		5	Faible
Fer de lance commun	N	P		5	Faible
Brachyphylle des Antilles	N	P		4	Faible
Ptéronote de Davy	N	P		5	Faible
Colibri huppé	N	P		3	Très faible
Elénie siffleuse	N	P		3+	Très faible
Tyran gris	N	P		5	Très faible
Sporophile rouge-gorge	N	P		3	Très faible
Sucrier à ventre jaune	N	P		5	Très faible
Sporophile cici	N	P		5	Très faible
Molosse commun	N	P		5	Très faible
Tourterelle turque	N	NP		I	Nul
Hylode de Johnstone	N	P		I	Nul
Hémidactyle mabouia	N	NP		I	Nul
Gymnophthalme d'Underwood	N	NP		I	Nul
Petite mangouste indienne	N	NP		I	Nul
Rat noir	N	NP		I	Nul
Souris grise	N	NP		I	Nul

Légende : Statut de reproduction (3.1): E= Erratique ; MH= Migrateur hivernant ; N=Nicheur ; S=Sédentaire. Statut de protection : NP = Non Protégé ; P= Protégé ; IRG= Indice de Répartition Géographique (3.1)). Statut IUCN (3.1) : NT= Quasi-menacé ; VU= Vulnérable. ELC = Enjeu local de conservation.

On recense donc plusieurs espèces protégées : 17 oiseaux, 6 chiroptères, 2 reptiles et 1 amphibien.



Trois espèces à enjeux forts sont à considérer :

- **Le Pic de la Guadeloupe** (*Melanerpes herminieri*). Il s'agit d'une espèce endémique de la Guadeloupe, plus particulièrement de Basse-Terre et de Grande-Terre. Il est inféodé aux massifs forestiers et aux boisements conséquents et sensibles à la fragmentation des milieux. Il est présent dans le massif forestier de Bouillante, notamment dans la partie boisée du site.
- **Le Moucherolle gobemouche** (*Contopus latirostris*) est un petit tyrannidé forestier endémique de la Guadeloupe et de la Dominique. Il est très sensible à la fragmentation et à la dégradation des boisements (disparition des arbres de hauts jets.)
- **Le Murin de la Dominique** (*Myotis dominicensis*) est une petite chauve-souris insectivore et forestière. D'après Barataud (Barataud *et al*, 2014) elle trouverait son optimum écologique dans les boisements de la côte-sous-le-vent.

Parmi les espèces à enjeux modérés (Tableau 5), quelques espèces subendémiques forestières sont à citer : la Grive à pieds jaunes, le Trembleur brun, la Paruline caféïette et un petit reptile, le Sphérodactyle bizarre. Pour ce dernier, il s'agit de la sous espèce *S.f.fantasticus*, réparti sur la côte Caraïbe. Sur le site, elle est plutôt abondante, mais l'espèce est sensible au déboisement et à la qualité de la litière. Pour l'ensemble de ces espèces, les boisements ainsi que la Ravine blanche sont importants.

La maison abandonnée sert de gîte à quelques Molosse commun. Il faudra en tenir compte en cas de destruction.



4 IMPACTS PRESENTIS DU PROJET

Généralement, les impacts pressentis du projet sur la flore et la faune terrestre sont évalués pour les habitats et les espèces à enjeu local de conservation fort ou modérés, dont la présence est avérée ou fortement potentielle.

Les impacts sont :

- **Liés à l'élément biologique** : état de conservation, dynamique et tendance évolutives, vulnérabilité biologique, diversité génétique, fonctionnalité écologique, etc.
- **Liés au projet** :
 - ✓ Nature d'impact : destruction, dérangement, dégradation...
 - ✓ Type d'impact : direct / indirect
 - ✓ Durée d'impact : permanente / temporaire
 - ✓ Portée d'impact : locale, régionale, nationale

4.1 Le projet

Nous avons peu d'éléments sur le projet, si ce n'est qu'il devrait être similaire au site de la parcelle voisine : des puits de forages qui recueillent la vapeur et l'envoient à l'usine située dans la vallée par le biais d'un « gazoduc » qui rejoint celui déjà en place. L'emplacement réservé, situé au Sud de la parcelle, est normalement déjà défriché mais nous n'avons pas d'élément cartographique précis sur les limites des installations.

Le projet entrainera une artificialisation du terrain. Des impacts cumulés sont à prévoir avec les forages existants qui jouxtent l'aire d'étude et les futurs puits de la parcelle AO196 qui concernent le même massif forestier. L'ensemble de ces installations contribue au morcellement et à l'érosion de la biodiversité de cette forêt.

4.2 Types d'impact

Les impacts environnementaux sont les conséquences de la mise en œuvre du projet sur l'environnement naturel. Ils peuvent être temporaires, par exemple uniquement ressentis pendant la période de chantier, ou permanents s'il n'y a pas de retour à la situation originelle dans de brefs délais. Ils peuvent aussi être directs s'ils affectent immédiatement les biomes et les biotopes du site et indirects si les effets ne sont pas immédiats, ou entraînent des changements dans les populations fauniques et les équilibres écologiques de l'aire biogéographique concernée ou d'une partie.

En l'absence d'éléments détaillés concernant le projet, nous considérerons des impacts pressentis :

- **Défrichements.** Il y aura disparition des habitats boisés et arbustifs et destruction d'espèces protégées.
- **Terrassements.** Excavations et nivelages impacteront les sols et la végétation basse. Il y aura disparition de la faune associée.
- **Travaux.** Ils peuvent entrainer des perturbations sonores ou polluantes pour les habitats et la faune des secteurs adjacents.
- **Forages.** Ils peuvent avoir les mêmes effets que les travaux avec peut-être en plus des risques de pollutions atmosphériques et lumineuses.

Les impacts pourront évoluer ou être amoindris selon les mesures d'évitement, de réduction et de compensation prises en compte. Les effets de ces mesures ou du projet pourront être



considérés comme négatifs, si la qualité environnementale est considérée comme en-deçà de la situation originelle, ou positifs s'il y a une amélioration de l'état écologique des sites.

4.3 Impacts cumulés

Les actuels puits de forage, ceux prévus sur la parcelle AO 196 et ceux de la parcelle AO 413, se situent en marge du même massif forestier. Les impacts cumulés peuvent avoir trait aux défrichements en réduisant les territoires des espèces patrimoniales et en artificialisant ce secteur.

Cf. Mesures C1, C2 et C4 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).

4.4 Évaluation des impacts

Ils peuvent différer selon les groupes faunistiques et les habitats, mais ils pourront être forts sur le boisement et les biocénoses associées s'il est prévu de défricher cet habitat. La pollution aérienne sera aussi à considérer. Les excavations, le terrassement et le nivellement pourront être préjudiciables pour la faune peu mobile.

4.5 Impacts sur la flore terrestre

4.5.1 En phase de forage

Lors de la phase de forage, la plateforme sera entretenue de façon à ce qu'aucune végétation ne s'y développe.

En cas de dégagement gazeux, parmi les gaz incondensables pouvant potentiellement être émis, l'hydrogène sulfuré est le seul susceptible d'avoir un impact notable sur la flore. Il provoque des nécroses foliaires et le jaunissement des feuilles, même à concentration faible. Le site de projet sera sensible à cet impact du fait de la proximité du massif forestier.

Cf. Mesures R5, C5, C6 et C7 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).

4.5.2 En phase d'installation et de démantèlement du site de forage

- **Phase d'installation**

En phase d'installation, si le projet devait être implanté sur les zones végétalisées, cette étape entrainera surtout la destruction de l'habitat sur l'emprise de la future plateforme.

La taille de la plateforme n'étant pas connue, cet impact n'est pas quantifiable.

Cf. Mesures E1, R1, R2, R5, C1, C2, C4 et C6 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).

- **Démantèlement**

Tant que le site n'aura pas été officiellement abandonné, la surface correspondant à la plateforme sera désherbée régulièrement. La flore ne pourra pas recoloniser cet espace sur cette période de temps. Si le site devait être abandonné, une plus petite surface, celle entourant la tête du puits, serait alors maintenue à nu.

Cf. Mesures C1, C4 et C6 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).



4.6 Impacts sur la faune

4.6.1 En phase de forage

La phase de forage générera des impacts directs temporaires (le temps de la durée des forages) dus à l'utilisation des engins de forage. Ainsi, la phase de forage est susceptible de générer en l'absence de mesures :

- ✓ Des vibrations (non quantifiées)
- ✓ Du bruit (environ 80 dBA en limite de plateforme)
- ✓ Une modification possible de la qualité de l'air avec le dégagement de gaz tels que H₂S (non quantifiée)
- ✓ Une pollution lumineuse nocturne à partir du site de projet
- ✓ Des déchets, pouvant attirer une faune dite nuisible
- ✓ Une contamination potentielle des eaux de surface entraînant une mortalité potentielle de la faune et de la flore
- ✓ Une intoxication potentielle de la faune qui pourrait accéder au bassin de rétention des eaux de forages (fluide géothermale et boues de forage) ou se nourrir de la végétation en contact avec le bassin

D'une manière générale, les vibrations et l'augmentation des bruits et de l'activité sur le site lors de la phase d'exploitation entraîneront une fuite de la faune vers un habitat moins perturbé. La faune sauvage devrait éviter les alentours du site de projet. Le site présente un espace naturel voisin dans lequel la faune trouvera refuge.

Cf. Mesures R4, C5 et C7 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).

L'émission de gaz tels que H₂S pourrait, suivant l'atteinte de seuil, être toxique pour la faune qui serait restée aux alentours du site : danger immédiat pour la vie et la santé (IDLH) : 100 ppm, concentration mortelle pour 50% de la population (LD50) : 800 ppm. Aucun inventaire précis de la faune autour du site de projet n'a été réalisé. Les seuils de toxicités d'H₂S pour la faune de la région ne sont pas étudiés.

Le fonctionnement des installations de nuit entrainera une augmentation de la pollution lumineuse nocturne. Un afflux notable d'insectes attirés par la lumière du chantier est à attendre, assortie d'une augmentation locale des prédateurs de ces insectes. La concentration des individus attirés par le site entrainera une modification des habitudes de la faune concernée (entomofaune, prédateurs tels que chauve-souris, etc.) et potentiellement une mortalité plus importante de l'entomofaune.

Cf. Mesure R3 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).

Toutefois, le projet entrainera une augmentation relativement faible de la mortalité de la faune (insectes et leurs prédateurs notamment) sauf accident ponctuel (dégagement gazeux accidentel, chute de matériel, collision avec un engin de chantier...).

Compte-tenu de la durée relativement courte de cette phase (6 semaines environ), et du fait que les déchets biologiques (alimentaires, WC) seront gérés de façon respectueuse des normes en vigueur, il ne devrait pas y avoir de développement d'espèces dites « nuisibles » dû au projet.



4.6.2 En phase d'installation et de démantèlement du site de forage

- **Phase d'installation**

La phase d'installation de la plateforme comme la phase de démantèlement des installations, générera du bruit et des vibrations liés surtout à :

- ✓ La circulation des camions charriant le matériel et les déchets
- ✓ L'usage d'engins de chantier qui remanieront les couches supérieures du sol

Ceci aura pour effet d'altérer la qualité de l'habitat de la faune sauvage alentour. Lors du démantèlement de ces structures et installations, le bruit généré par les engins de chantier aura un impact sur la faune vivant dans le massif forestier, notamment en période de nidification.

La plupart de la faune présente sur le site fuira au début des travaux. Les impacts peuvent différer selon les groupes faunistiques et les habitats, mais ils pourront être forts sur le boisement et les biocénoses associées s'il est prévu de défricher cet habitat. La pollution aérienne sera aussi à considérer. Les excavations, le terrassement et le nivellement pourront être préjudiciables pour la faune peu mobile.

Cf. Mesures E1, R1, R2, R4, C1 et C4 (Partie 5- Mesures Evitement, Réduction, Compensation).
--

- **Démantèlement**

Après le démantèlement, les surfaces défrichées initialement resteront défrichées le temps de statuer sur l'éventuelle transformation des forages d'exploration en forage d'exploitation. Durant cette période, la faune sauvage alentour ne sera plus perturbée par le projet et pourra recoloniser les zones autour du site de projet. Les sites de plateforme en eux-mêmes resteront défrichés et la faune sauvage originelle ne pourra pas reconquérir ce milieu.



5 MESURES EVITEMENT, REDUCTION, COMPENSATION

La loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, portée par le ministère, inscrit des principes forts dans le code de l'environnement et vient enrichir la séquence éviter, réduire et compenser, notamment par les points suivants :

- ✓ L'objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire de gain, et l'obligation de respecter la séquence éviter, réduire et compenser (ERC) pour tout projet impactant la biodiversité et les services qu'elle fournit est maintenant inscrit dans la loi.
- ✓ Si la séquence éviter, réduire et compenser n'est pas appliquée de manière satisfaisante, le projet ne pourra pas être autorisé en l'état.

La nature des compensations reste précisée par le maître d'ouvrage dans l'étude d'impact et ce dernier reste l'unique responsable de l'efficacité de la compensation.

L'article 69 concrétise le suivi des mesures compensatoires par la création d'un outil informatique de géolocalisation des mesures compensatoires. Ce dernier permettra un meilleur suivi des engagements des maîtres d'ouvrages et d'éviter notamment que des sites dédiés à des mesures compensatoires ne soient utilisés dans le cadre d'autres projets d'aménagement. L'autorité administrative pourra demander au maître d'ouvrage des garanties financières pour assurer la réalisation des obligations de compensation écologique. L'agence française de la biodiversité assurera notamment le suivi des mesures de compensation des atteintes à la biodiversité.

L'article 72, quant à lui, offre la possibilité sous forme de contrat nommé « obligations réelles environnementales » entre une collectivité publique, un établissement public ou une personne morale de droit privé agissant pour la protection de l'environnement et un propriétaire de pérenniser dans le temps et au fil des différents propriétaires, « des obligations qui ont pour finalité le maintien, la conservation, la gestion ou la restauration d'éléments de la biodiversité ou de fonctions écologiques dans un espace naturel, agricole ou forestier. »

Les mesures de la séquence ERC présentées dans les chapitres suivants sont celles qui ont été approuvées par le porteur de projet et le maître d'ouvrage.

• **Enjeux**

Les enjeux seront de **maintenir le plus possible une cohérence forestière favorable aux espèces patrimoniales et de suppléer à la dégradation du sous-bois**. Il serait intéressant de réfléchir à l'échelle de l'ensemble des terrains de la société ORMAT, dont une partie est boisée. Quelques actions peuvent être d'ores et déjà identifiées :

- ✓ **Lutte contre le prélèvement**
- ✓ **Lutte contre les espèces invasives**

5.1 **Mesures d'évitement**

Les lignes directrices sur la séquence ERC définissent la mesure d'évitement comme étant : « une mesure qui modifie un projet ou une action d'un document de planification afin de supprimer un impact négatif identifié que ce projet ou cette action engendrerait ».

E1 : Eviter le défrichement de la partie boisée

Habitat patrimonial de la parcelle, il sera préférable d'éviter tout déboisement. Si toutefois des déboisements sont prévus, le porteur de projet devra consulter un expert flore lors du choix des zones pouvant être déboisées.



5.2 Mesures de réduction

Les lignes directrices sur la séquence ERC définissent la mesure de réduction comme étant : « une mesure définie après l'évitement et visant à réduire les impacts négatifs permanents ou temporaires d'un projet sur l'environnement, en phase chantier ou en phase exploitation ».

R1 : Travaux hors période de reproduction de la faune pour le défrichage et le décapage

Sur le site, pour éviter au maximum le dérangement et la destruction d'espèces protégées, les actions de défrichage, de terrassement et de décapage s'effectueront pendant les mois où il y a une moindre activité reproductrice : d'août à février pour la plupart des espèces animales.

R2 : Défrichage progressif

Pour atténuer l'impact du défrichage et permettre une migration des espèces peu mobiles, le défrichage sera manuel et progressif pour créer des conditions bioclimatiques petit à petit défavorables. Les grands arbres seront d'abord abattus, puis 15 jours après les arbustes et les fourrés.

R3 : Éviter la pollution lumineuse (trame noire)

L'éclairage des puits de forage situés près de la parcelle AO413 est surabondant notamment sur le côté rue. Un éclairage continu est à proscrire.

Certains oiseaux et chiroptères sont attirés par les sources lumineuses, spécialement en condition de faible visibilité ou la nuit, ce qui est à l'origine de collisions multiples. Le Tyran gris (*Tyrannus dominicensis*) par exemple est un oiseau qui chasse les insectes attirés par les sources lumineuses. Ceci a aussi été démontré depuis longtemps pour des installations fixes, comme les phares, grattes-ciels, tours de communication, etc.

À l'inverse, certains oiseaux et chiroptères sont dérangés par les sources lumineuses et cela réduit les habitats fonctionnels de ces espèces. Une réflexion globale pour le projet mais aussi pour les installations existantes pourrait être menée pour diminuer l'impact de cette pollution : diminution du nombre de lampe, orientation du faisceau lumineux, choix de la longueur d'onde, etc. Le porteur de projet est encouragé à utiliser :

- ✓ Un éclairage bas
- ✓ Un éclairage tourné vers l'intérieur du site de projet
- ✓ Un éclairage au sodium à basse pression particulièrement indiqué pour des éclairages de route et de parking
- ✓ Un éclairage limité aux zones (placement adéquate des luminaires) et au temps où il est nécessaire (minuterie, détecteur de mouvements)

R4 : Limiter le bruit

Lors des travaux, seul le matériel homologué et bien entretenu sera utilisé. Les engins électriques ou hydrauliques seront favorisés aux dépens de matériels pneumatiques plus bruyants.

Lors de la phase de forage, les activités les plus bruyantes devront être réalisées dans la mesure du possible entre 9h et 16h afin de limiter les impacts sur la faune.

R5 : Implantation de haies d'essences indigènes

La zone d'emprise des installations pourrait être délimitée par des haies denses composées d'essences de hauts jets et des arbustes. L'objectif étant de pallier aux déboisements en recréant des continuités écologiques, du moins pour les habitats ouverts : côté route et interface avec les habitations avoisinantes. Ces haies constitueront par ailleurs des zones tampon entre le milieu naturel et la zone de forage.

Le choix d'espèces indigènes serait favorable à la faune.

5.3 Mesures de compensation

Les mesures de compensation sont définies ainsi par l'article R. 122-14 du code de l'environnement : « Les mesures compensatoires ont pour objet d'apporter une contrepartie aux effets négatifs notables, directs ou indirects du projet qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles doivent permettre de conserver globalement et, si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux ».

Pour être éligibles, selon la doctrine ERC, elles doivent répondre à certains critères :

- ✓ L'équivalence écologique.
- ✓ L'objectif d'absence de perte nette voire de gain de biodiversité.
- ✓ La proximité géographique avec la priorité donnée à la compensation sur le site endommagé ou, en tout état de cause, à proximité de celui-ci afin de garantir ses fonctionnalités de manière pérenne.
- ✓ L'efficacité avec « l'obligation de résultats » pour chaque mesure compensatoire : suivis de la faune et de la flore.
- ✓ La pérennité avec l'effectivité des mesures de compensation « pendant toute la durée des atteintes ».

Pour être prises en compte, les mesures compensatoires doivent être validées et budgétisées.

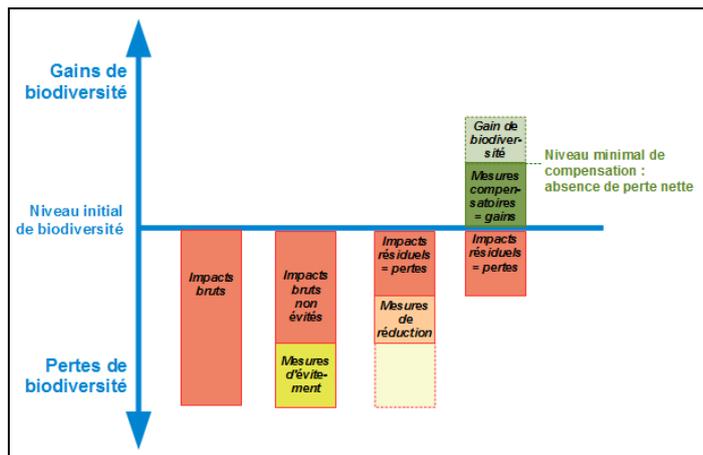


Figure 1: Représentation schématique du bilan écologique de la séquence ERC, Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018

Concernant le projet, les mesures de compensation devront compenser la perte d'habitat en prenant en compte les différents projets (impacts cumulés) et permettent au final d'avoir un gain de biodiversité.



C1 : Protection des terrains boisés

L'ensemble des terrains boisés du groupe Ormat Technologie pourrait faire l'objet de protections comme un Arrêté de Protection du Biotope (APB) ou un Arrêté de Protection des Habitats (APH), assorti de mesures de gestion simple comme la mise en défend des boisements (clôture) pour interdire toutes coupes de bois (charbon et gaulette) et intrusion de cabris. En effet, ces dégradations portent atteintes à la structure des boisements, notamment au sous-bois.

C2 : Restauration des parties dégradées de la forêt : éliminer les vestiges d'habitations et de parcs à cochons.

L'objectif sera de faire évoluer le milieu vers un état plus favorable aux espèces patrimoniales en éliminant les impacts anthropiques antérieurs. Suite à l'enlèvement des vestiges de parc à cochons et de la maison, des mesures de restauration peuvent être entreprises en favorisant notamment la repousse d'arbres ou d'arbustes de forêt.

C3 : Enlèvement / traitement d'espèces exotiques envahissantes

La zone contient des espèces exotiques envahissantes (EEE) dont l'expansion pourrait être favorisée par le défrichement (lutte contre les rats, arrachage des végétaux exotiques, etc.). Cette mesure vise à faire évoluer le milieu vers un état plus favorable à son fonctionnement ou à la biodiversité faisant appel à des travaux.

C4 : Lutte contre les espèces invasives présentes sur la parcelle

La plateforme de projet devra être clôturée ce qui limitera d'éventuelles intrusions de la faune (notamment de chiens sauvages et de cabris). La bonne gestion des déchets empêchera le développement d'espèces dites nuisibles au niveau des sites des projets.

C5 : Favoriser les espèces indigènes pour les aménagements paysagers des pourtours des installations

Cette mesure s'inscrit dans la continuité de la précédente, il s'agit de limiter l'expansion des EEE. Tout aménagement paysager devra favoriser des espèces végétales locales et sauvages afin de contribuer à la restauration du milieu.

C6 : Restaurer les sous-bois impactés par les prélèvements

Cette mesure s'inscrit dans la restauration du milieu et de la trame verte et bleue. En effet, l'action de défrichement va impacter négativement le réservoir de biodiversité que constitue le boisement et les espèces qui le fréquentent. Il s'agit de restaurer la strate arbustive de sous-bois impactés par les prélèvements en réimplantant des espèces locales et sauvages (Cf. mesure C5).

C7 : Suivis de l'évolution des milieux et de la faune suite aux mesures de réduction et de compensation

Des mesures de suivis comprenant un état initial et le suivi des populations ou des milieux concernés devront être mises en place. Ils permettront de valider les mesures mises en place notamment sur :

- ✓ Les habitats (flore)
- ✓ L'avifaune
- ✓ Les chiroptères



Par ailleurs, si le projet induit le défrichement de la parcelle, un dossier de demande d'autorisation de défrichement devra être réalisé. De même, une demande de dérogation auprès de la DEAL devra être formulée pour destruction d'espèces protégées.



6 BIBLIOGRAPHIE

Bénito-Espinal, E., Hautcastel, P. 2003. Les oiseaux des Antilles et leur nid. Edition PLB, 320p.

Bernard, JF ; Etifier-CHALONO, E ; Feldmann, P ; FIARD, JP ; Fournet, J ; Jeremie, J ; Lurel, F ; Rousteau, A ; Sastre, C. 2014. Livre rouge des plantes menacées aux Antilles Française. Ed Biotope. 462p.

LEVESQUE A., DUZONT F., MATHURIN A. & CHIFFARD J. 2010. Liste des oiseaux de la Guadeloupe (5ème édition). Grande-Terre, Basse-Terre, Marie-Galante, les Saintes, la Désirade, Îlets de la Petite-Terre. Rapport AMAZONA n° 26. 18 p.

Barataud, M & S. Giosa 2011. - Étude acoustique des chiroptères de Guadeloupe : répartition et utilisation de l'habitat. Le Vespère 4 : 241-252

Barataud, M. 2012. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité, 344 pp.

BARATAUD, M. & S. GIOSA 2014. - Étude acoustique des chiroptères de Guadeloupe : activité nocturne et utilisation de l'habitat. 28pp.

BARATAUD, M., S. GIOSA, F. LEBLANC, P. FAVRE & J.-F. DESMET 2015. - Identification et écologie acoustique des chiroptères de la Guadeloupe et de la Martinique (Antilles Françaises). Le Vespère 5 : 296-332

CSRPN, 2016A. Avis sur les espèces nécessitant un statut de protection. Avis n°2016/2. 8pp.

CSRPN, 2016B. Avis sur les listes d'espèces indigènes à annexer au projet d'arrêté ministériel visant à interdire l'introduction dans le milieu naturel d'espèces de vertébrés terrestres, de poissons et de crustacés d'eau douce, sur le territoire du département de la Guadeloupe. Avis n°2016/06. 4pp.

Eraud C., Arnoux E. Levesque A., Van Laere G. & Magnin H. (2012). Biologie des populations et statut de conservation des oiseaux endémiques des Antilles en Guadeloupe. Rapport d'étude ONCFS-Parc National Guadeloupe. 302p.

Ibéné B., Leblanc F. et Pentier C., 2007. Contribution à l'étude des Chiroptères de la Guadeloupe. Rapport final 2006. DIREN - L'ASFA - Groupe Chiroptères Guadeloupe. 134 pp.

Ibéné B., B. Angin, M. Barataud, F. Leblanc & S. Giosa 2009. - Contribution à la connaissance des Chiroptères de la Guadeloupe. Rapport final 2007-2008. DIREN, Pointe-à-Pitre - L'ASFA - Groupe Chiroptères Guadeloupe, Sainte-Anne. 142 pp.

IUCN, 2012. La liste rouge des espèces menacées de France : Les oiseaux de Guadeloupe. 10p.



ANNEXE 5 :

**Rapport du Bureau d'Études AEC sur des mesures acoustiques autour des puits BO-11 et BO-12
– Novembre 2018**



MESURAGES ACOUSTIQUES PUITS BO11 & BO12

Centrale géothermique de Bouillante



Référence	Date	Rédaction	Vérification	Approbation
A3759-R03-EV	22/11/2018	Enneric VALMORIN	Norris NOYON	Enneric VALMORIN

Acoustic Environment Consulting
2 rue Blondel, ZI Jarry, 97122 Baie-Mahault ☎ 0590 57 01 20 contact@aec-sarl.com
SARL au capital de 10 000 € RCS Pointe-à-Pitre 830 391 678 APE : 7112 B

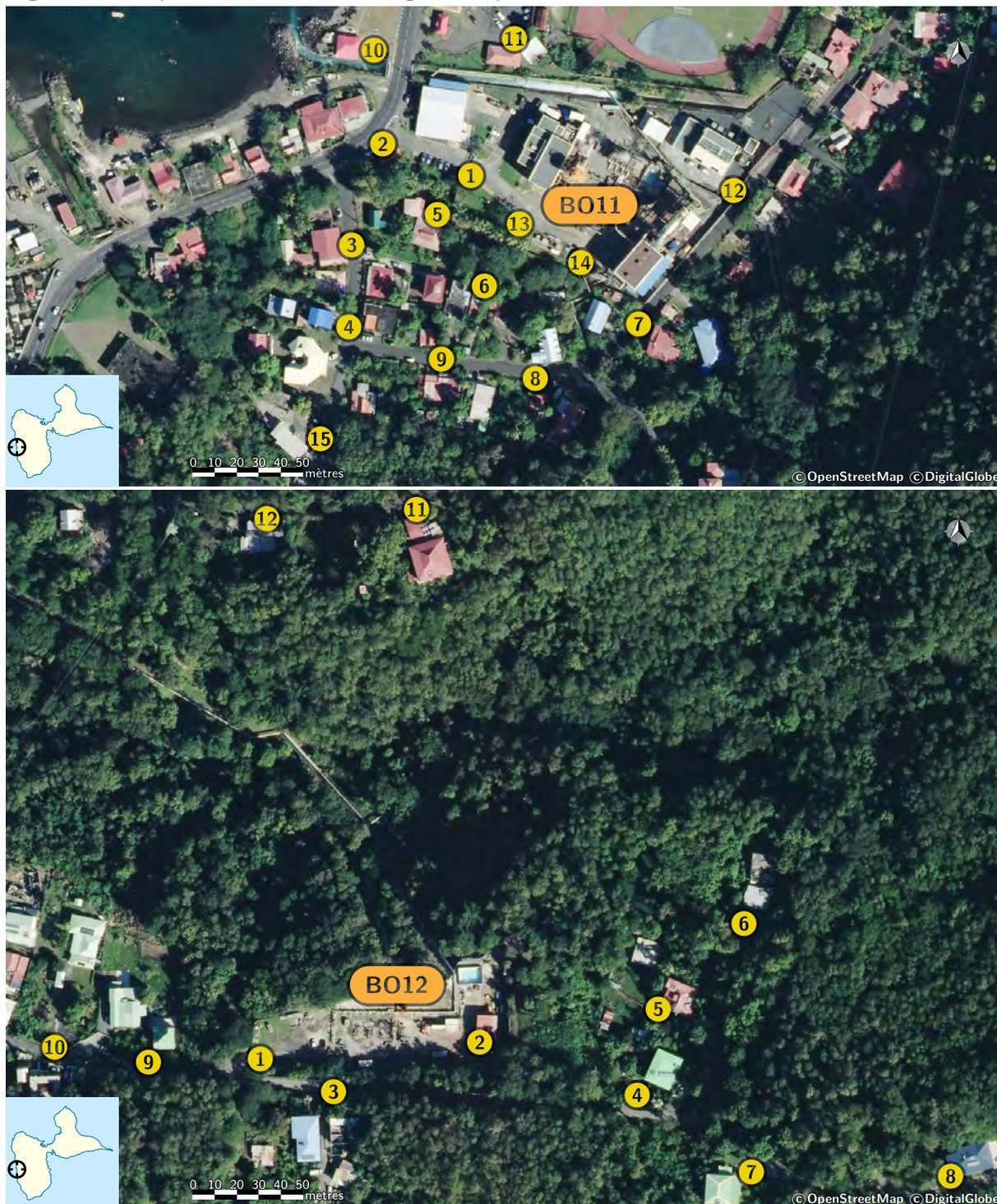
Table des matières

1	Définition de la mission	2
2	Description des mesurages acoustiques	3
2.1	Procédure des mesurages	3
2.2	Appareillage utilisé	3
2.3	Conditions météorologiques	3
3	Résultats des mesurages acoustiques	4
3.1	BO11 – Point 1 : Portail entrée principale	5
3.2	BO11 – Point 2 : Panneau GB bord route nationale	9
3.3	BO11 – Point 3 : Route au niveau du Riverain n° 4	13
3.4	BO11 – Point 4 : Route au niveau du riverain n° 8	17
3.5	BO11 – Point 5 : Au niveau du riverain n° 1	21
3.6	BO11 – Point 6 : Au niveau riverain n° 2	25
3.7	BO11 – Point 7 : Route au niveau riverain n° 19	29
3.8	BO11 – Point 8 : Route au niveau riverain n° 15	33
3.9	BO11 – Point 9 : Route au niveau riverain n° 13	37
3.10	BO11 – Point 10 : Bar des sources chaudes	41
3.11	BO11 – Point 11 : Bibliothèque	45
3.12	BO11 – Point 12 : Entrée centrale rue Vanier	49
3.13	BO11 – Point 13 : Clôture centrale face bananier	53
3.14	BO11 – Point 14 : Clôture centrale niveau sécheur	57
3.15	BO11 – Point 15 : Ancienne route nationale face Baltuss	61
3.16	BO12 – Point 1 : Portail entrée plateforme	65
3.17	BO12 – Point 2 : Hangar plateforme BO-4	69
3.18	BO12 – Point 3 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison à droite	73
3.19	BO12 – Point 4 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison Caffa 1	77
3.20	BO12 – Point 5 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison Caffa 2	81
3.21	BO12 – Point 6 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison Caffa 3	85
3.22	BO12 – Point 7 : Niveau maison Rodney	89
3.23	BO12 – Point 8 : Maison route Hon Muscade	93
3.24	BO12 – Point 9 : Sur le chemin Descoudes au niveau 1 ère maison	97
3.25	BO12 – Point 10 : Sur le chemin Descoudes au niveau entrée maison Lefort	101
3.26	BO12 – Point 11 : Chemin de Fifi maison Felsina	105
3.27	BO12 – Point 12 : Chemin de Fifi maison X	109

1 Définition de la mission

Dans le cadre du projet d'augmentation de capacité de production de la centrale géothermique de Bouillante, la société ORMAT a souhaité réaliser des mesurages acoustiques autour des puits BO11 et BO12. Les résultats de ces mesurages sont présentés dans ce rapport.

Figure 1 Emplacement des mesurages aux puits BO11 et BO12



2 Description des mesurages acoustiques

2.1 Procédure des mesurages

Les mesurages ont été effectués conformément à la norme NFS 31-010 relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement sans déroger à aucune de ses dispositions. La méthode utilisée est celle dite « d'expertise ».

Les mesurages ont été effectués le 3 et le 5 octobre 2018, durant l'arrêt programmé de la centrale ; et le 11 et le 29 octobre durant le fonctionnement normal de la centrale. Les emplacements des mesurages sont indiqués sur la figure 1.

2.2 Appareillage utilisé

L'appareillage utilisé comprenait les sonomètres et les calibreurs acoustiques homologués suivant :

- Sonomètres Rion NL-52 de classe 1, n° de série 575 885 et 575 886
- Sonomètre 01dB Fusion de classe 1, n° de série 10 600
- Sonomètre 01dB Solo de classe 1, n° de série 1 103
- Calibreur Rion NC-74 de classe 1, n° de série 34 678 515
- Calibreur 01dB CAL-21 de classe 1, n° de série 35 054 888

Les sonomètres et les calibreurs ont fait l'objet d'étalonnage au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE). Lors des mesurages chaque sonomètre était muni d'un écran anti-vent ou d'un écran anti-intempérie. Un calibrage des sonomètres a été effectué entre les mesurages et aucune dérive supérieure à 0,1 dB n'a été relevée.

Les sonomètres étaient réglés pour mesurer le niveau de pression acoustique continu équivalent avec une durée d'intégration d'une seconde ($L_{eq,1s}$), en pondération A et par bande de tiers d'octave. L'analyse des données obtenues a été réalisée avec le logiciel de calcul numérique GNU Octave.

2.3 Conditions météorologiques

Les mesurages ont été effectués par ciel dégagé, avec un sol sec et des vitesses de vents faibles. Selon la nomenclature de la norme NFS 31-010, les conditions météorologiques correspondaient à U3/T2 en période diurne et U3/T4 en période nocturne.

3 Résultats des mesurages acoustiques

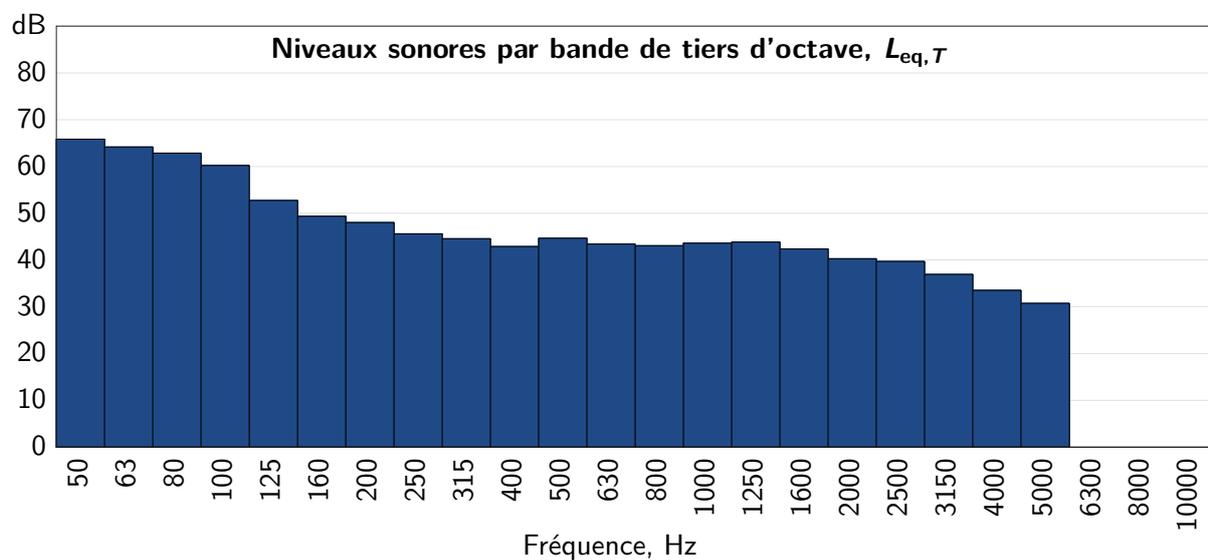
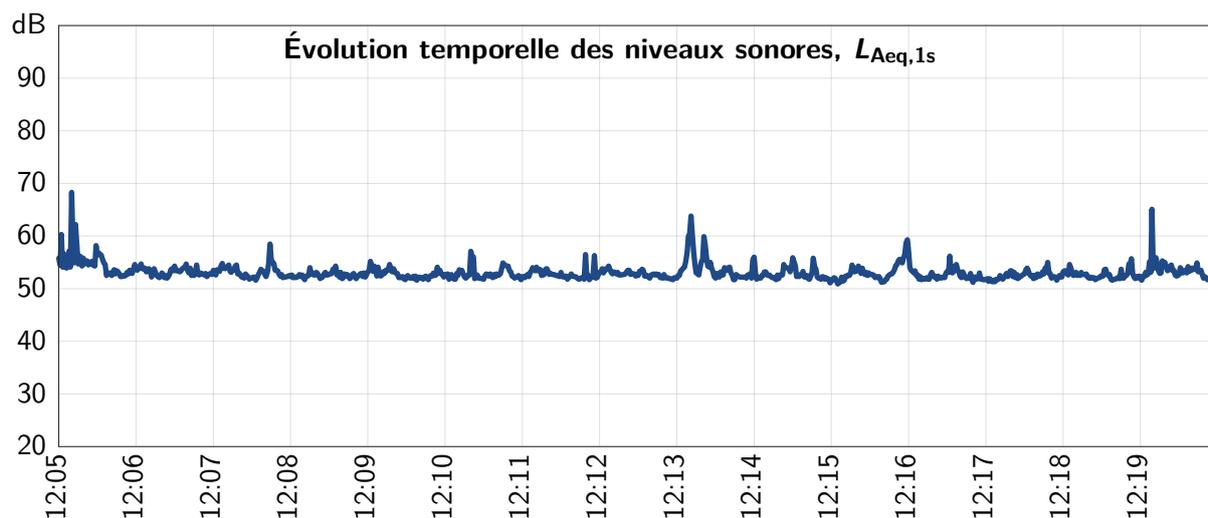
Les résultats des mesurages sont présentés ci-après pour chacun des points. Ces résultats sont arrondis au demi-décibel le plus proche conformément à la norme NFS 31-010.

Localisation	Niveaux sonores diurnes, dB				Niveaux sonores nocturnes, dB			
	« fonctionnement »		« à l'arrêt »		« fonctionnement »		« à l'arrêt »	
	$L_{Aeq,T}$	$L_{A50,T}$	$L_{Aeq,T}$	$L_{A50,T}$	$L_{Aeq,T}$	$L_{A50,T}$	$L_{Aeq,T}$	$L_{A50,T}$
BO11 Point 1	53,5	52,5	53,0	52,5	51,5	50,5	53,0	53,0
BO11 Point 2	64,0	59,0	63,0	57,0	58,0	50,0	57,0	50,5
BO11 Point 3	63,0	49,0	57,0	50,5	52,5	52,5	52,0	51,5
BO11 Point 4	56,0	50,5	56,0	47,0	53,0	53,0	50,0	49,5
BO11 Point 5	65,5	55,5	71,5	51,5	53,0	53,0	54,0	54,0
BO11 Point 6	56,5	56,5	52,5	51,0	58,5	58,5	58,5	58,5
BO11 Point 7	53,0	51,5	54,0	51,5	57,0	56,5	55,5	55,5
BO11 Point 8	48,0	43,5	53,5	46,5	55,0	55,0	52,0	52,0
BO11 Point 9	58,0	47,0	45,0	43,5	56,5	56,5	55,5	55,5
BO11 Point 10	64,5	62,5	60,5	55,5	56,5	53,0	60,5	60,0
BO11 Point 11	55,0	49,5	56,0	54,5	53,0	49,5	53,5	51,5
BO11 Point 12	60,0	59,5	57,0	56,5	56,0	56,0	63,5	63,5
BO11 Point 13	58,5	58,5	56,0	54,5	57,0	57,0	61,5	61,5
BO11 Point 14	64,0	65,0	57,0	54,5	59,5	58,5	62,0	62,0
BO11 Point 15	48,5	40,5	52,5	44,0	52,0	51,5	54,0	54,0
BO12 Point 1	52,5	52,0	41,5	35,0	55,5	55,0	59,0	59,0
BO12 Point 2	56,0	56,0	46,0	35,0	55,0	55,0	63,5	63,5
BO12 Point 3	50,0	45,0	46,5	36,0	58,5	58,0	65,5	66,0
BO12 Point 4	41,0	38,5	39,5	38,5	55,0	55,0	63,0	63,0
BO12 Point 5	48,0	44,0	57,5	57,5	59,0	59,0	62,5	61,0
BO12 Point 6	48,0	39,5	51,5	47,0	62,0	62,0	63,5	63,5
BO12 Point 7	33,5	32,0	37,0	31,5	54,0	54,0	58,0	58,0
BO12 Point 8	52,5	34,5	44,5	35,5	50,5	50,5	59,5	59,5
BO12 Point 9	43,0	39,0	41,0	38,5	56,5	56,5	60,0	60,0
BO12 Point 10	49,0	35,5	49,5	34,5	56,0	56,0	60,0	59,5
BO12 Point 11	43,0	40,5	45,0	42,0	60,5	60,5	60,0	59,5
BO12 Point 12	50,0	46,0	49,0	47,5	52,5	51,5	56,5	56,5

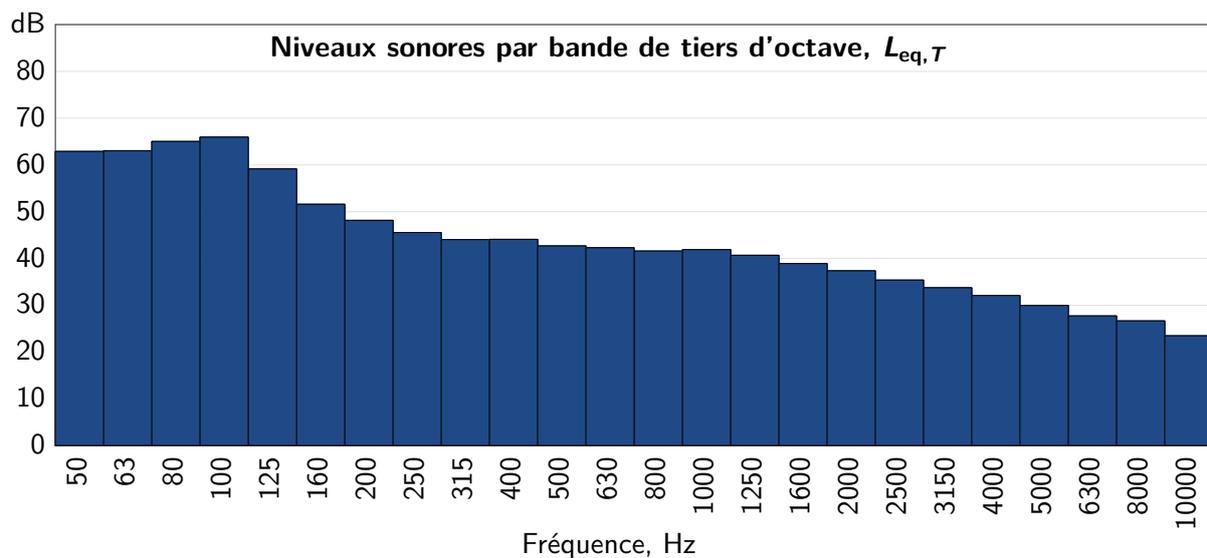
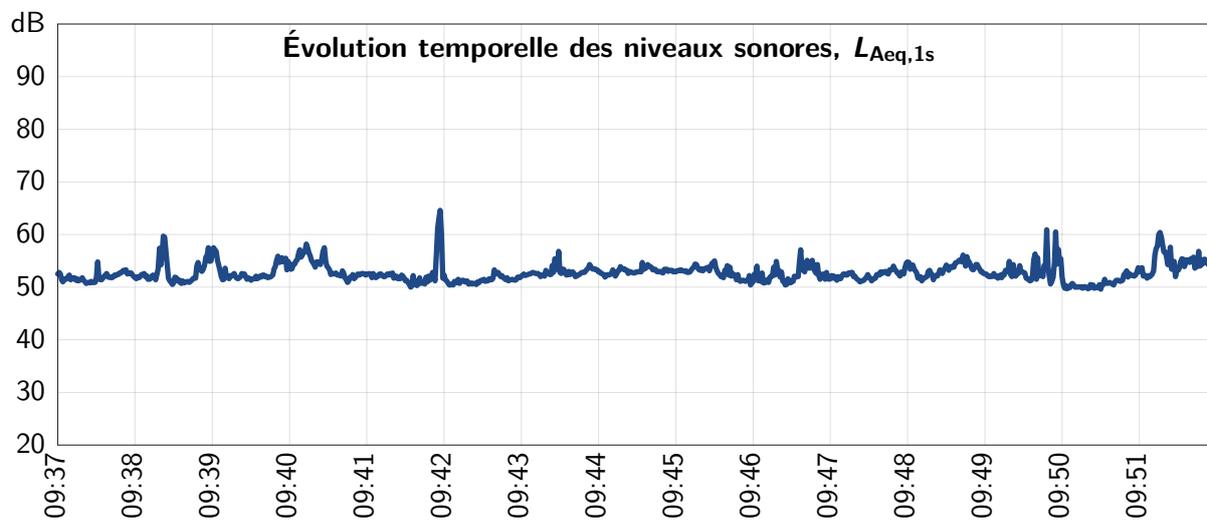
3.1 BO11 – Point 1 : Portail entrée principale



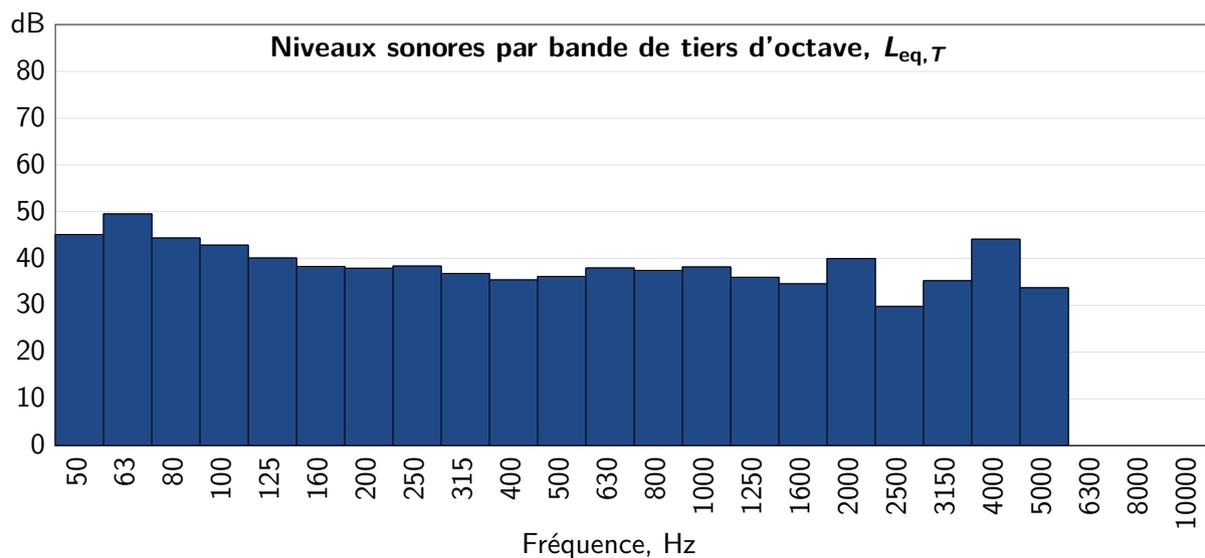
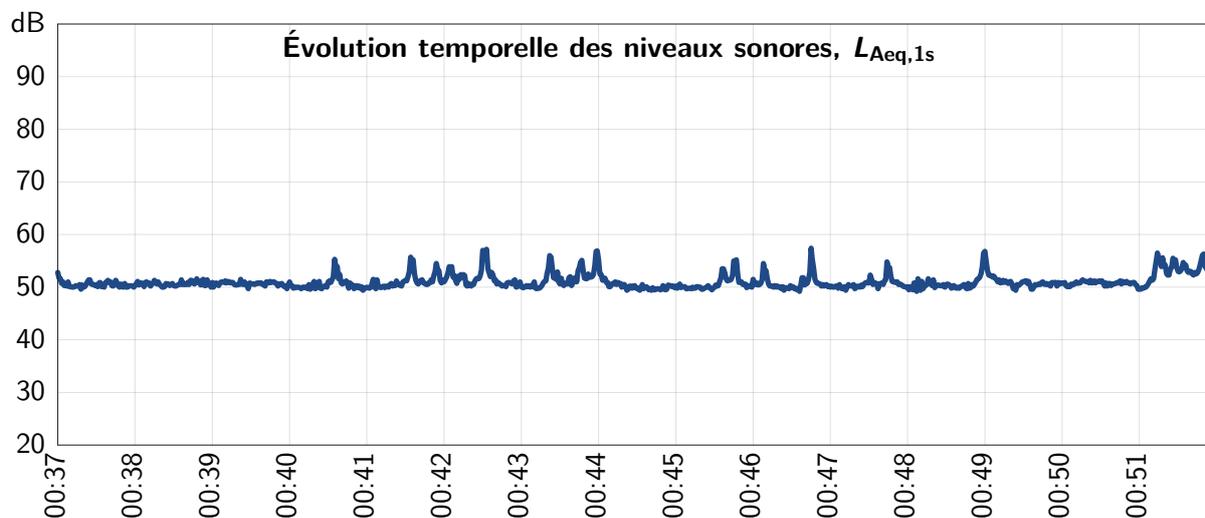
3.1.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



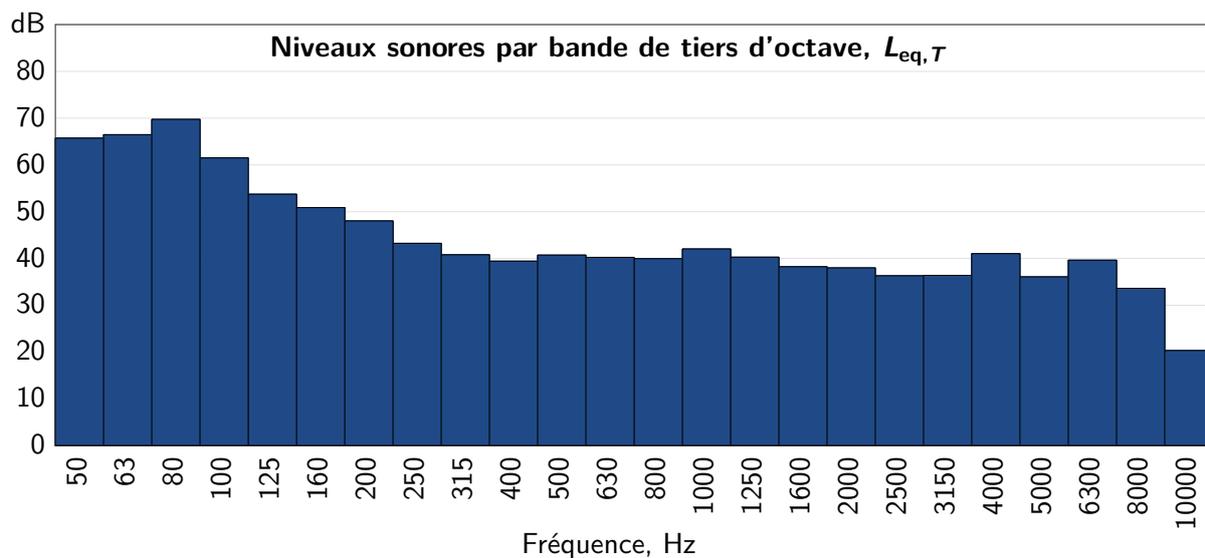
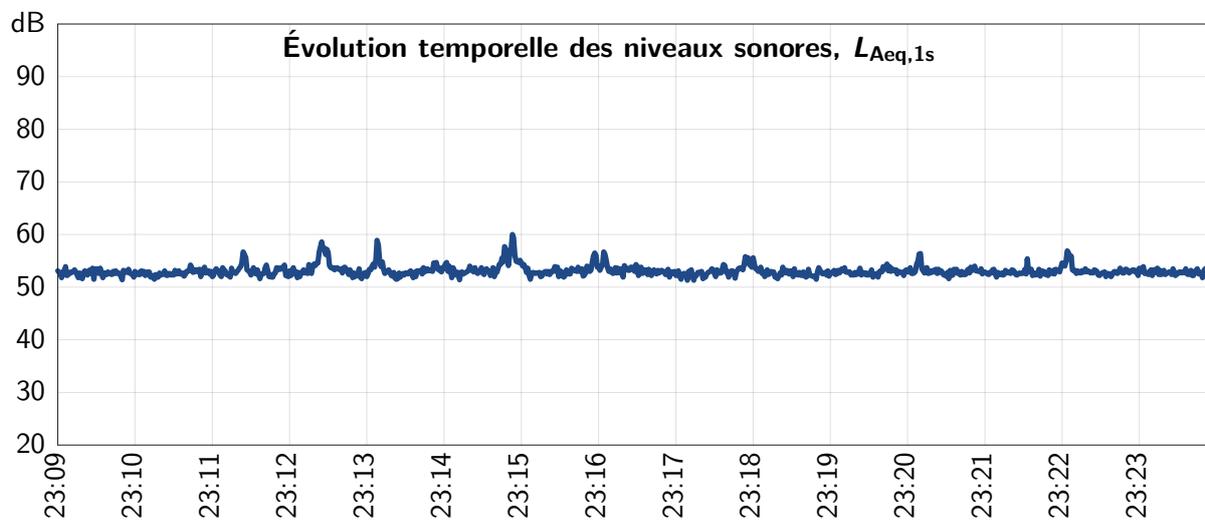
3.1.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.1.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



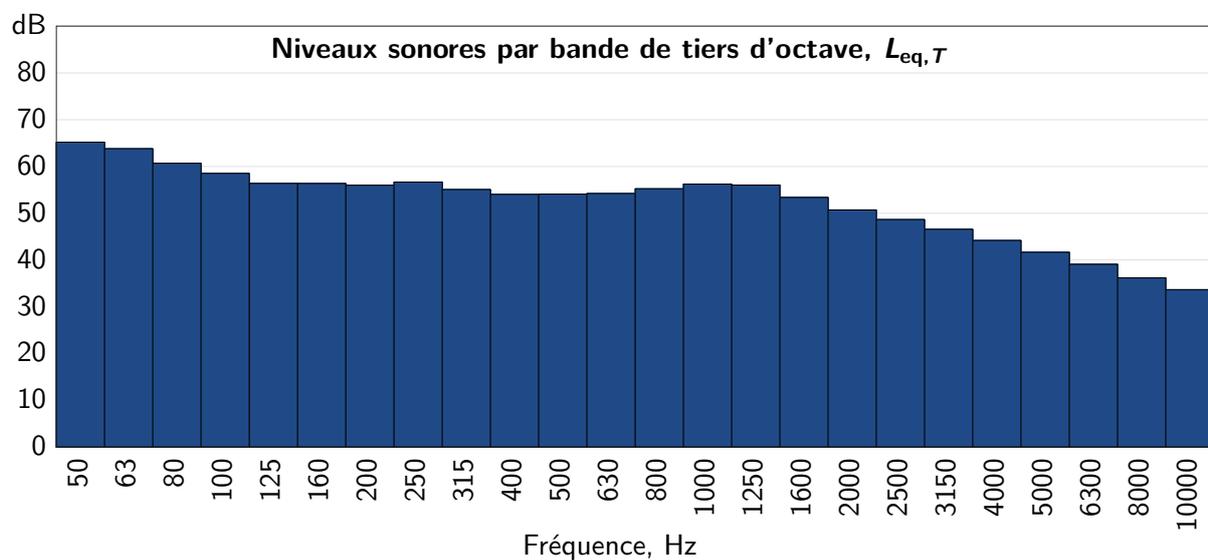
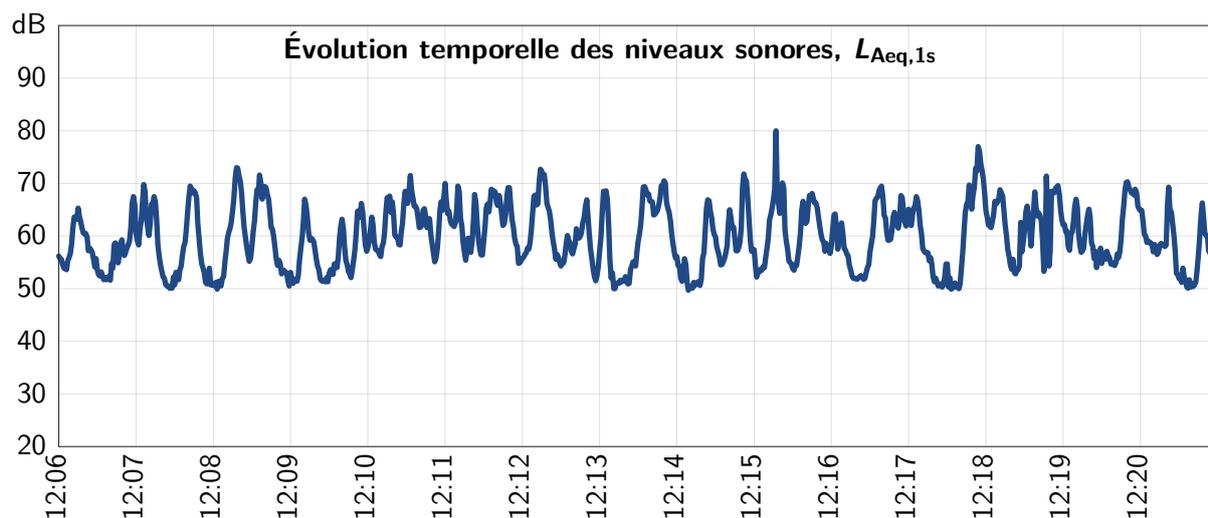
3.1.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 29 octobre 2018



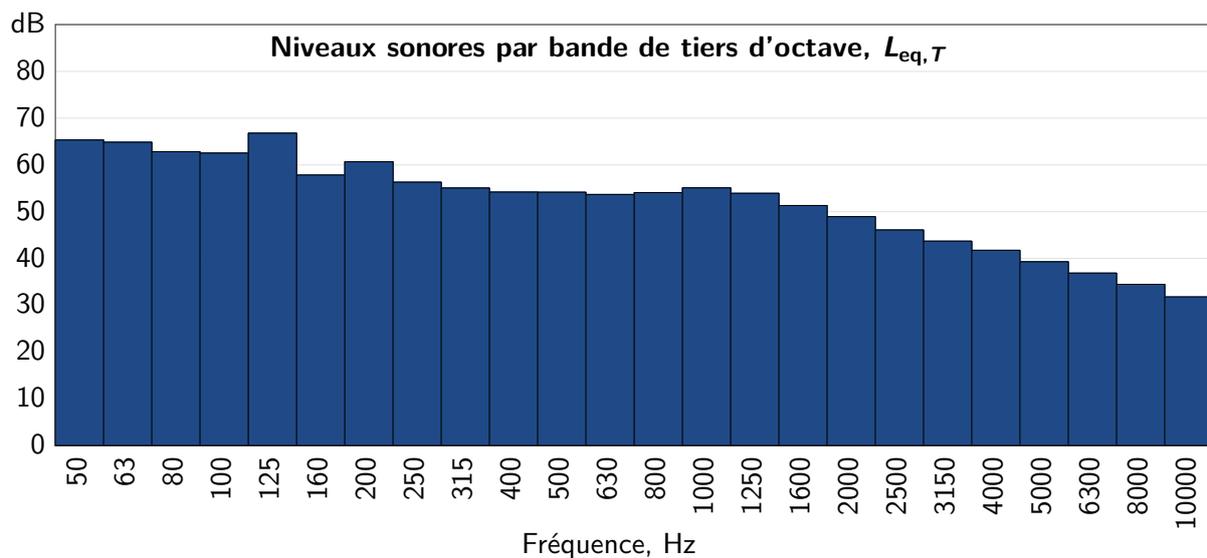
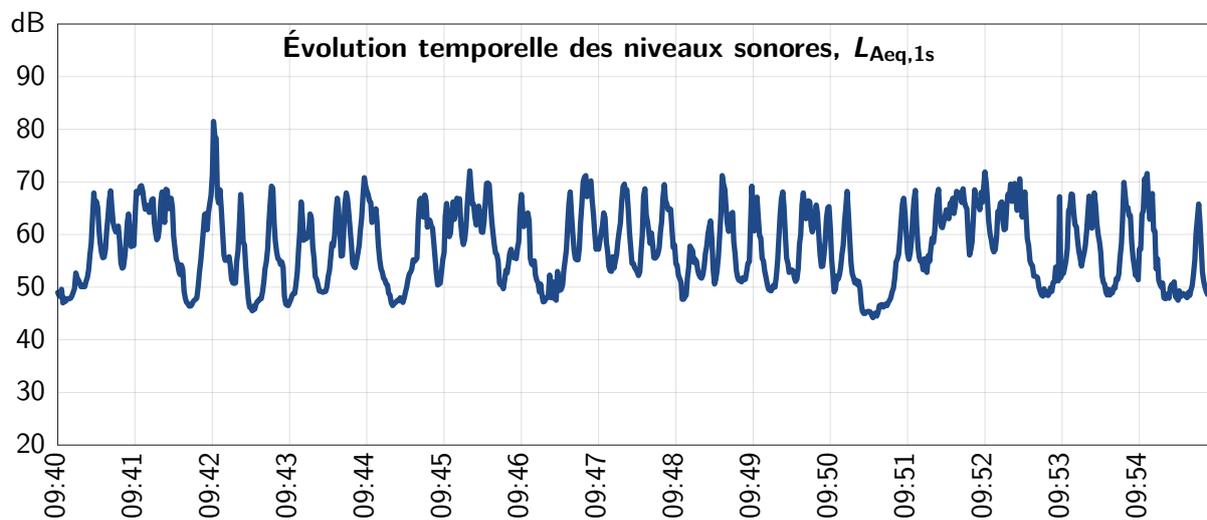
3.2 BO11 – Point 2 : Panneau GB bord route nationale



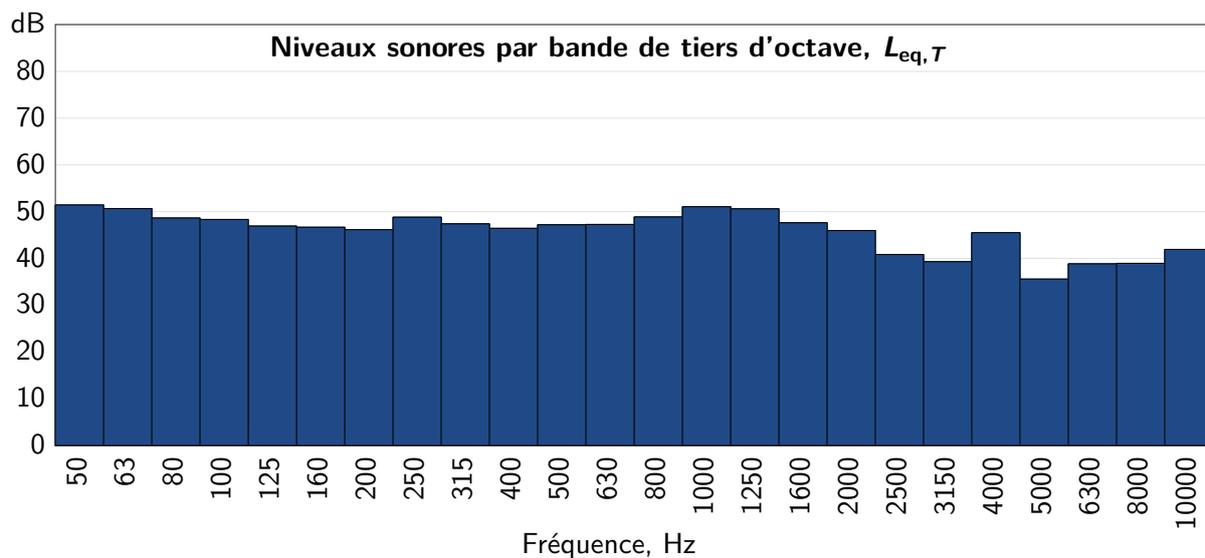
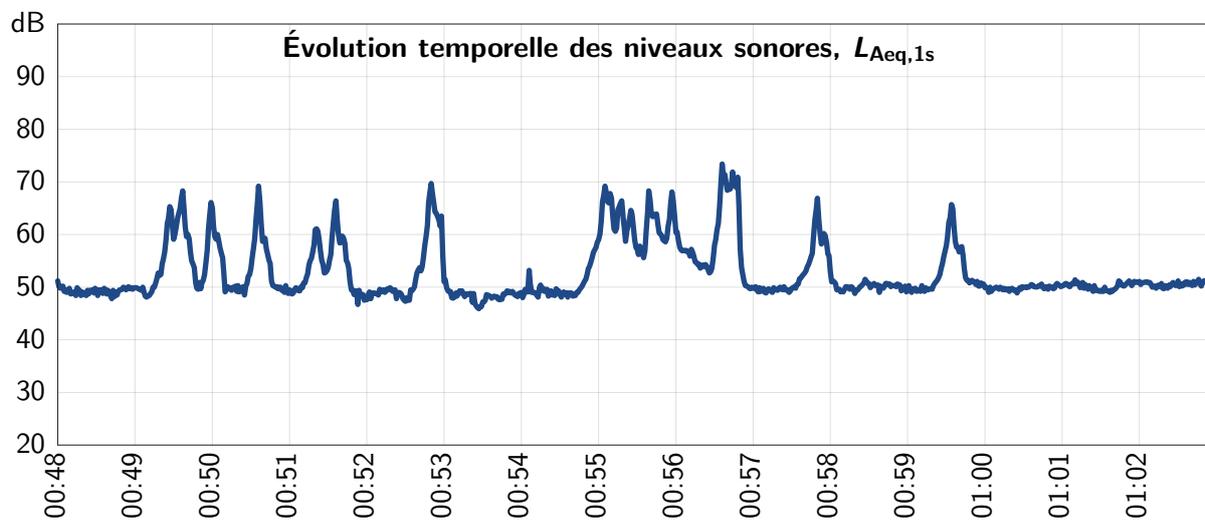
3.2.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



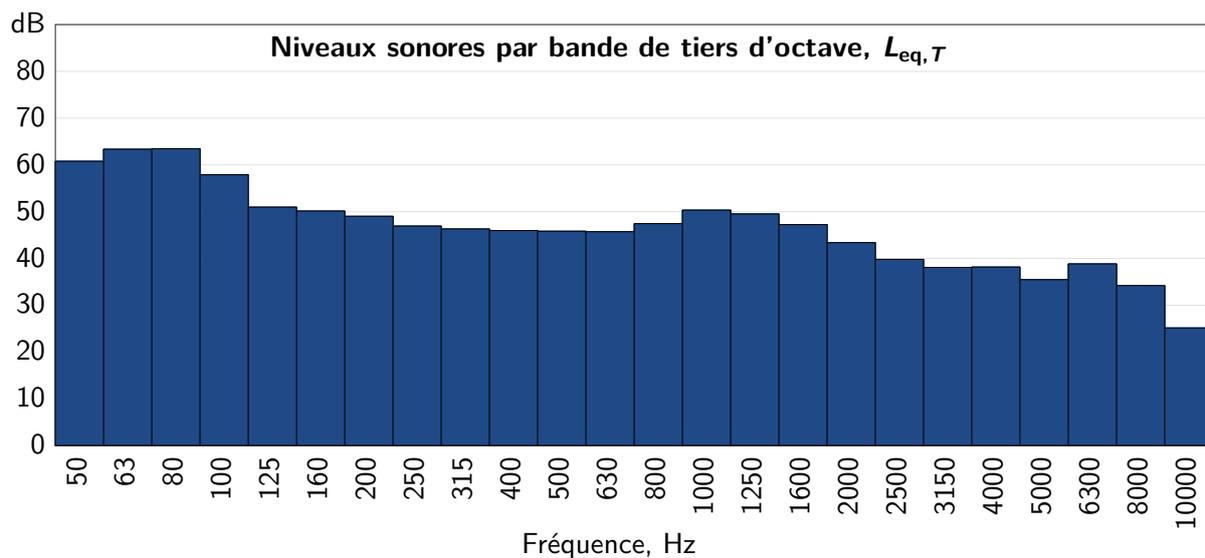
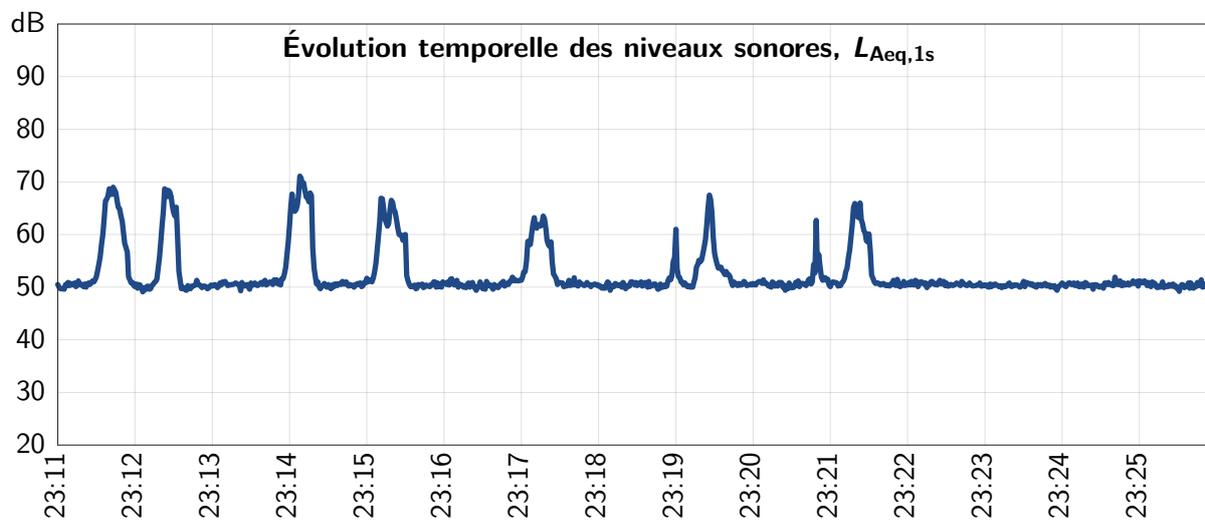
3.2.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.2.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



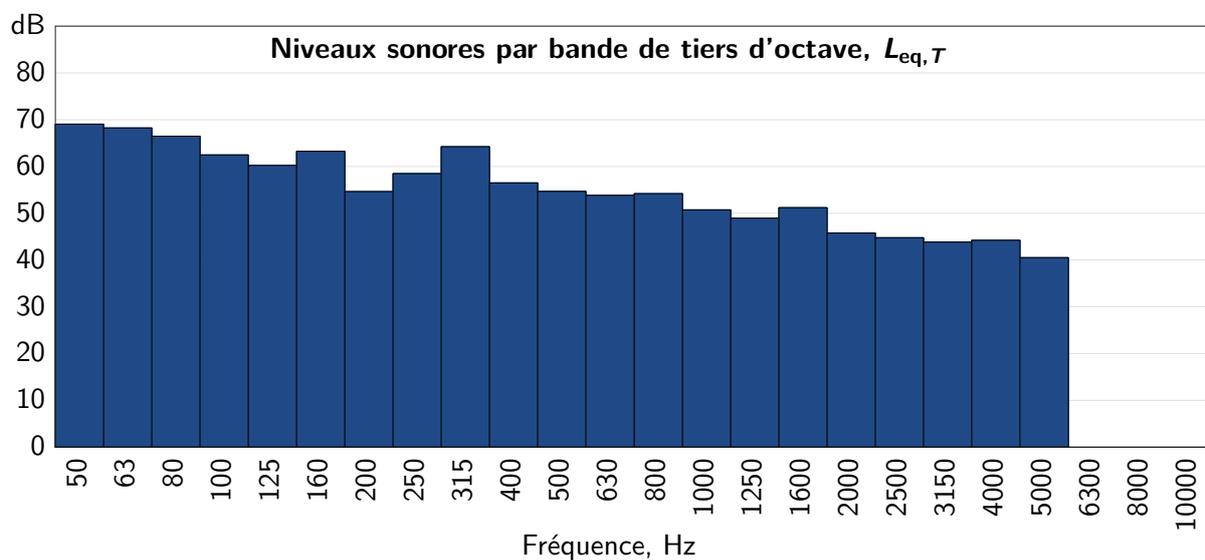
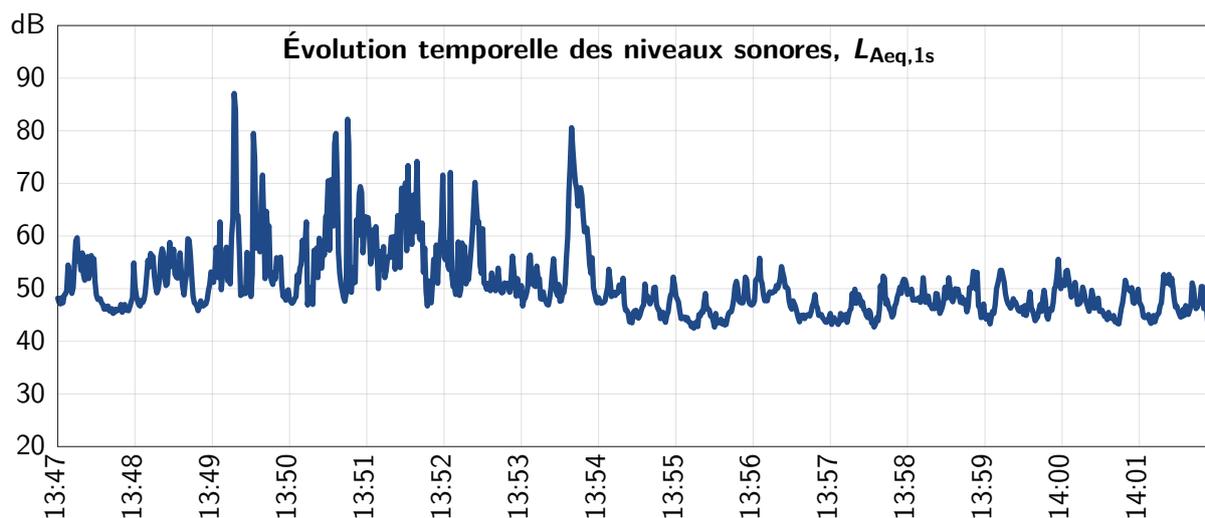
3.2.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 29 octobre 2018



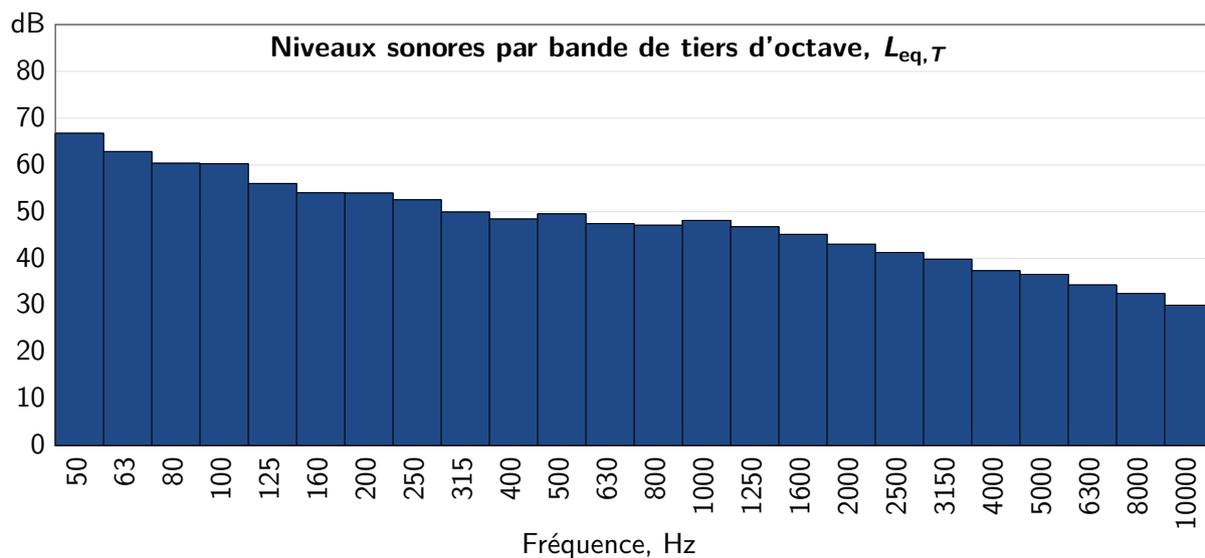
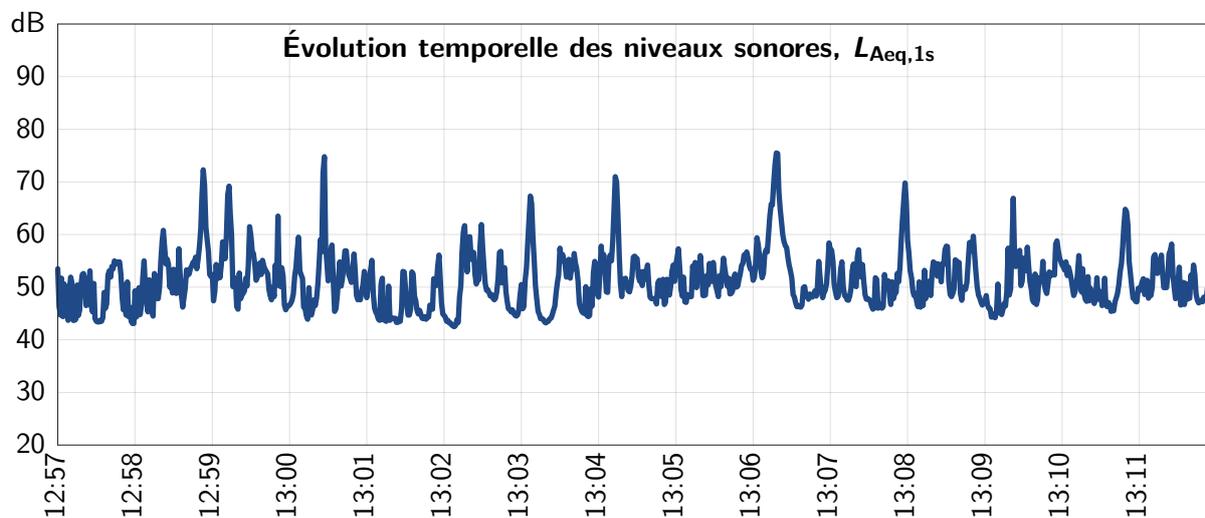
3.3 BO11 – Point 3 : Route au niveau du Riverain n° 4



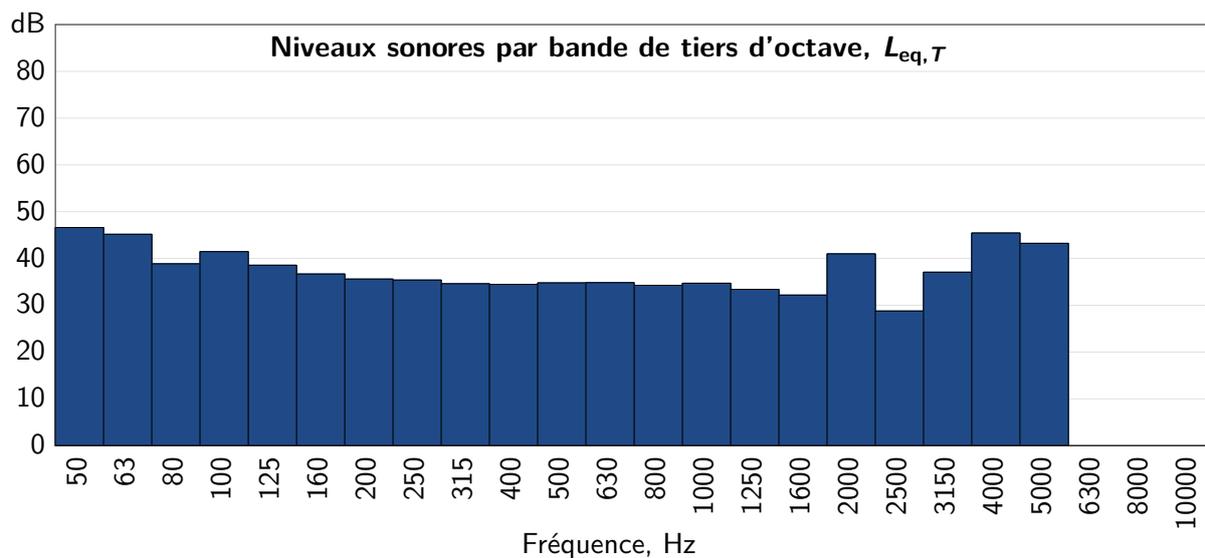
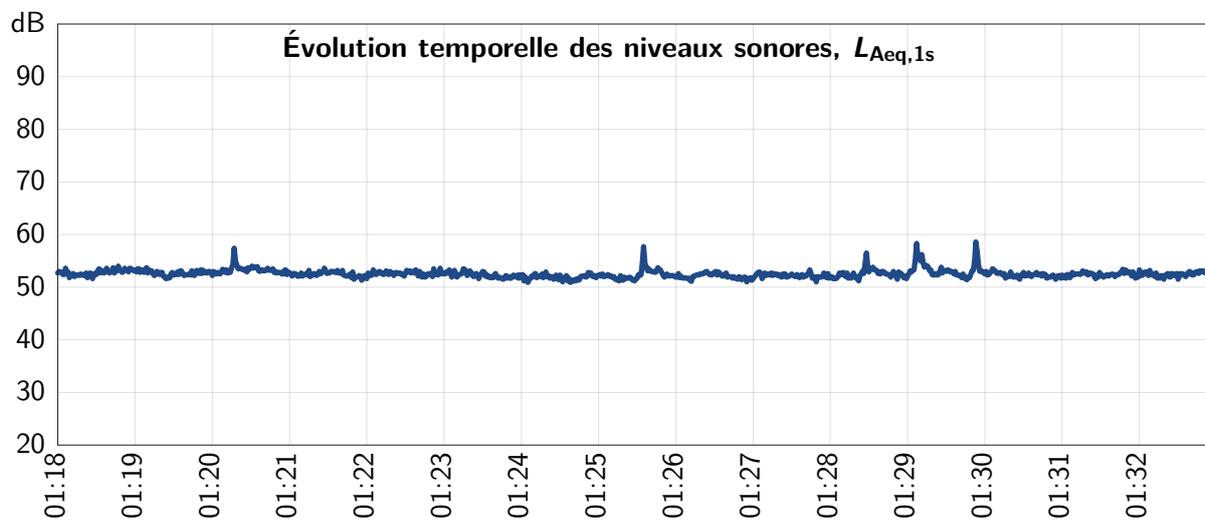
3.3.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



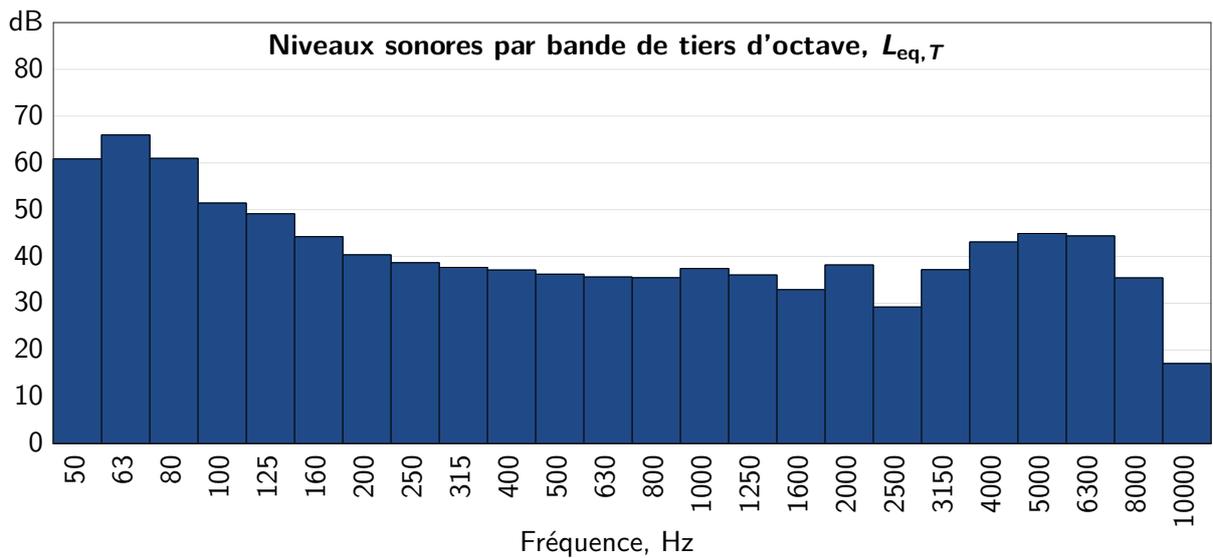
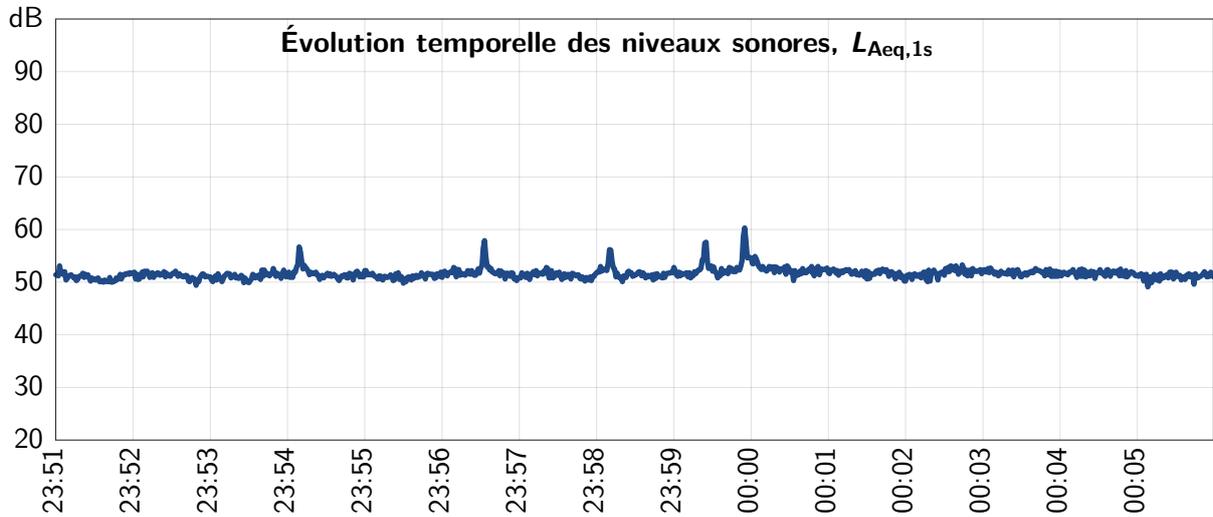
3.3.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.3.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



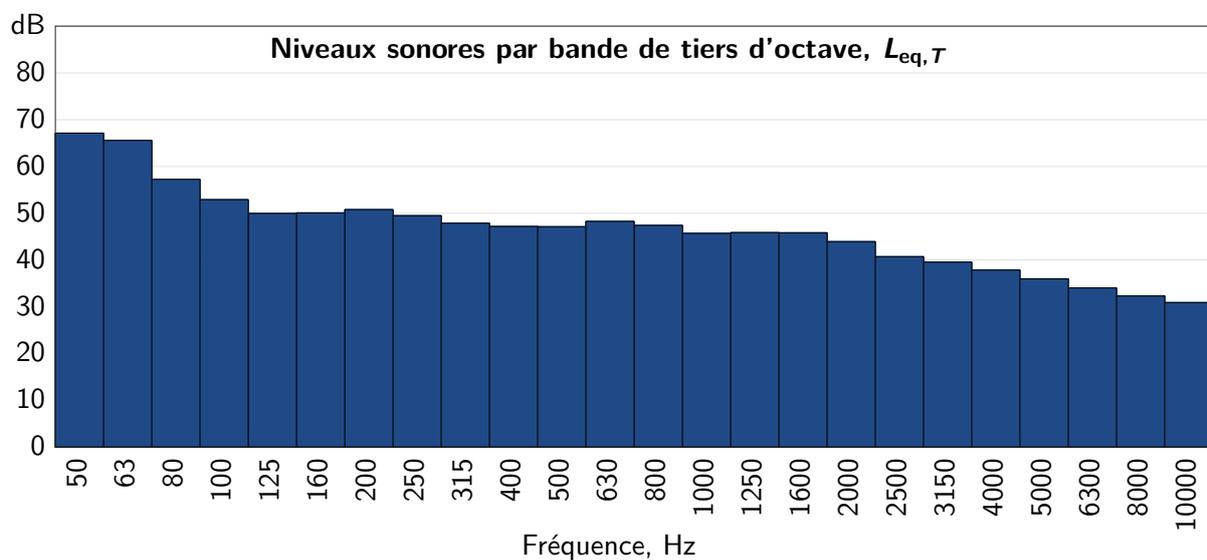
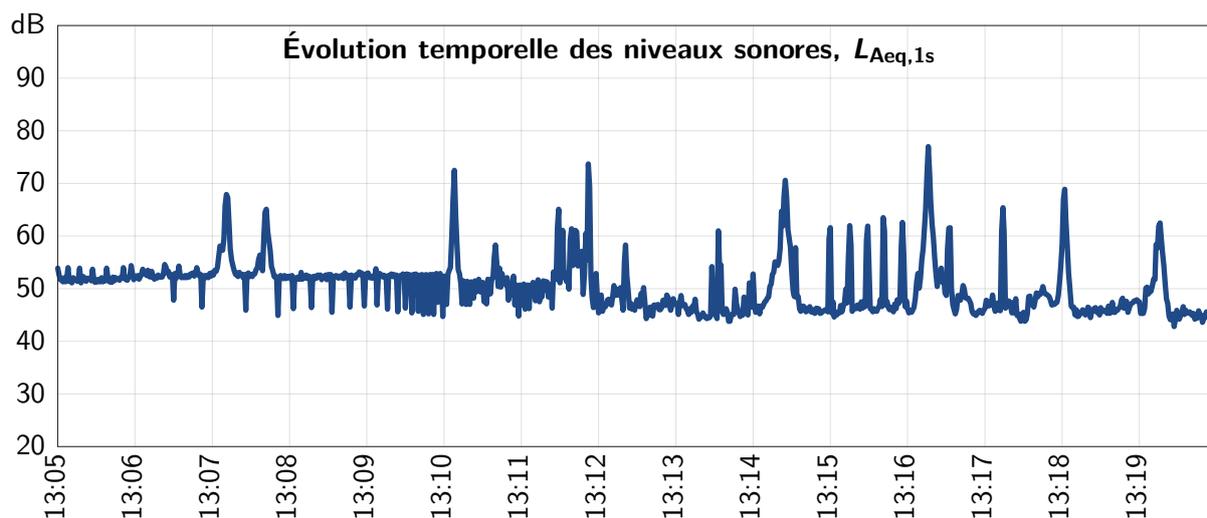
3.3.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 29 octobre 2018



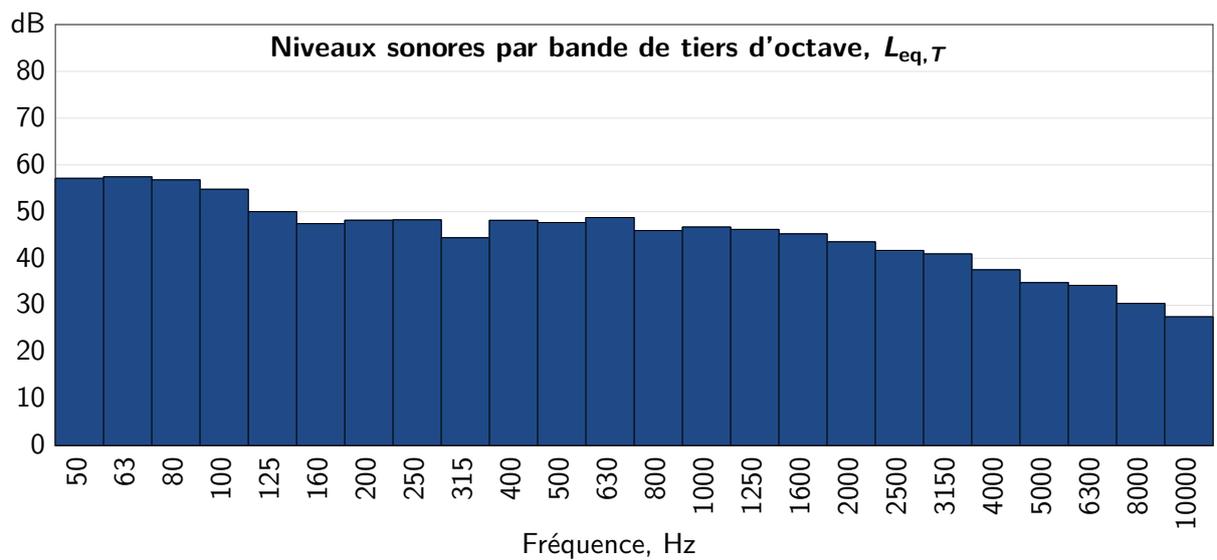
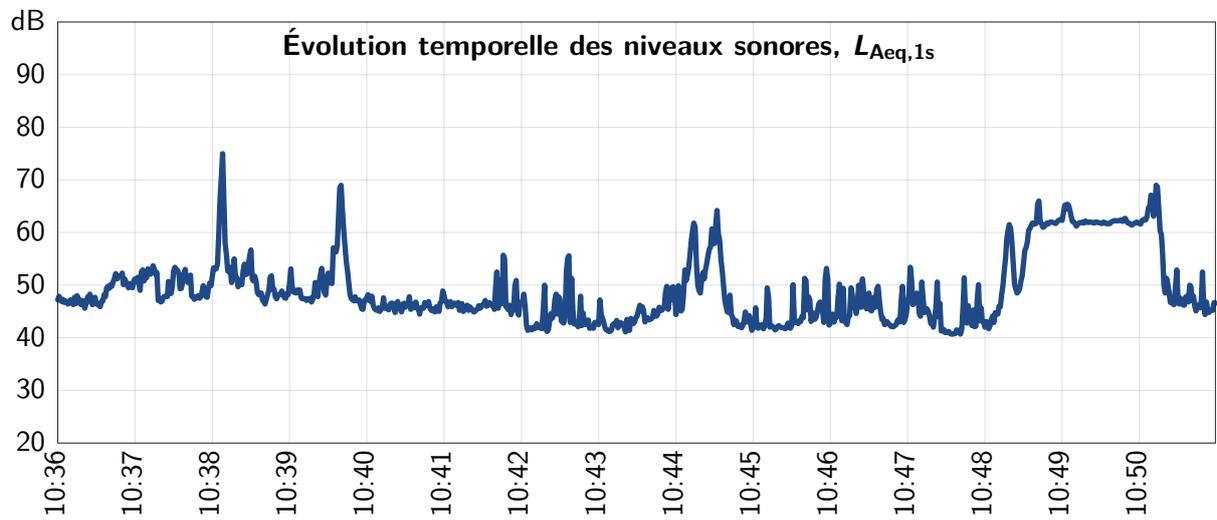
3.4 BO11 – Point 4 : Route au niveau du riverain n° 8



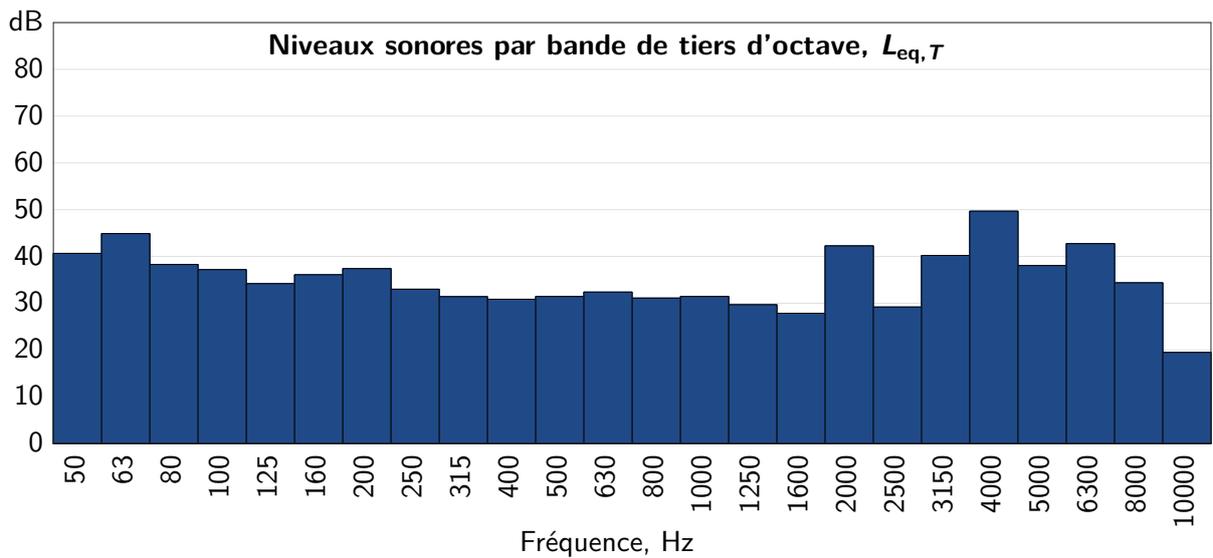
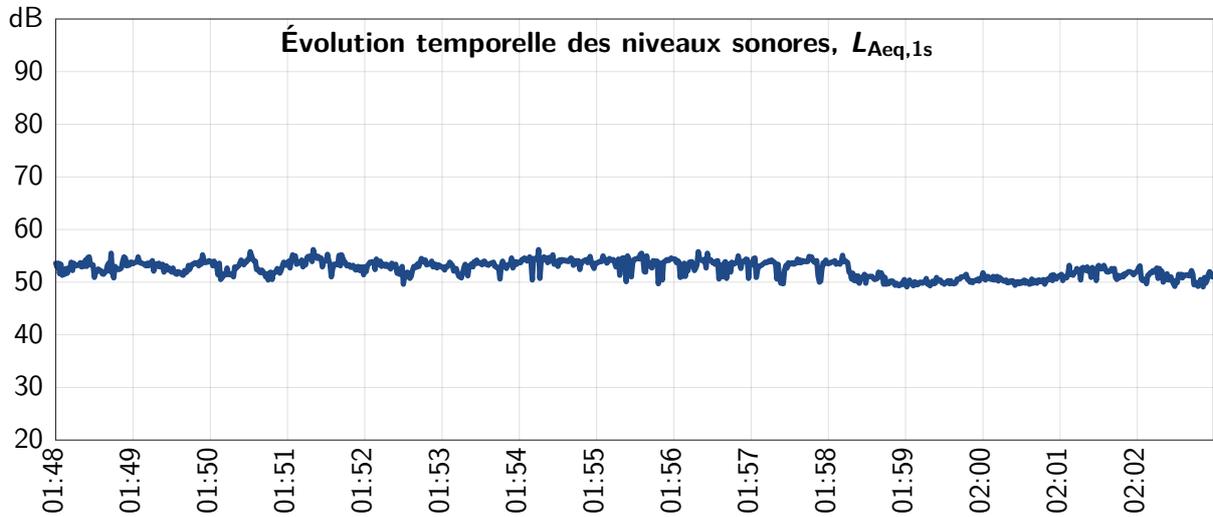
3.4.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



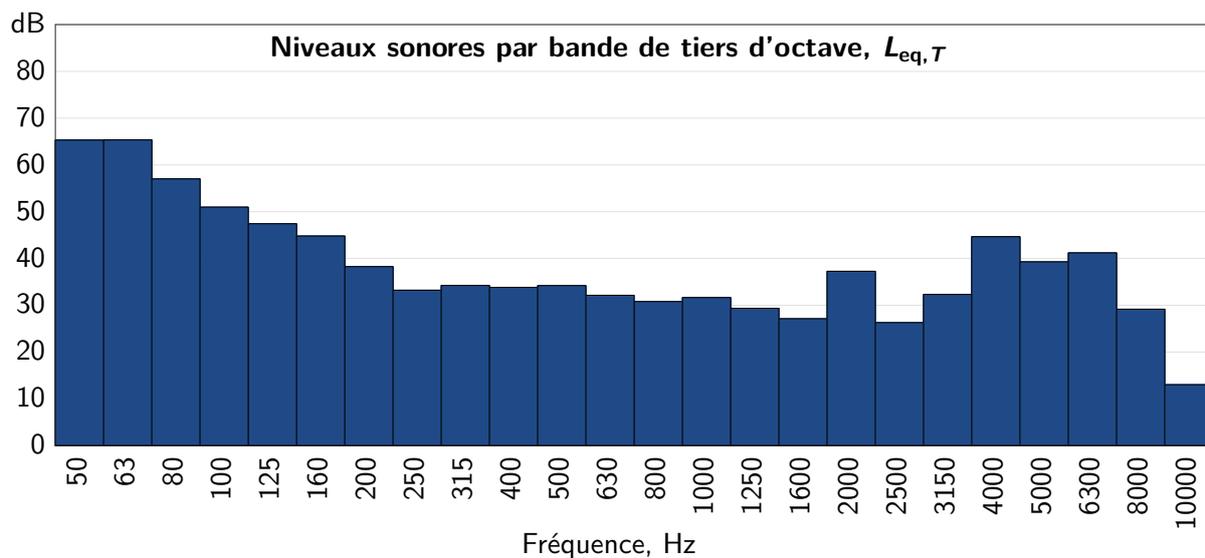
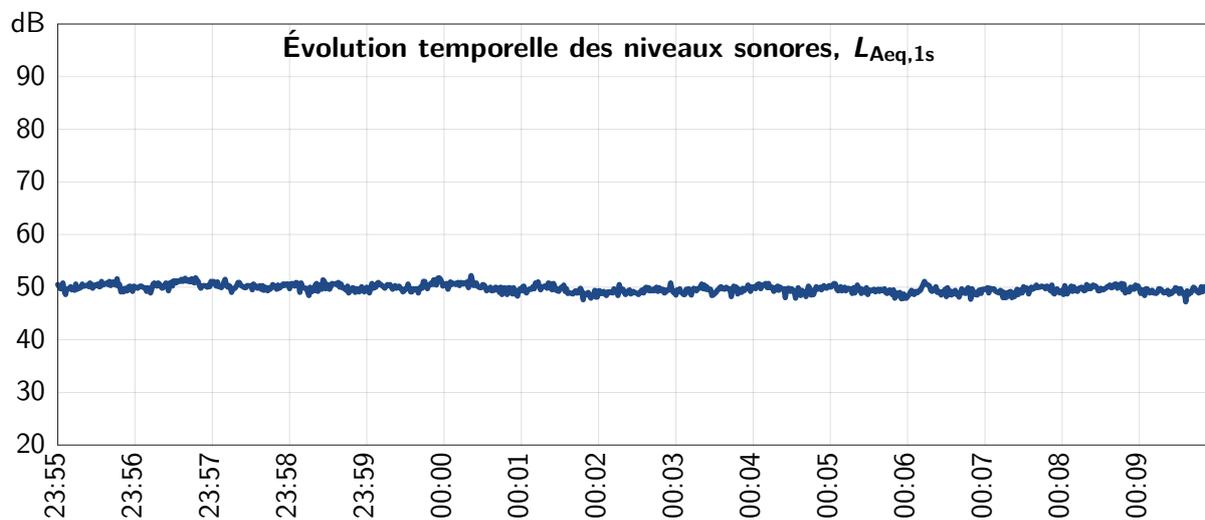
3.4.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.4.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



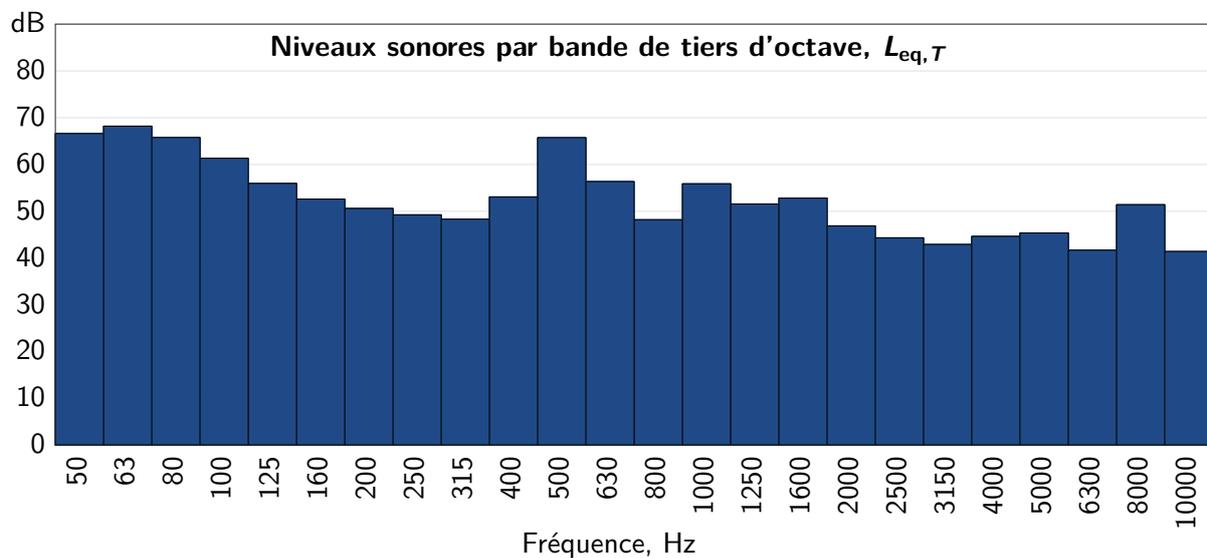
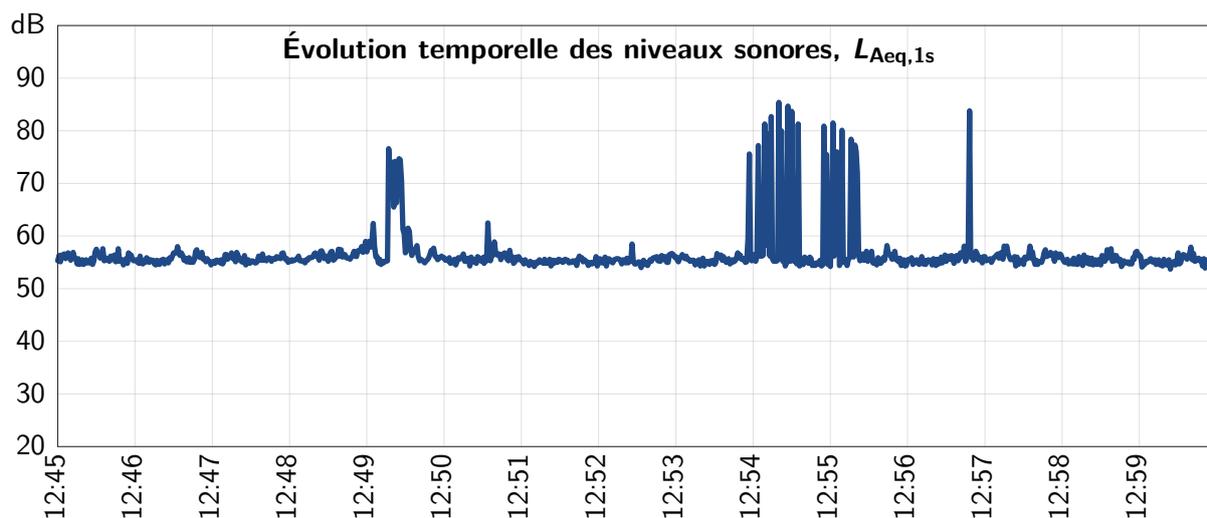
3.4.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 29 octobre 2018



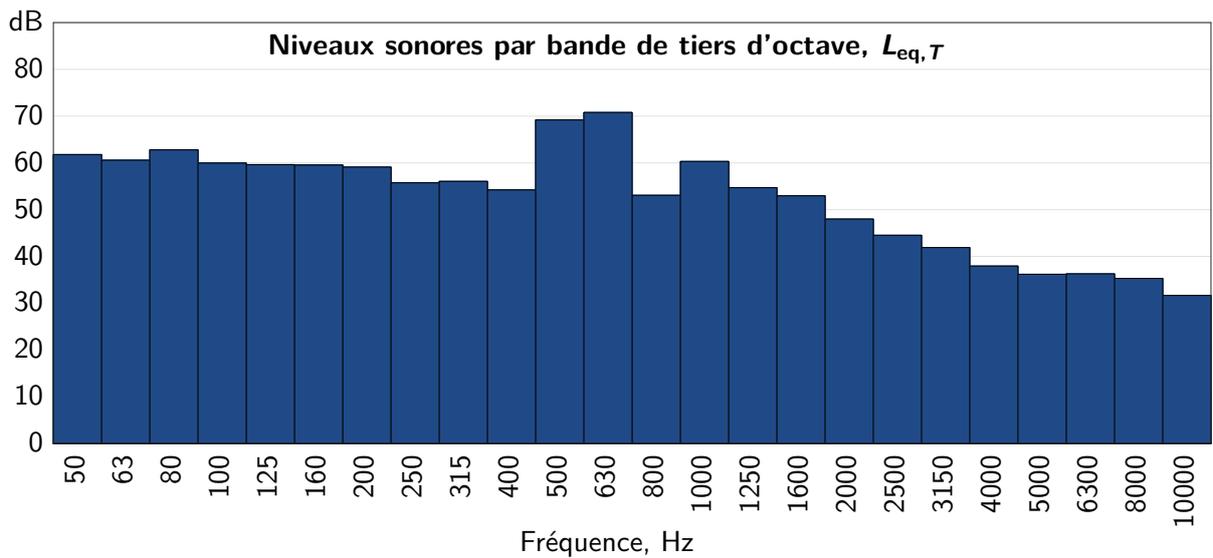
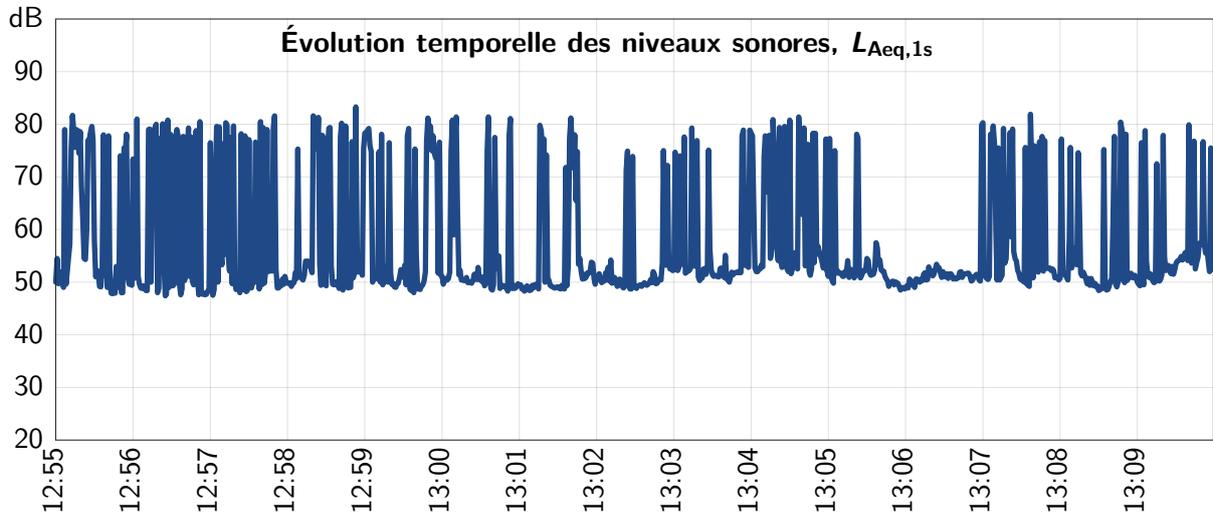
3.5 BO11 – Point 5 : Au niveau du riverain n° 1



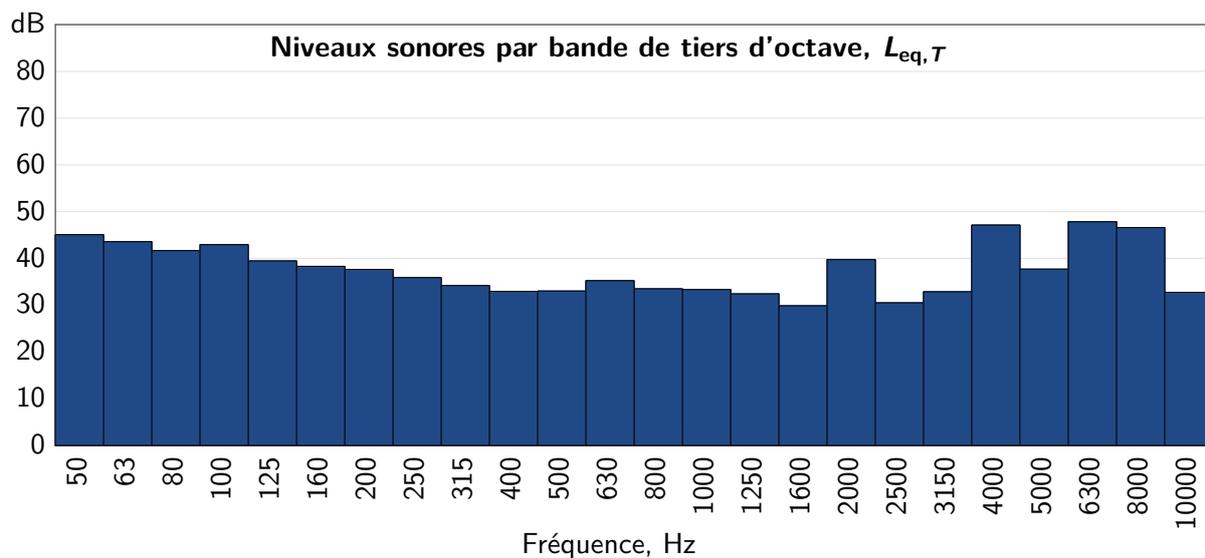
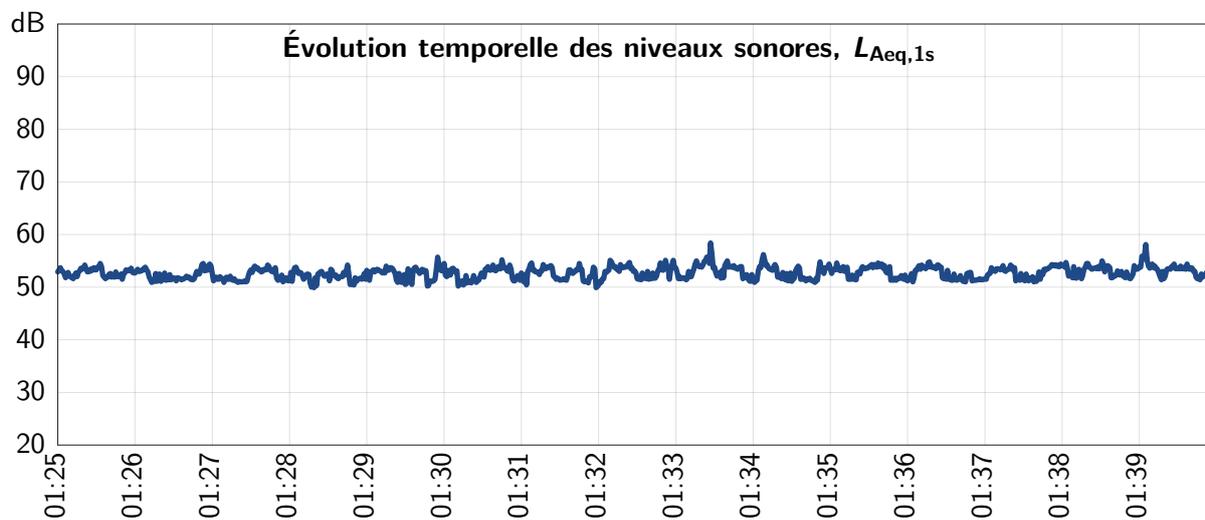
3.5.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



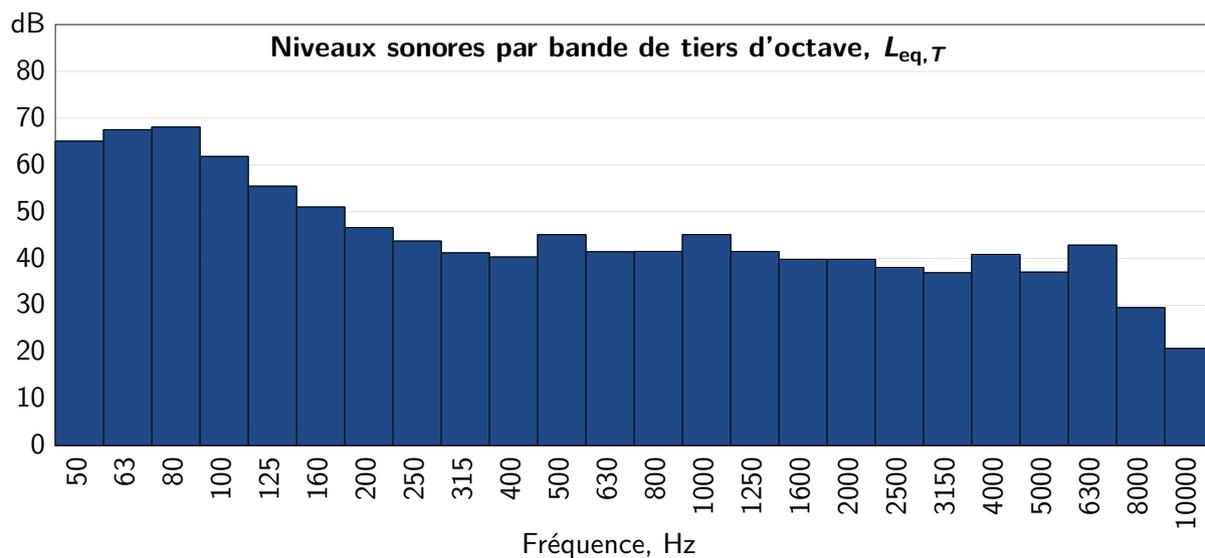
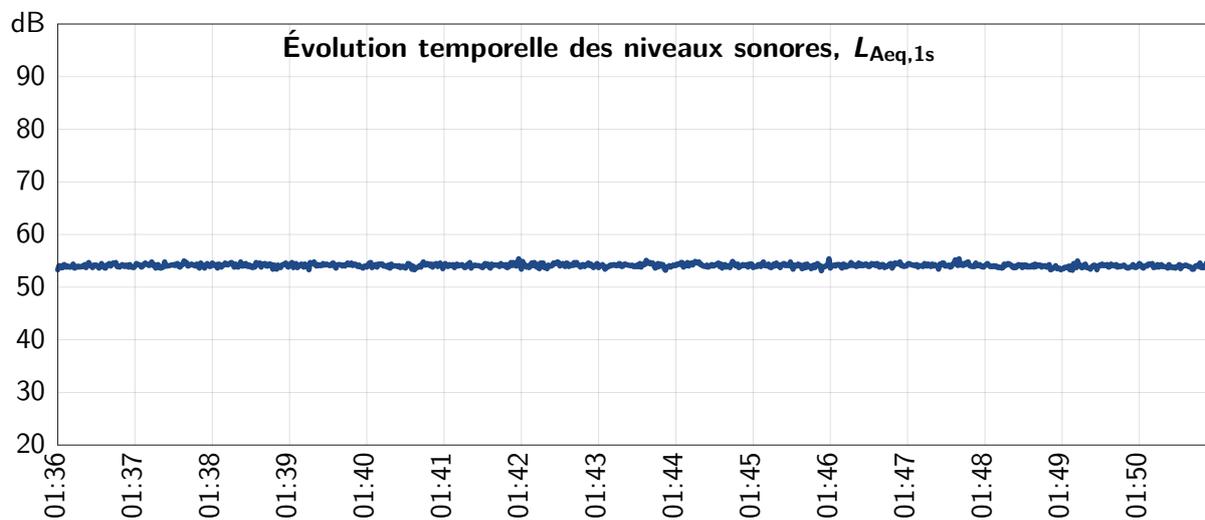
3.5.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.5.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



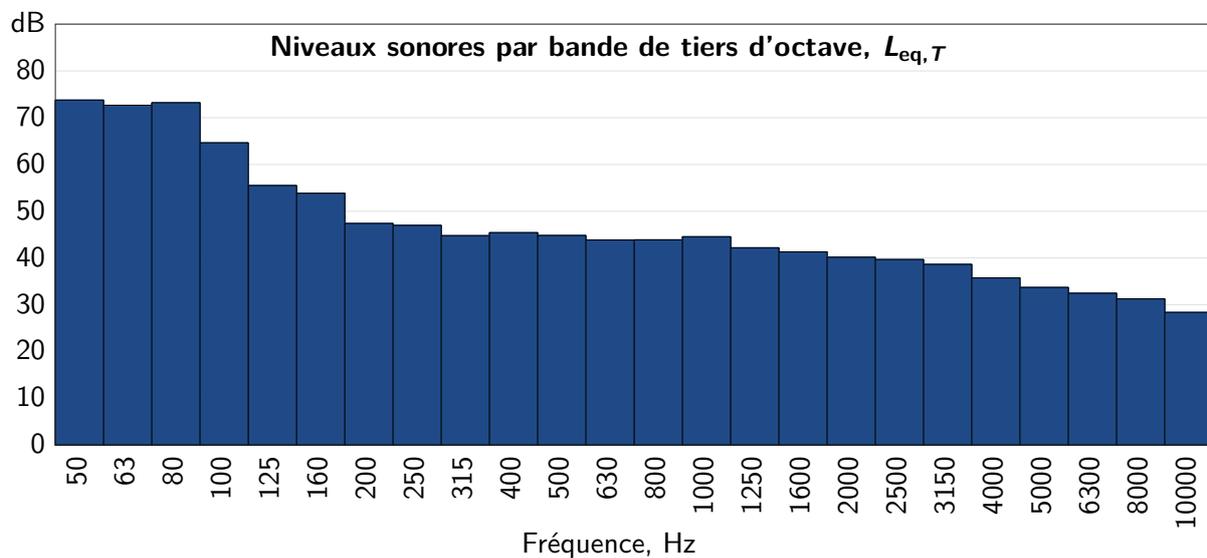
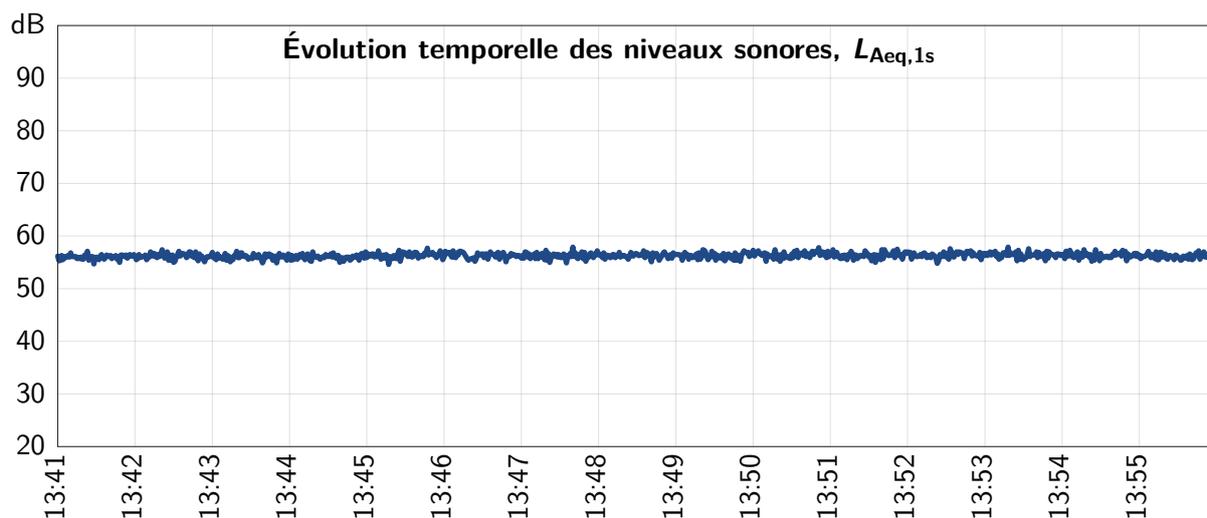
3.5.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



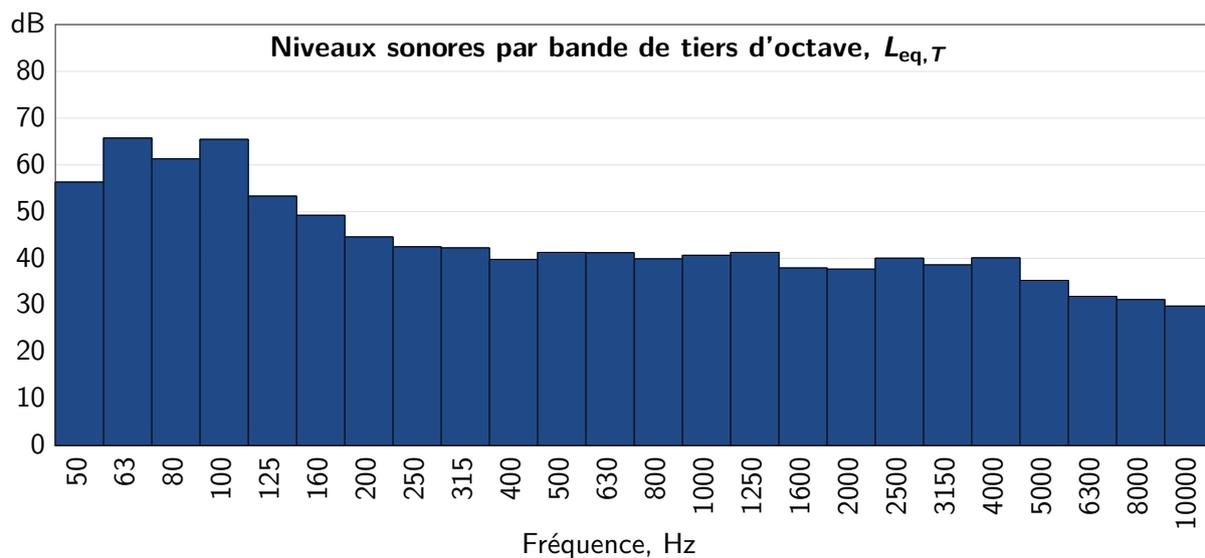
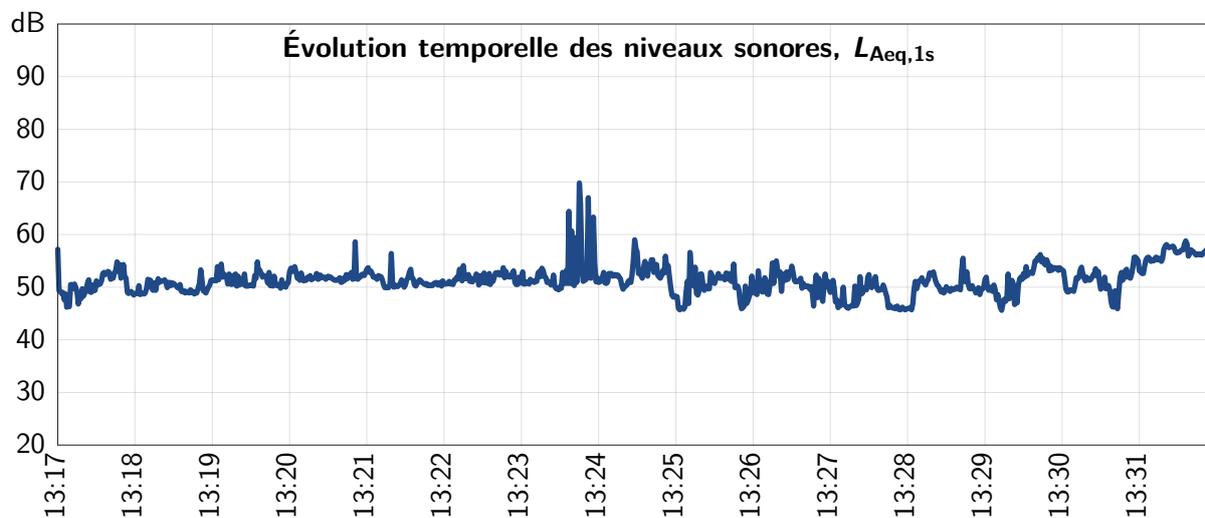
3.6 BO11 – Point 6 : Au niveau riverain n° 2



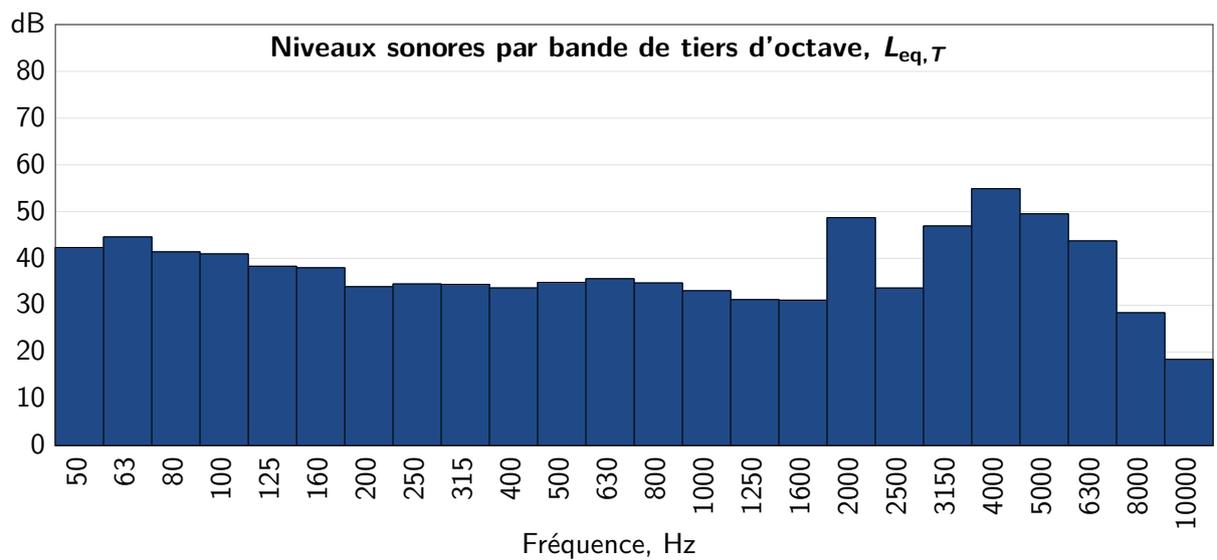
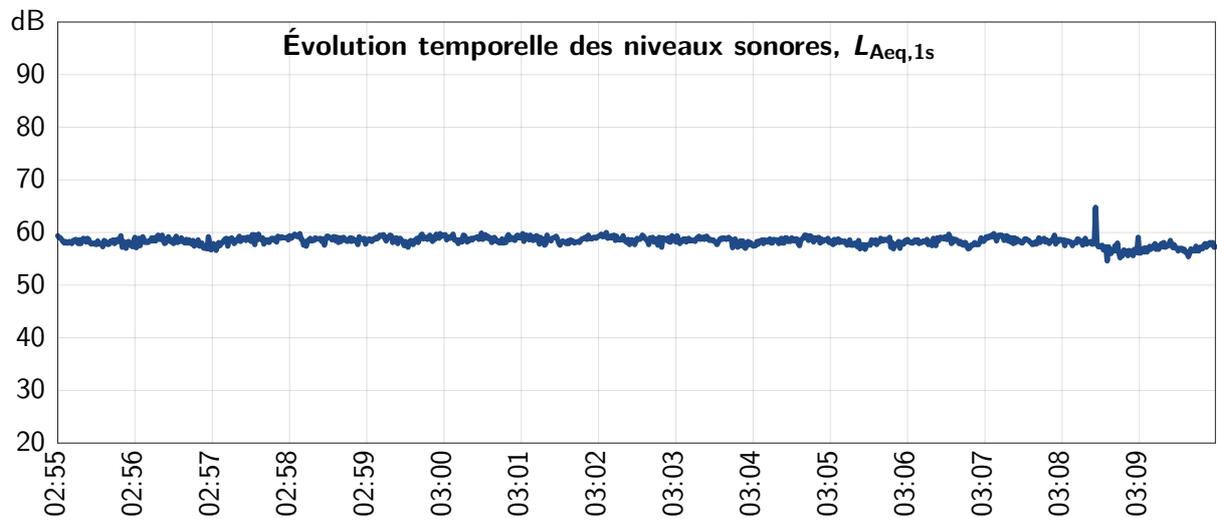
3.6.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



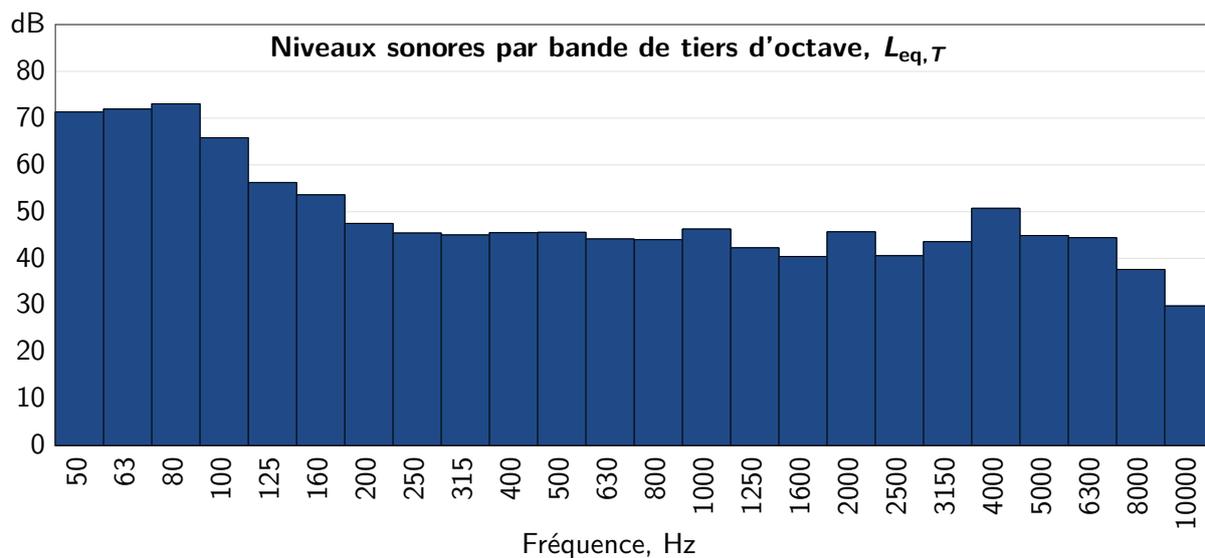
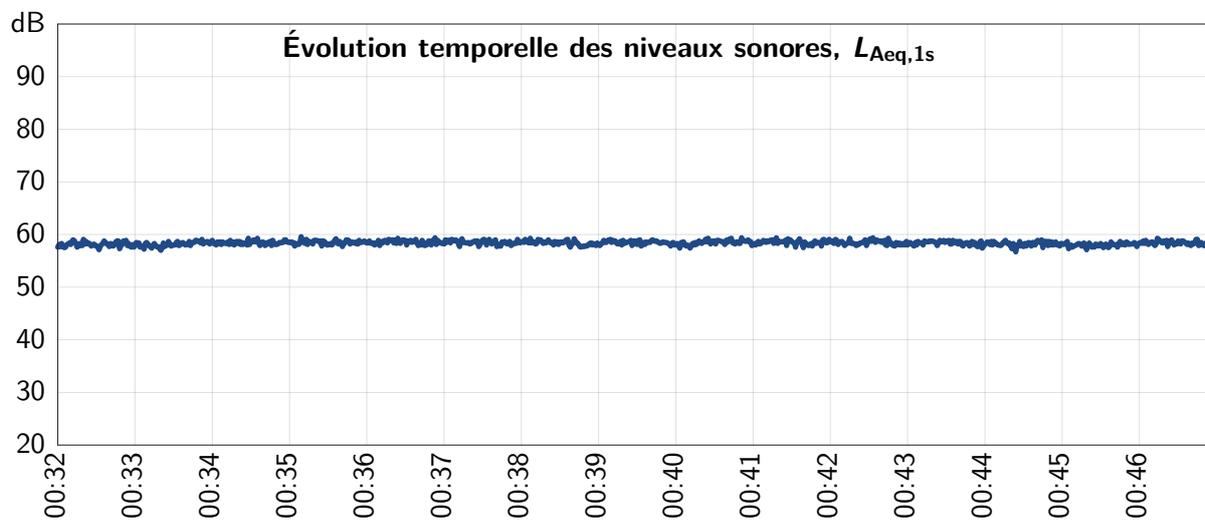
3.6.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



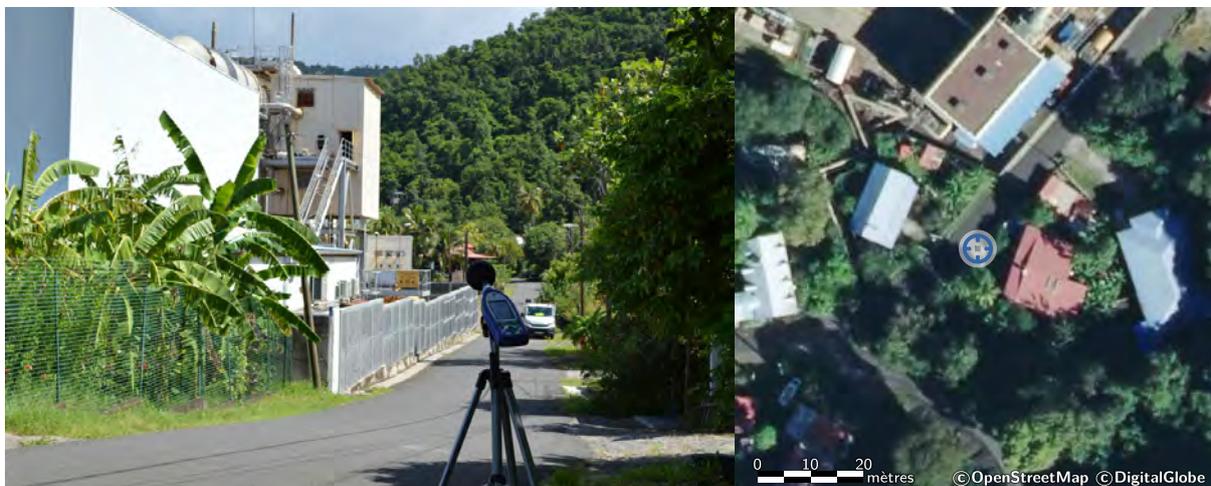
3.6.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



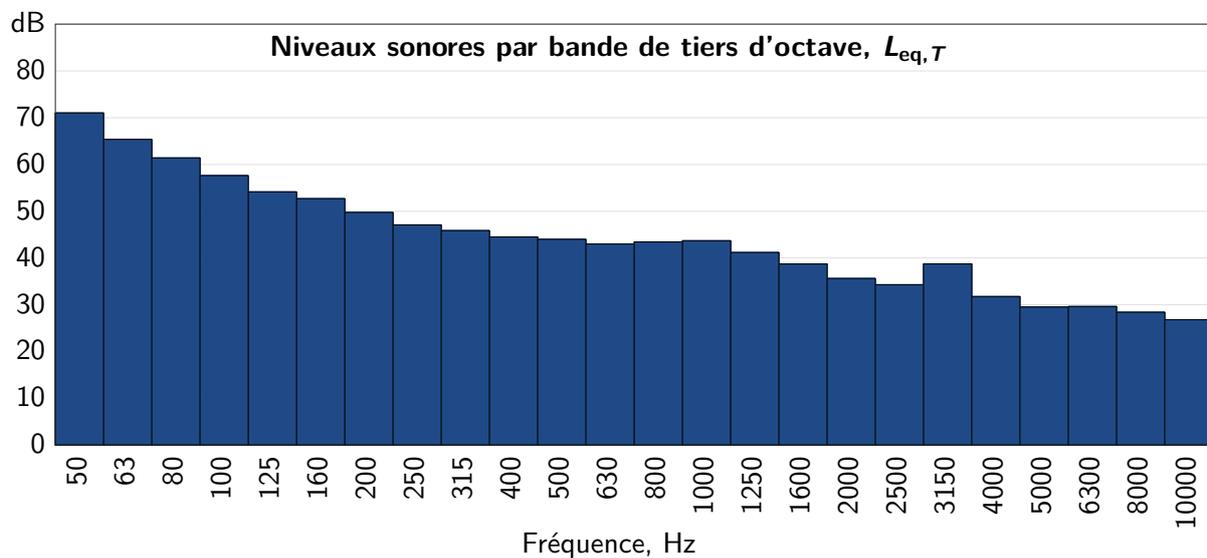
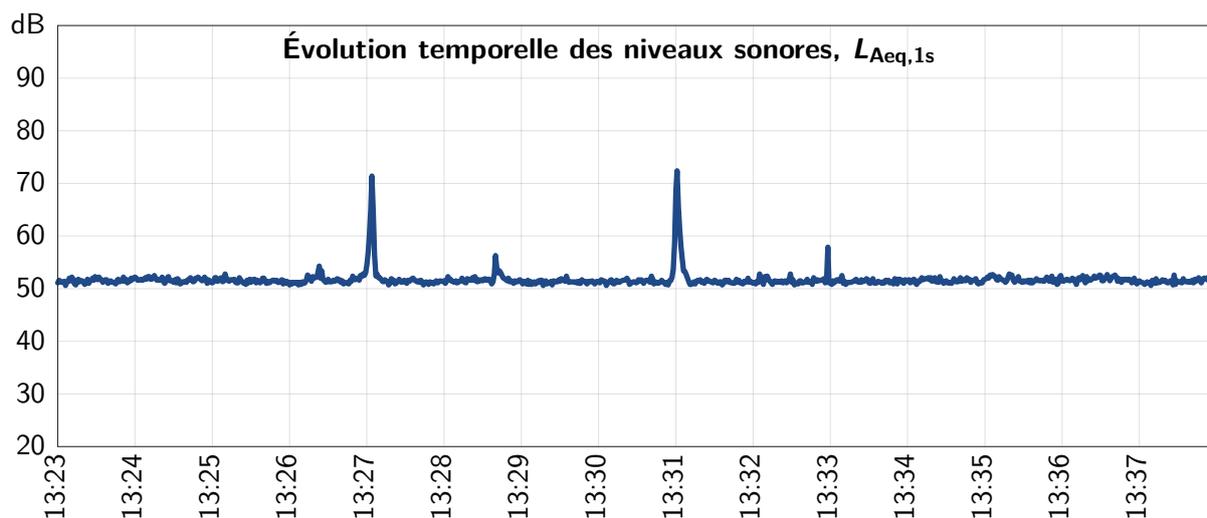
3.6.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



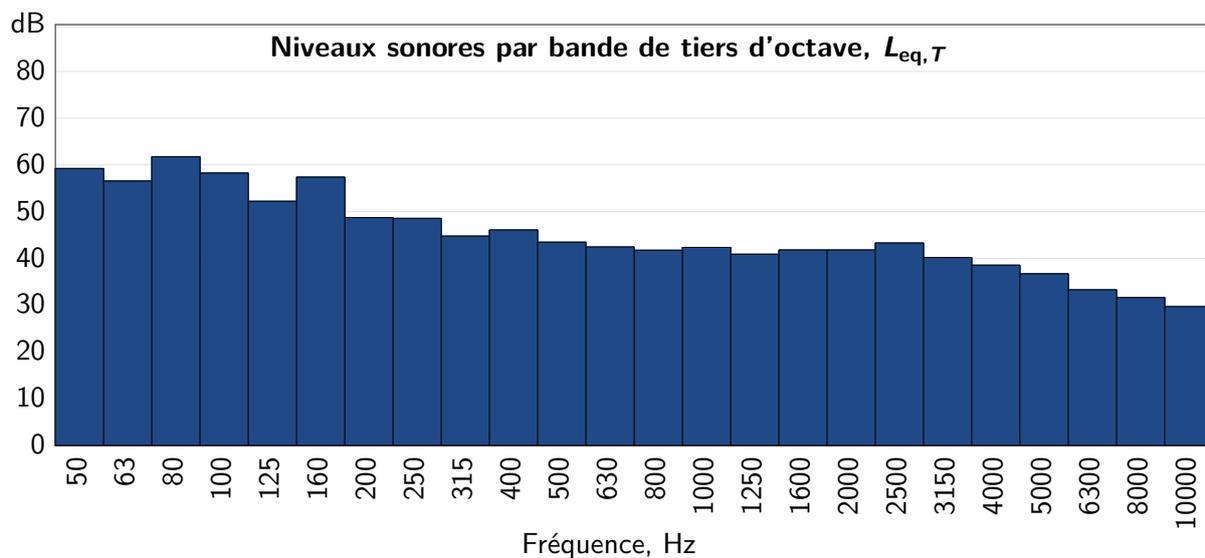
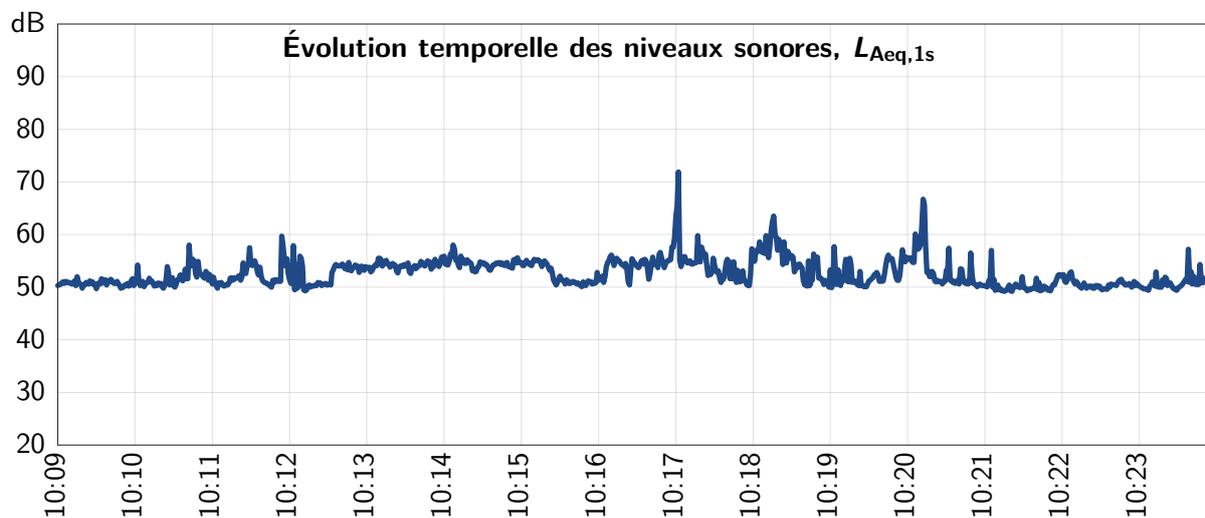
3.7 BO11 – Point 7 : Route au niveau riverain n° 19



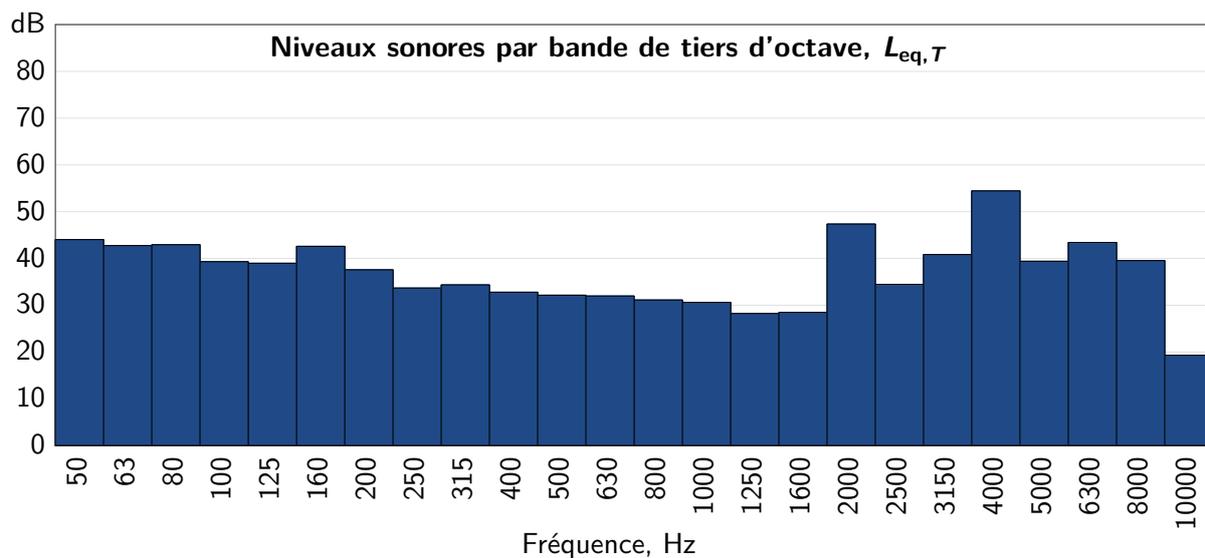
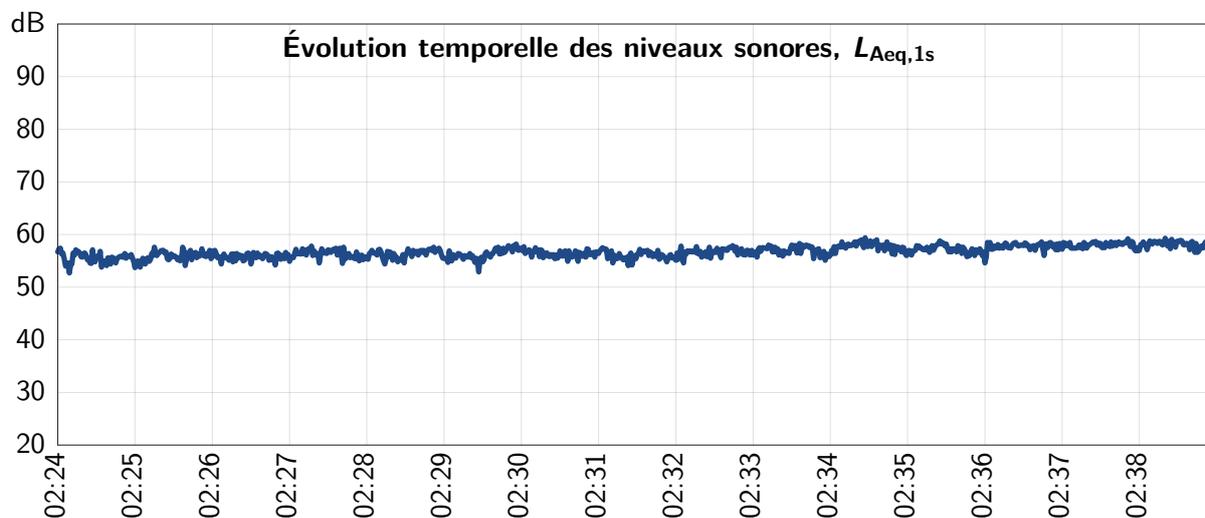
3.7.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



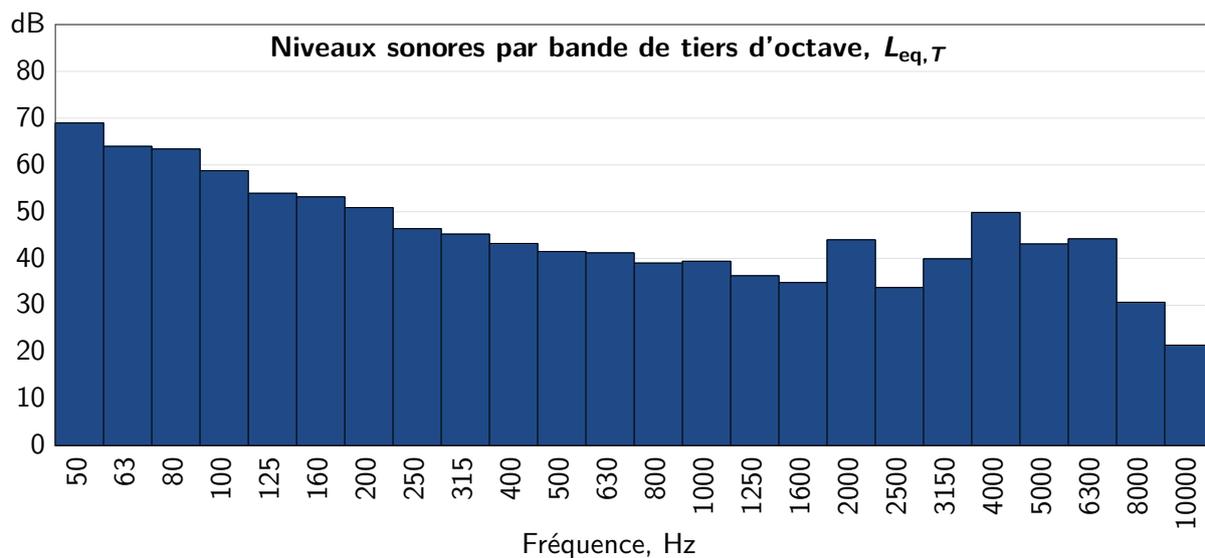
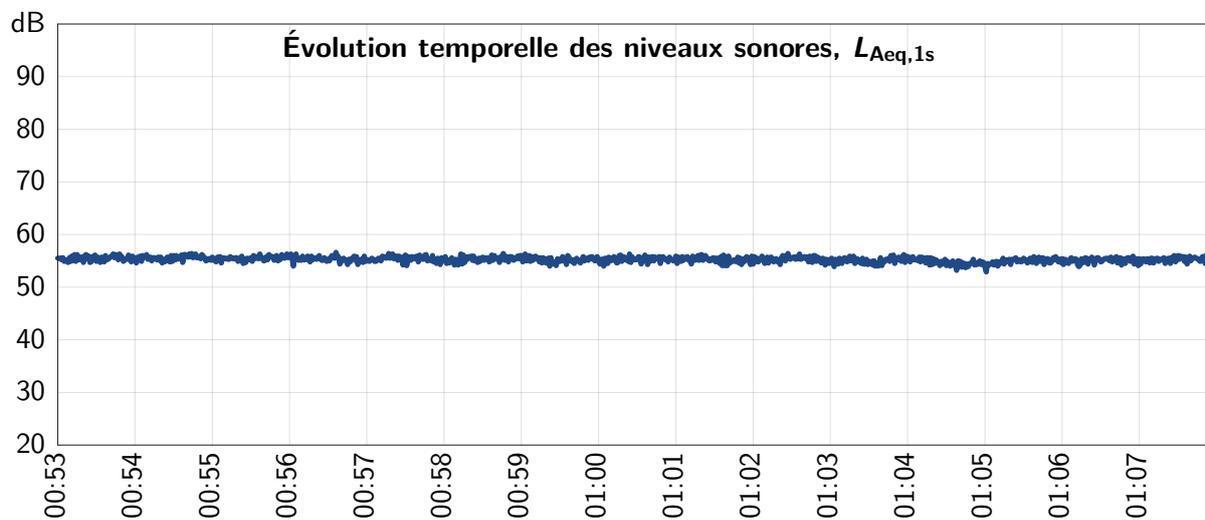
3.7.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.7.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



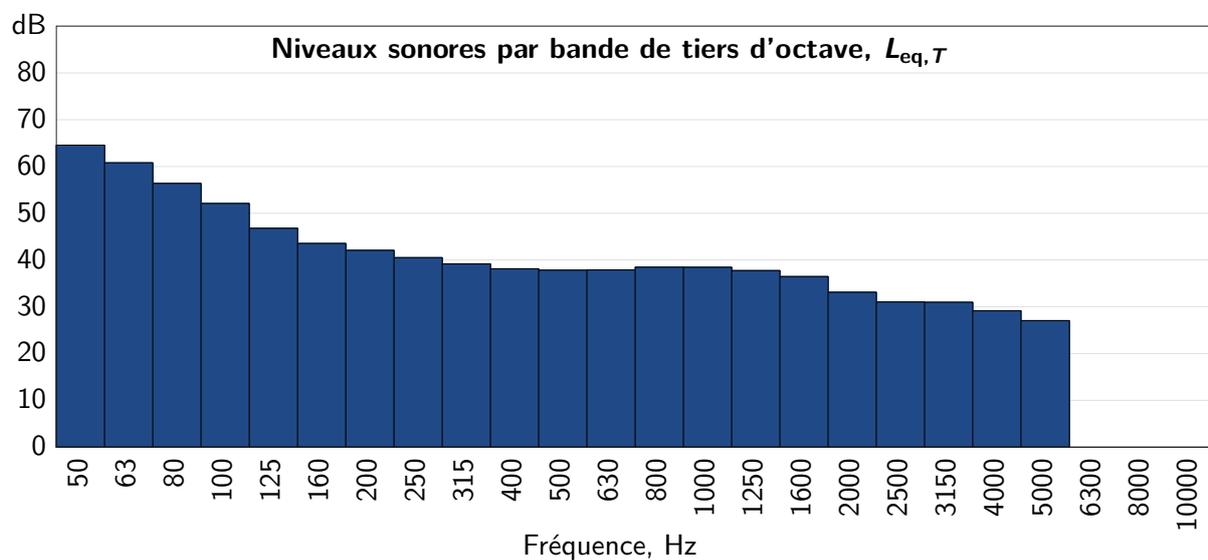
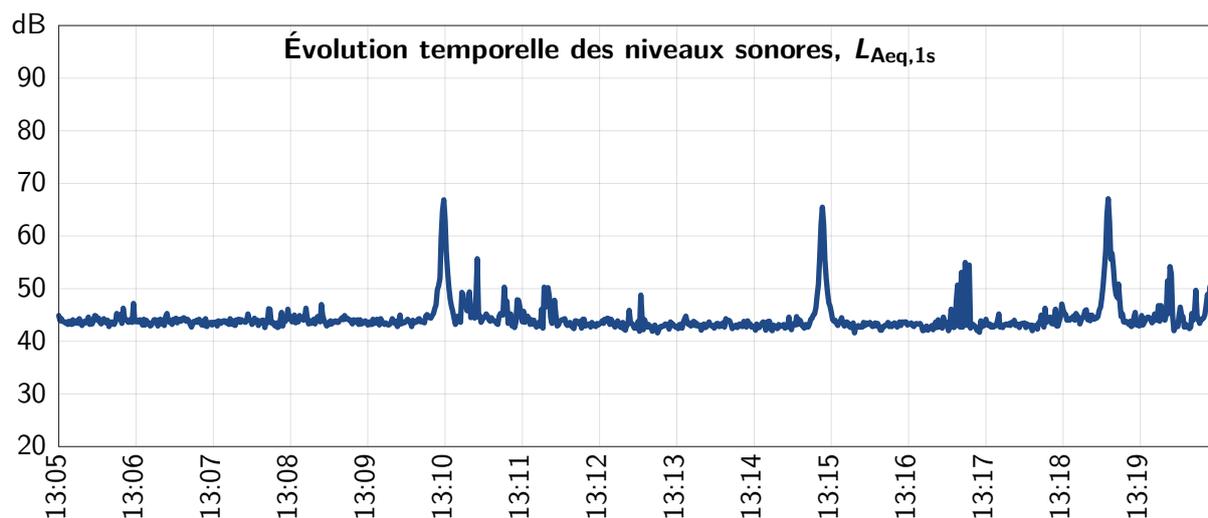
3.7.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



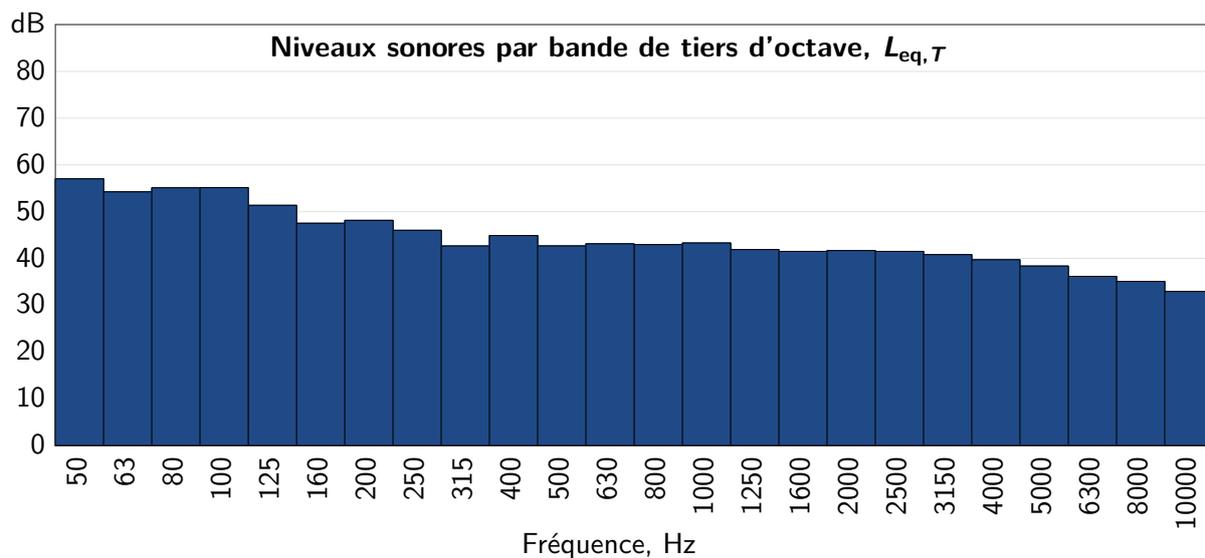
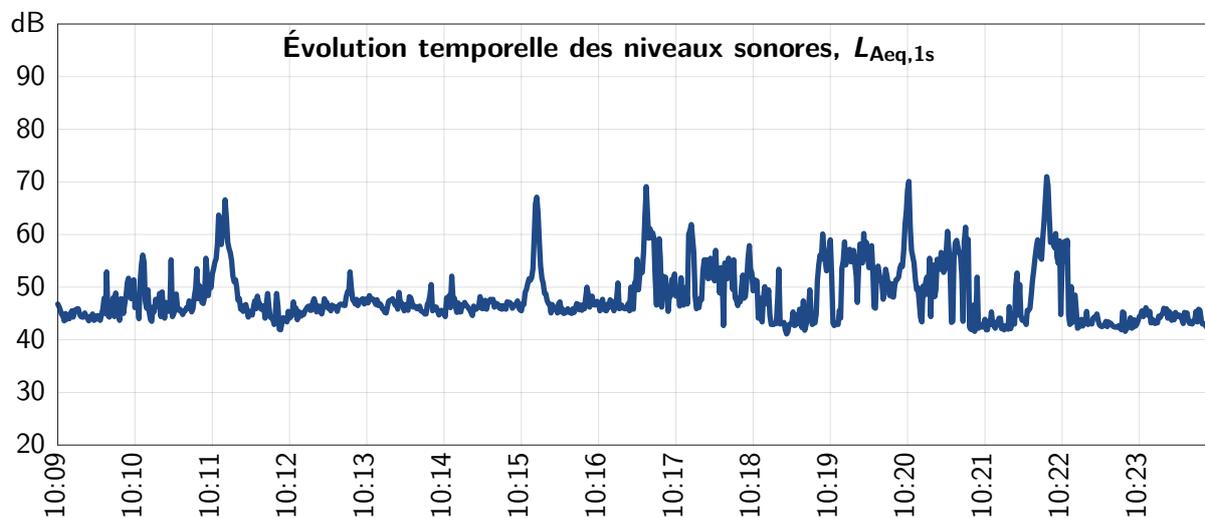
3.8 BO11 – Point 8 : Route au niveau riverain n° 15



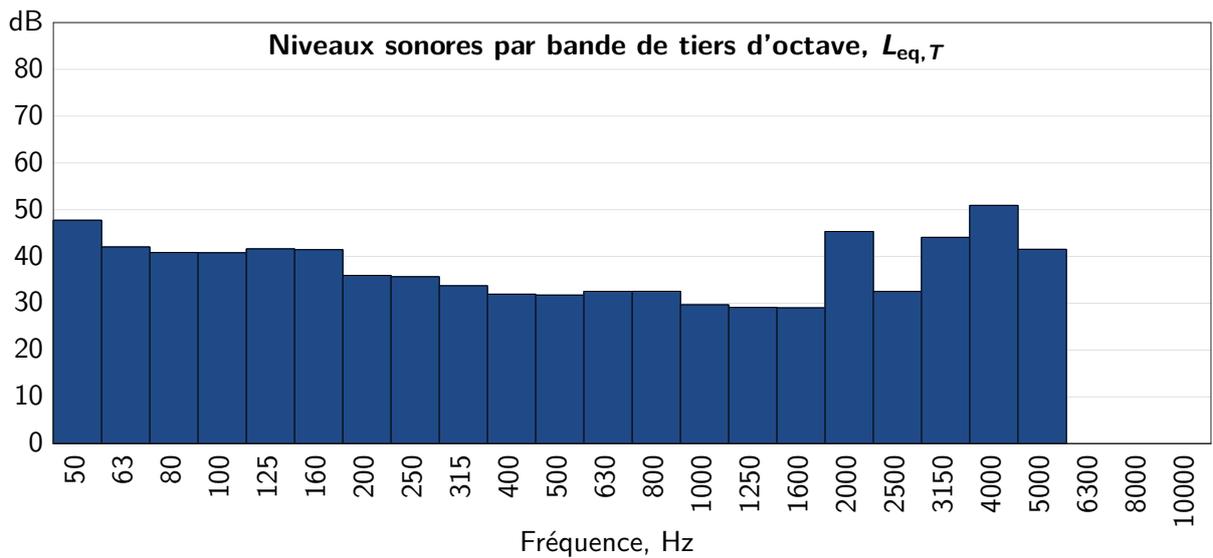
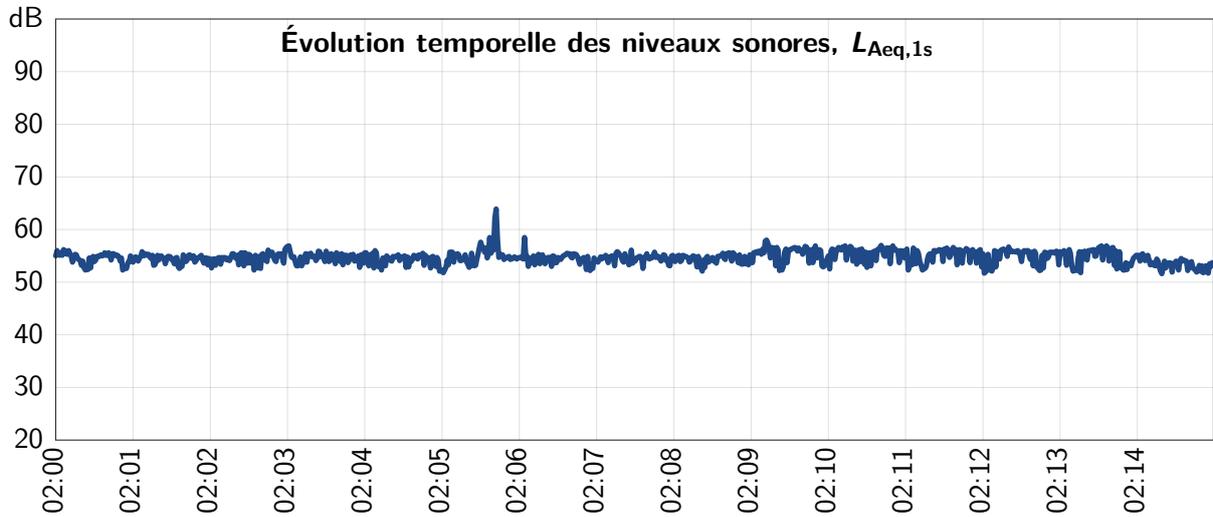
3.8.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



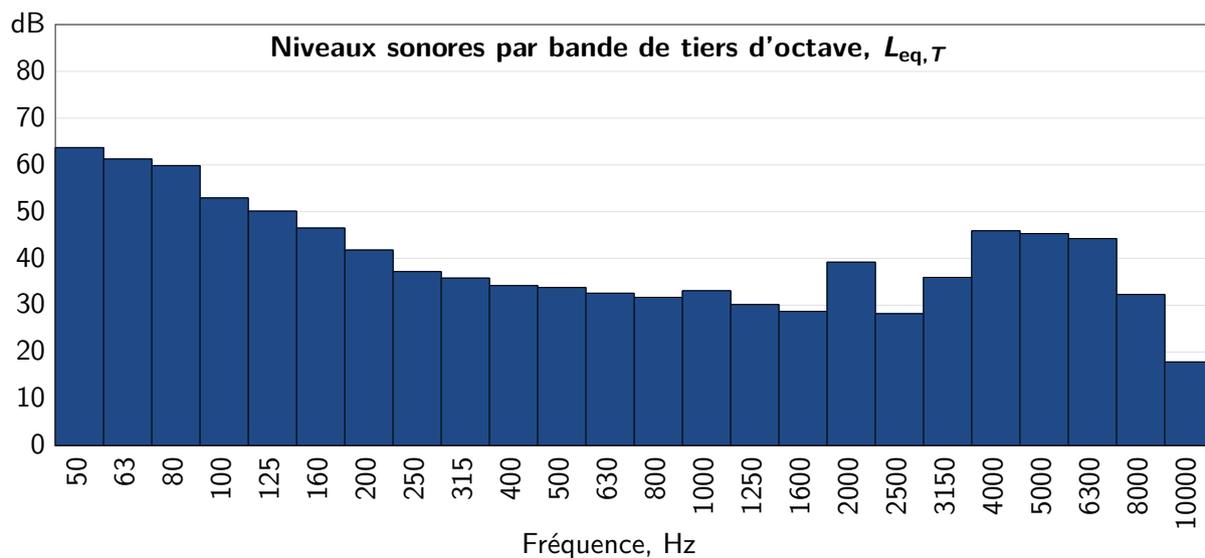
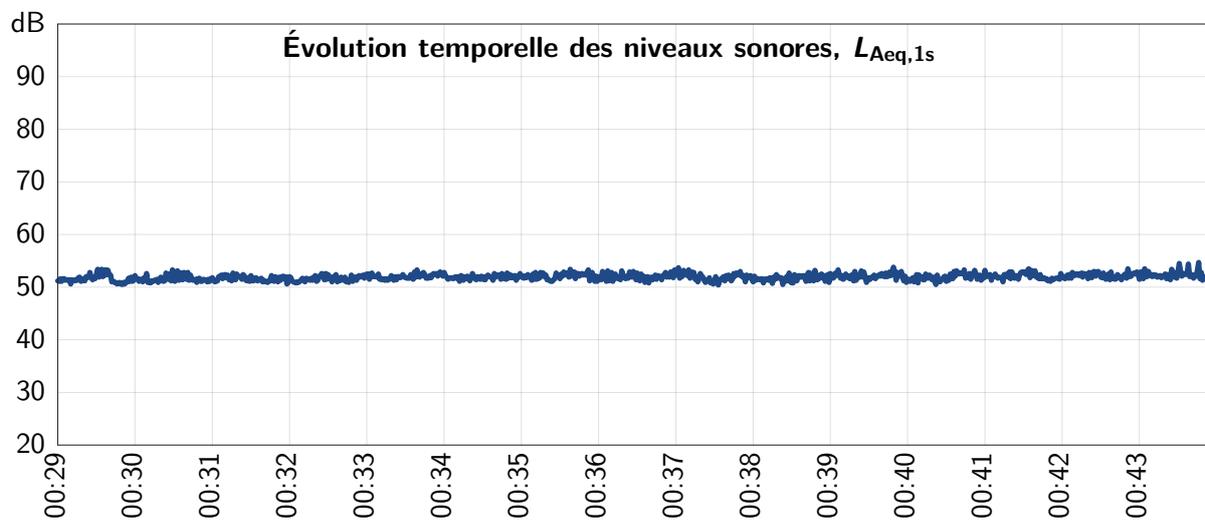
3.8.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



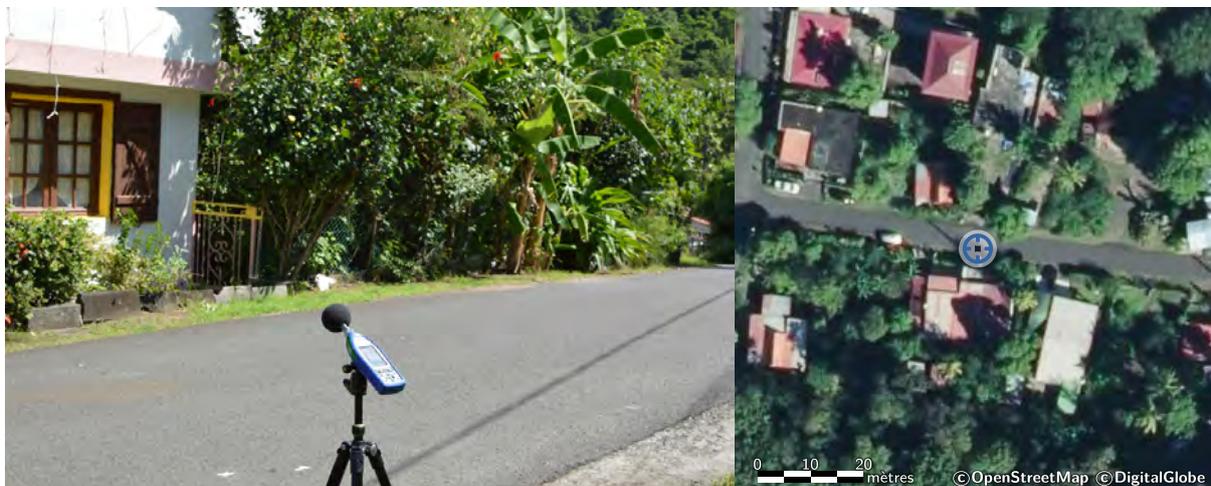
3.8.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



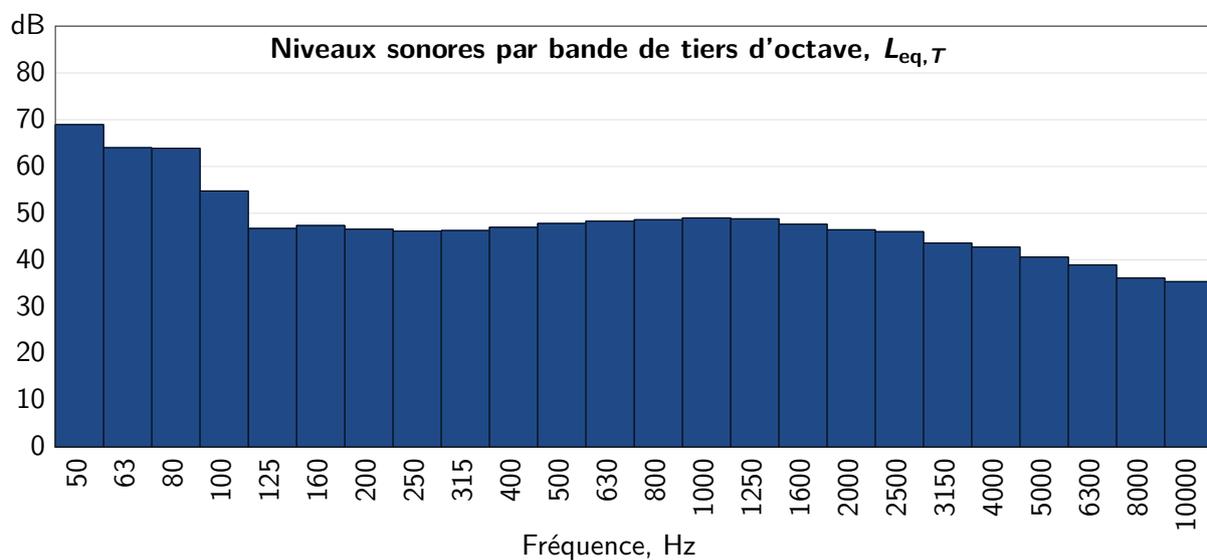
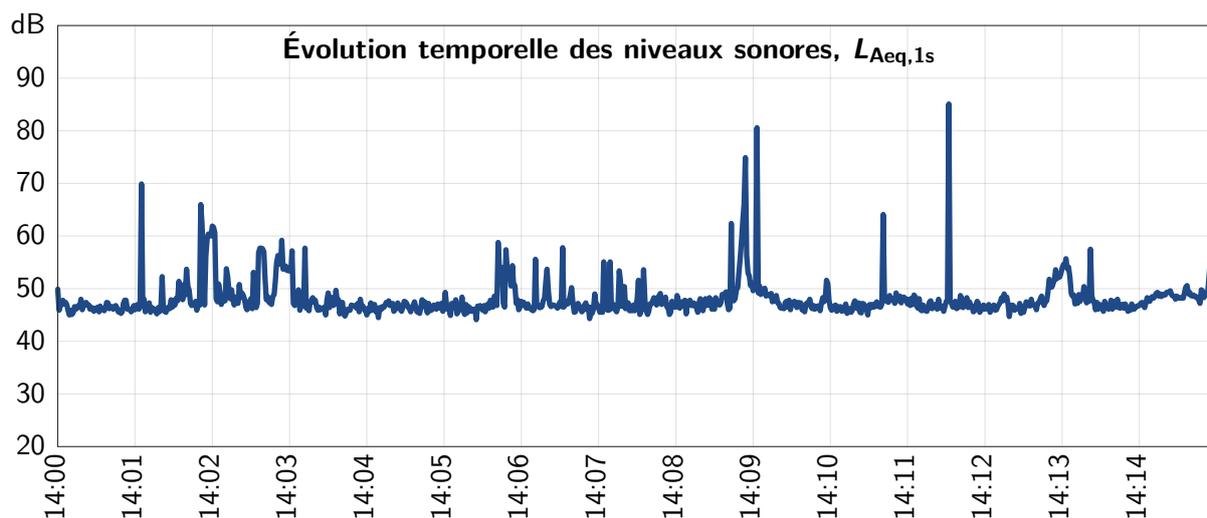
3.8.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



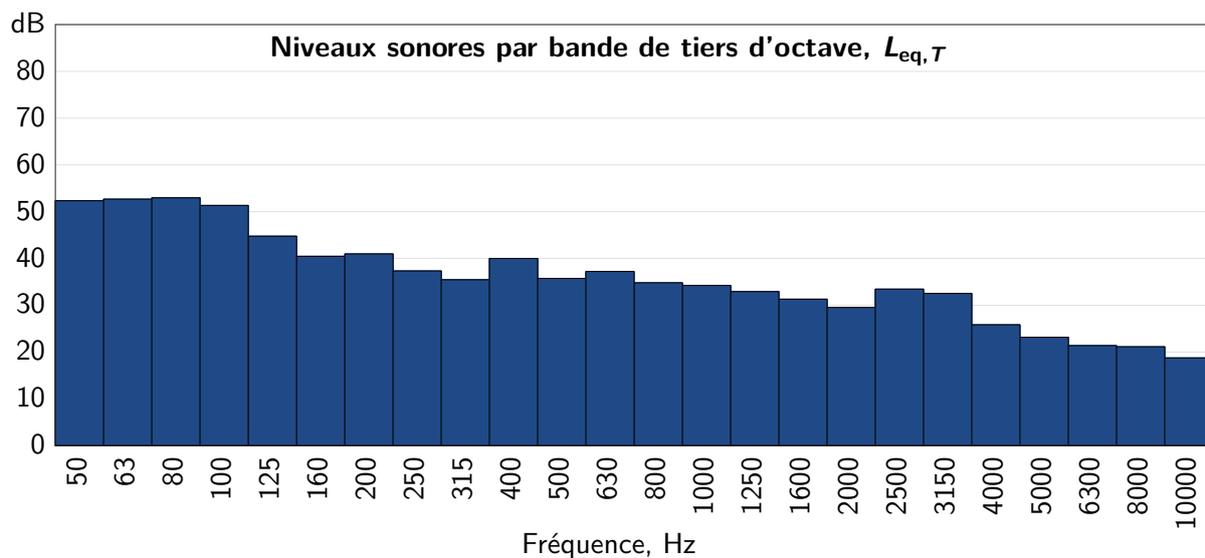
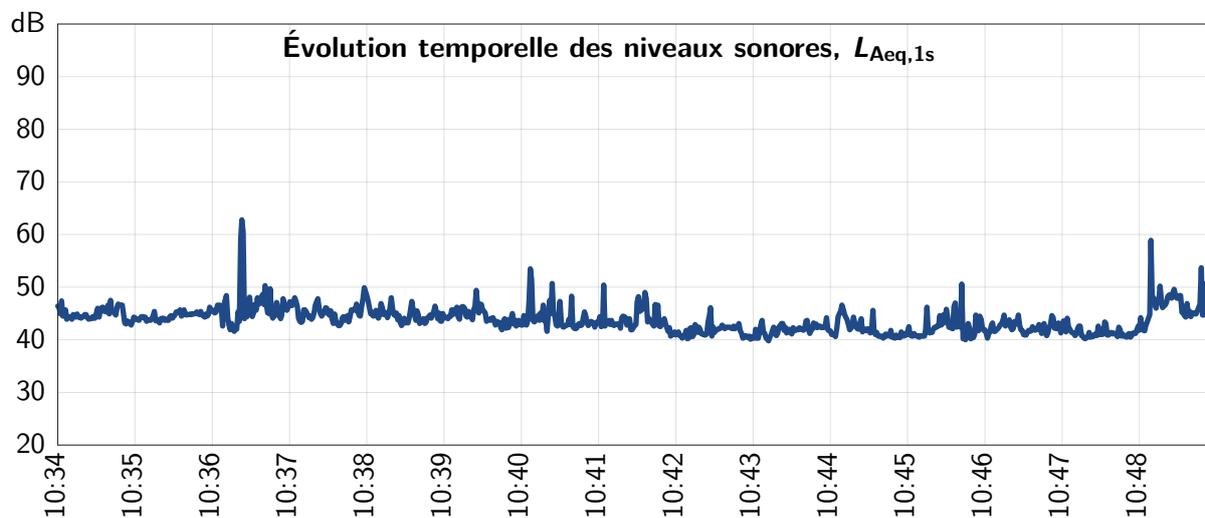
3.9 BO11 – Point 9 : Route au niveau riverain n° 13



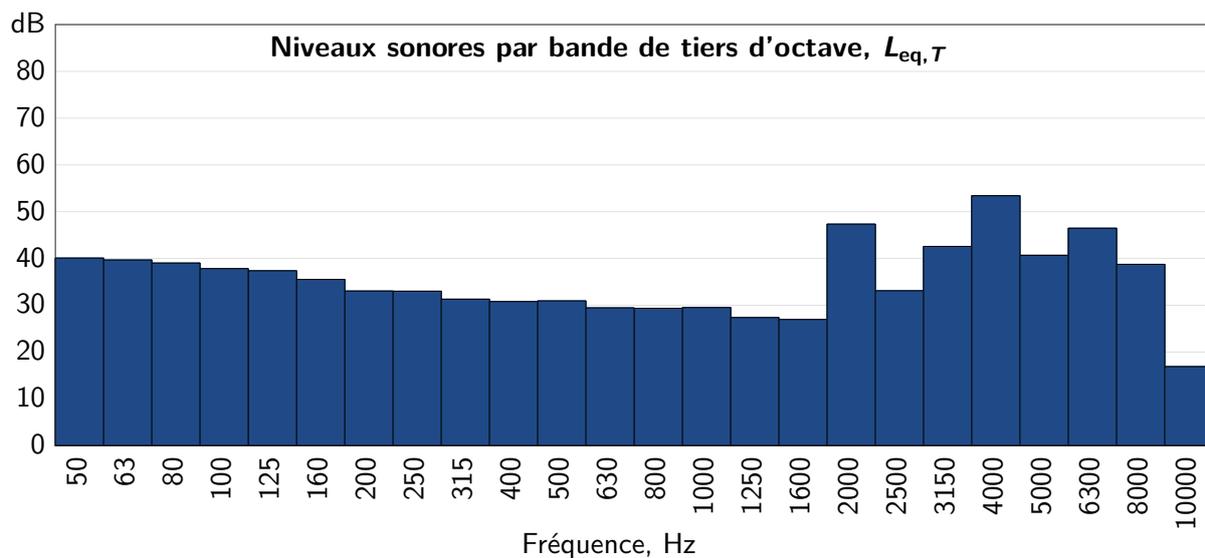
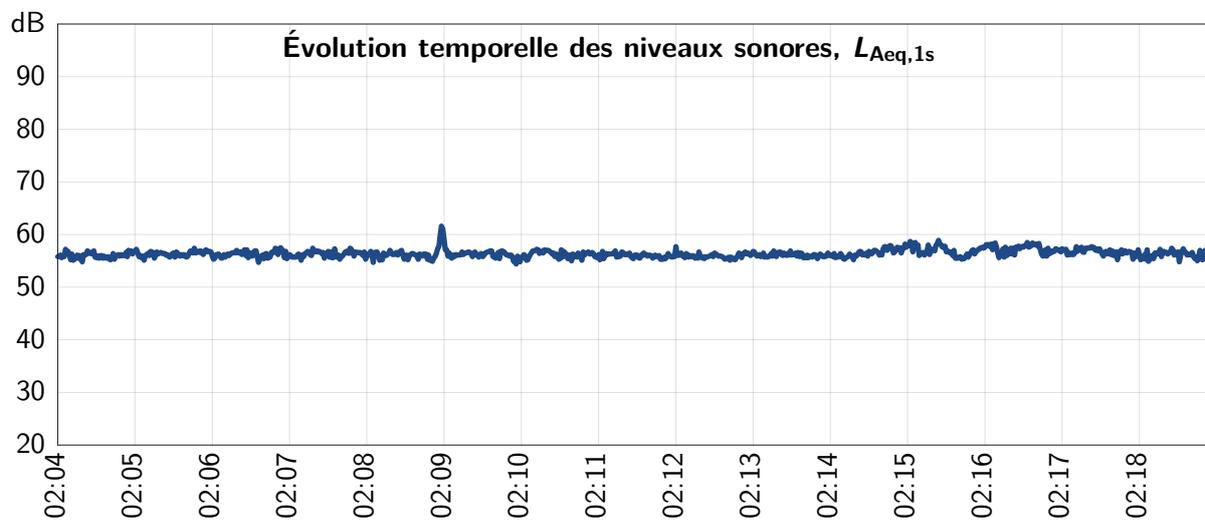
3.9.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



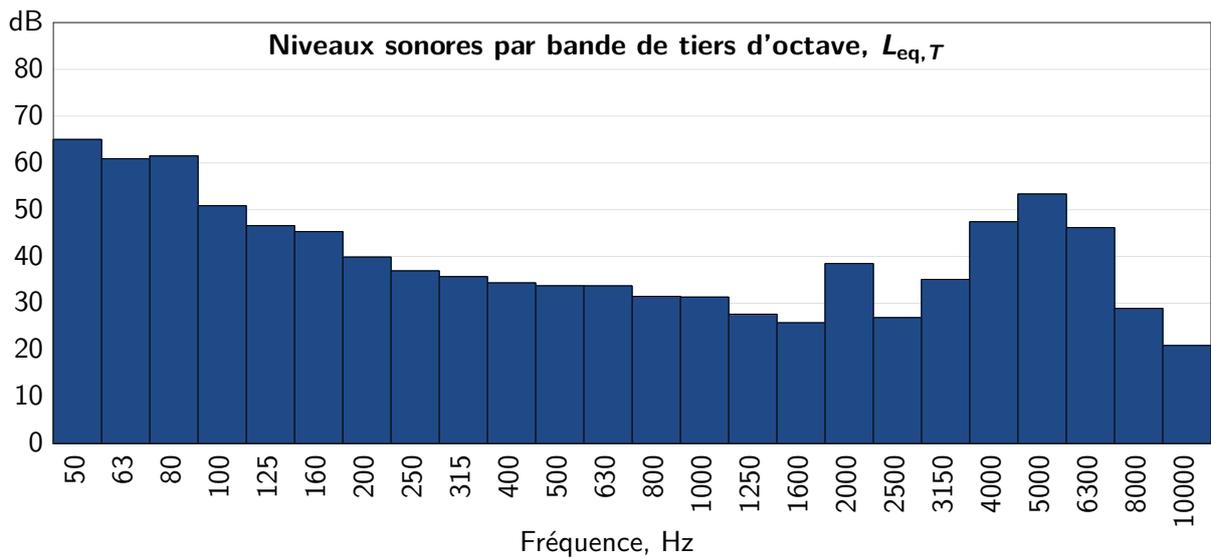
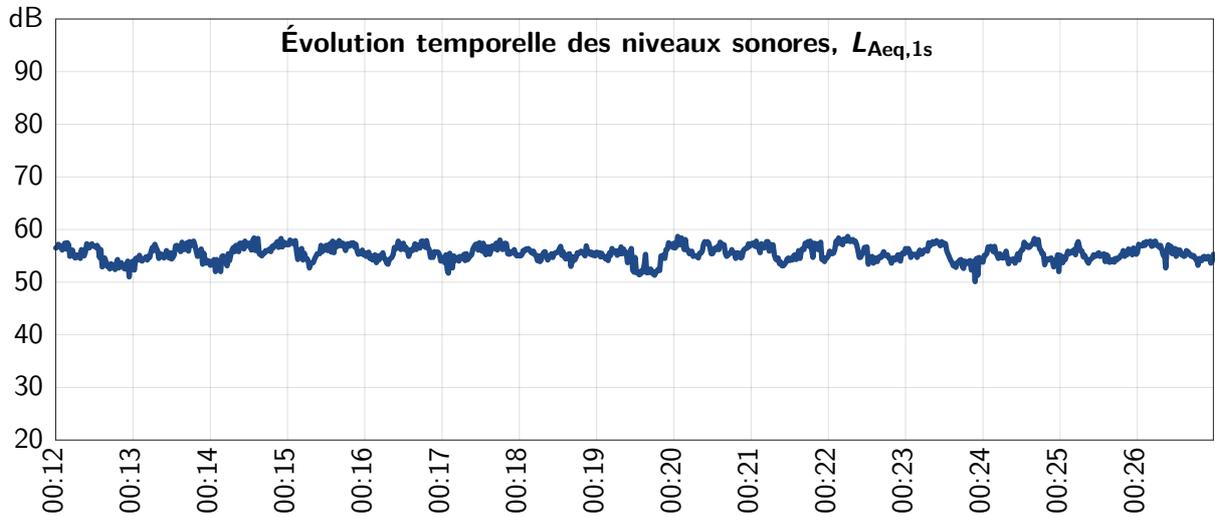
3.9.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.9.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



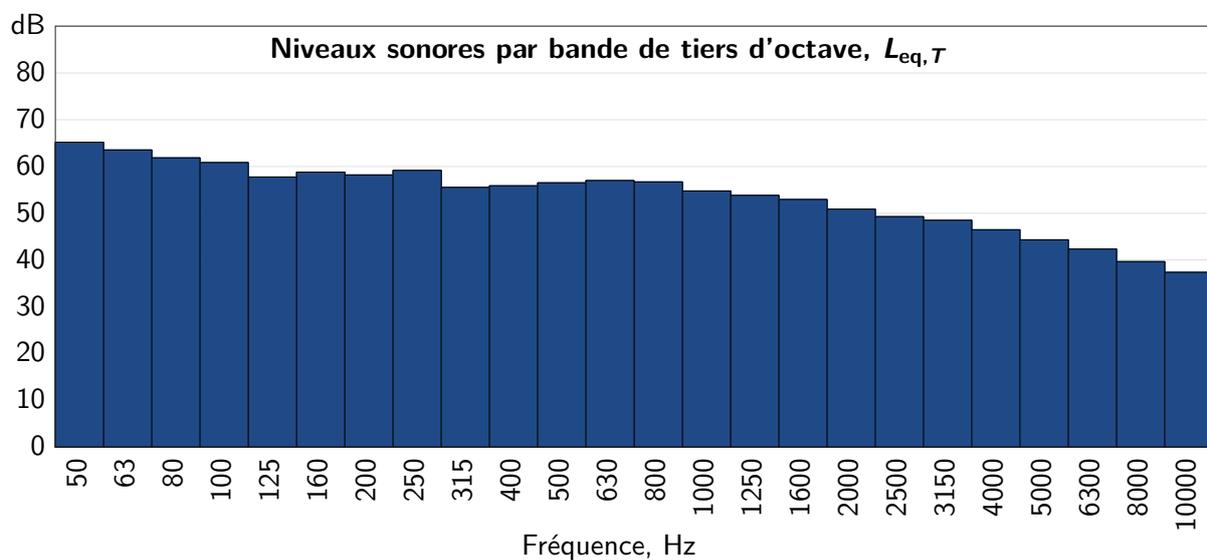
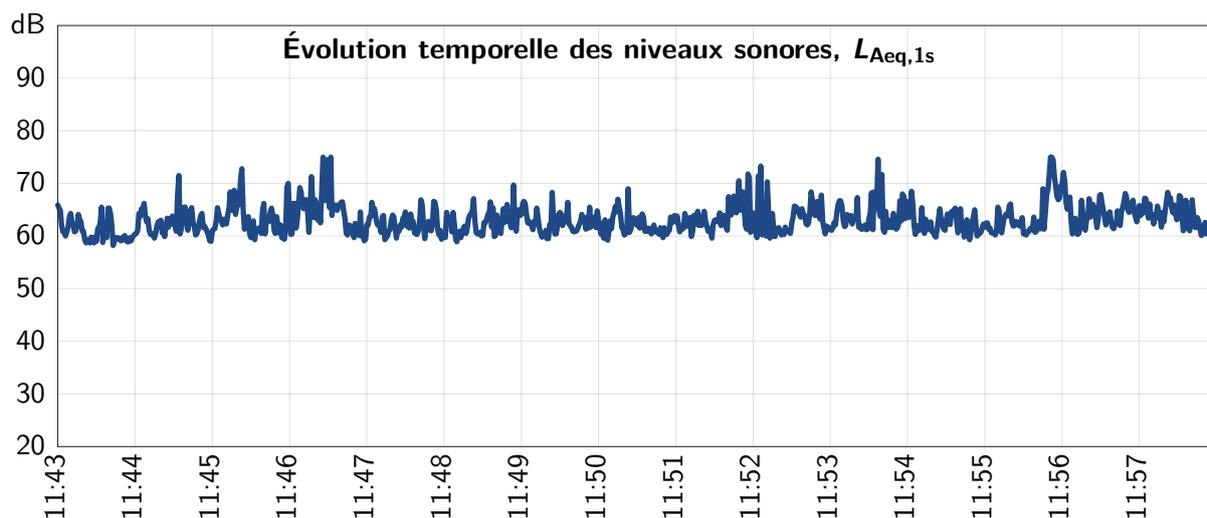
3.9.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



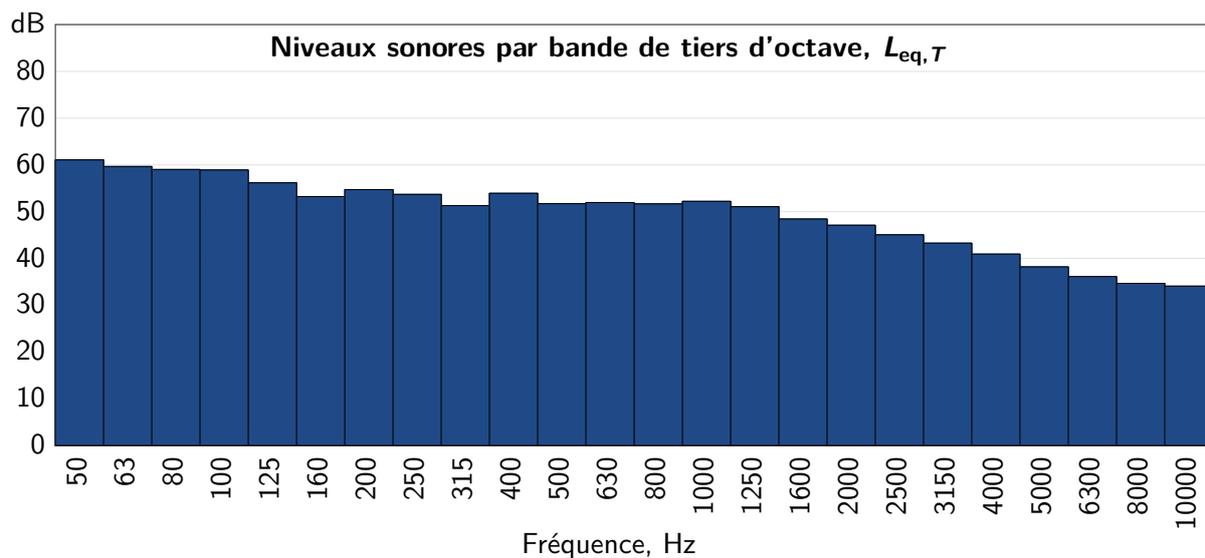
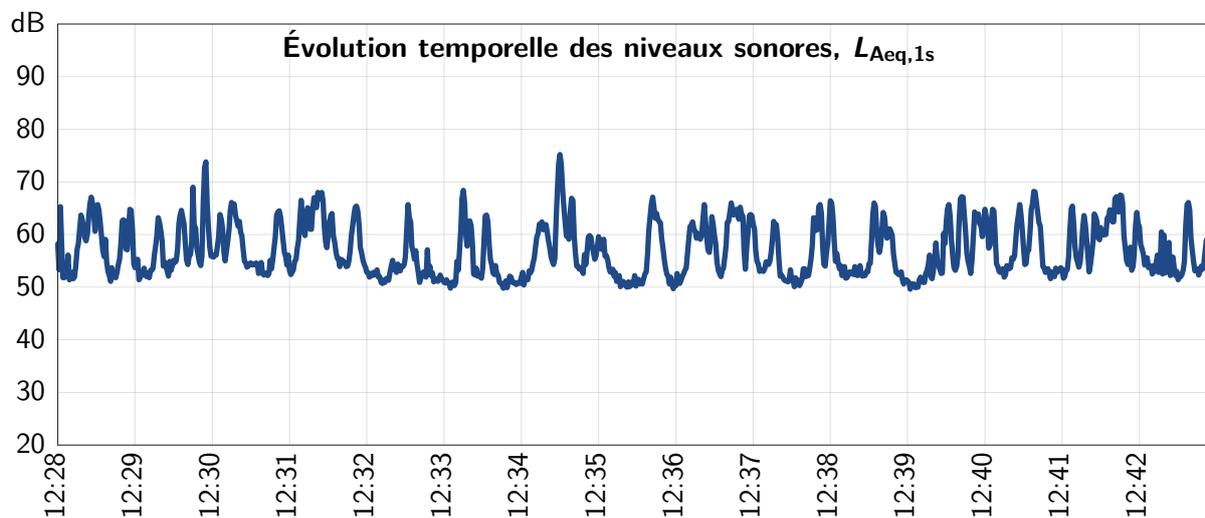
3.10 BO11 – Point 10 : Bar des sources chaudes



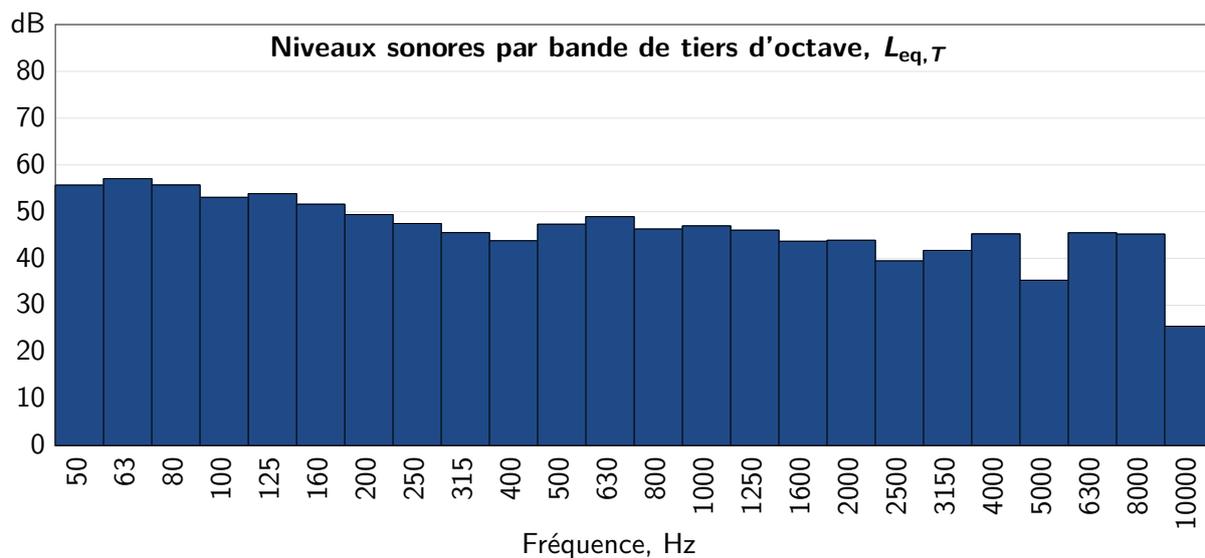
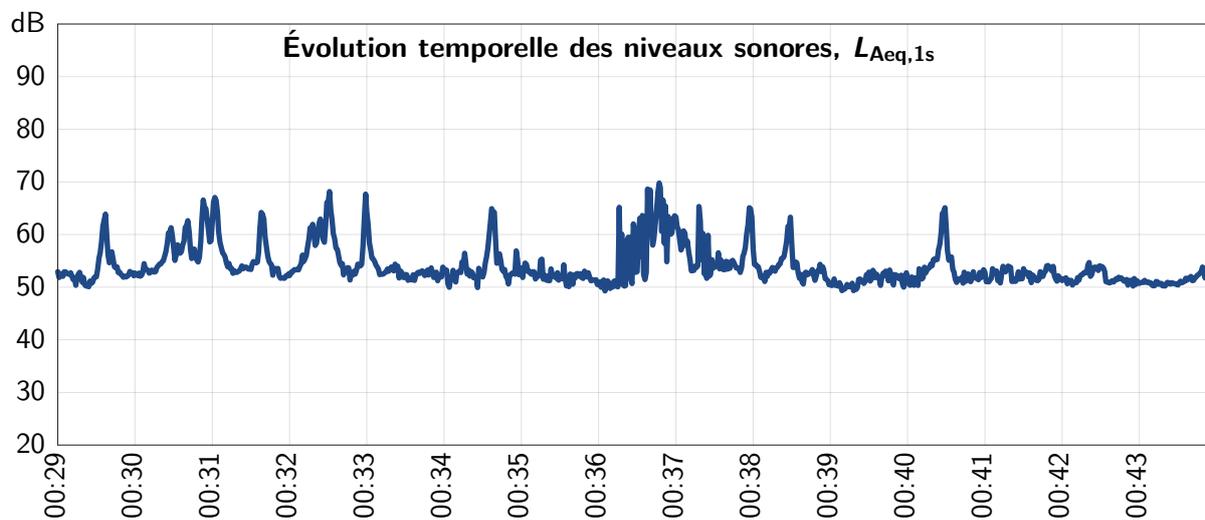
3.10.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



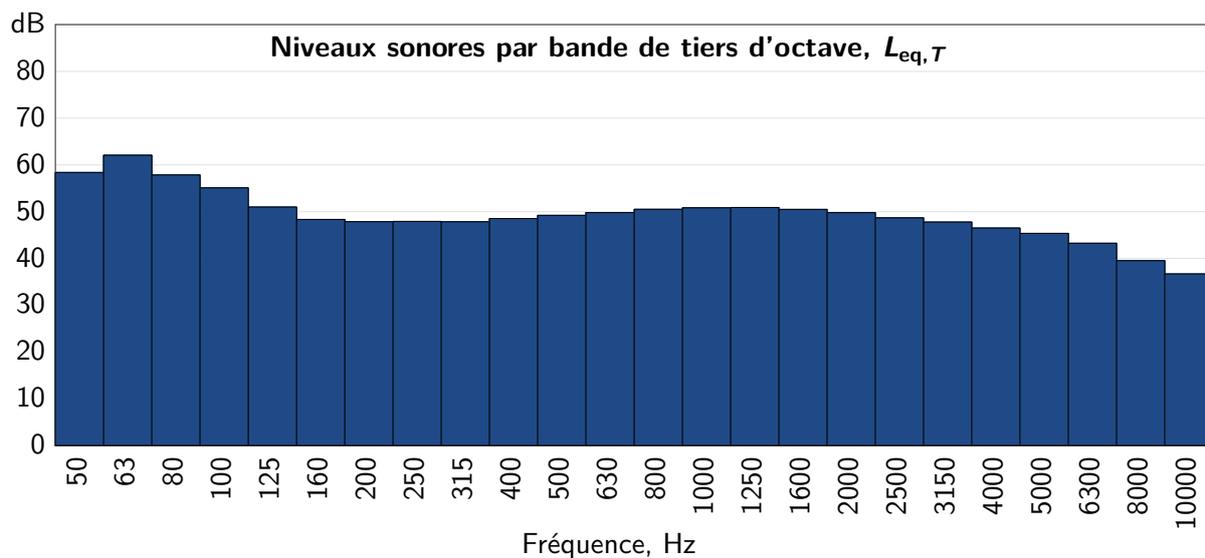
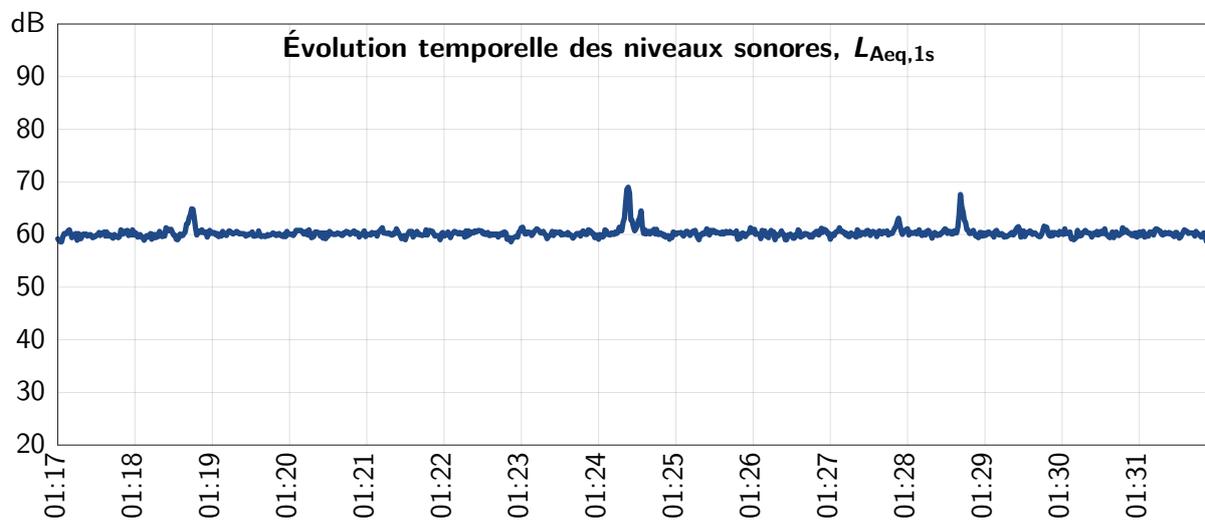
3.10.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.10.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



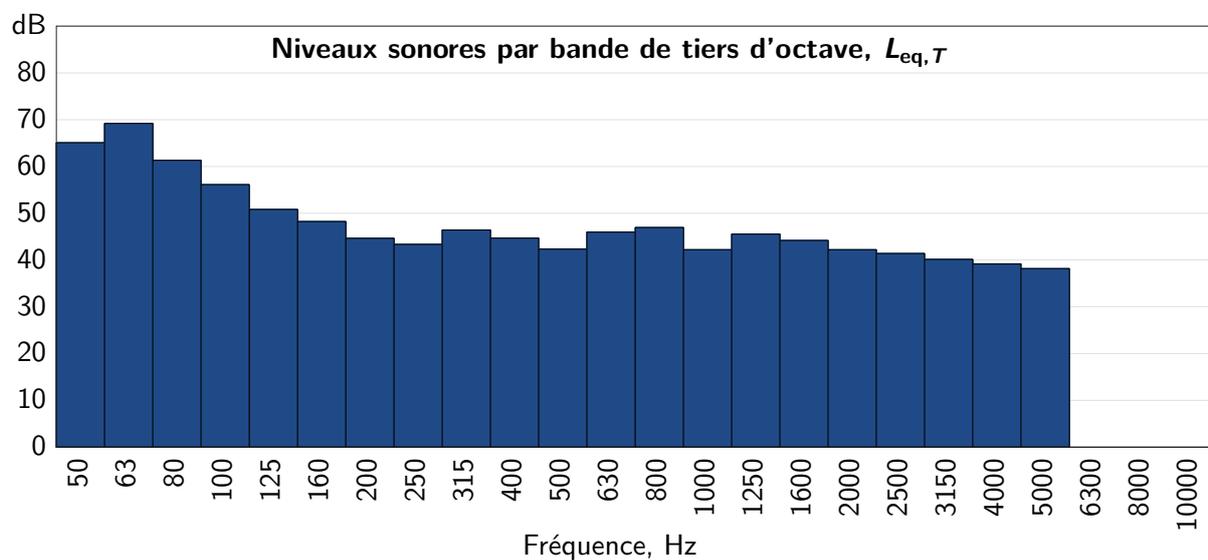
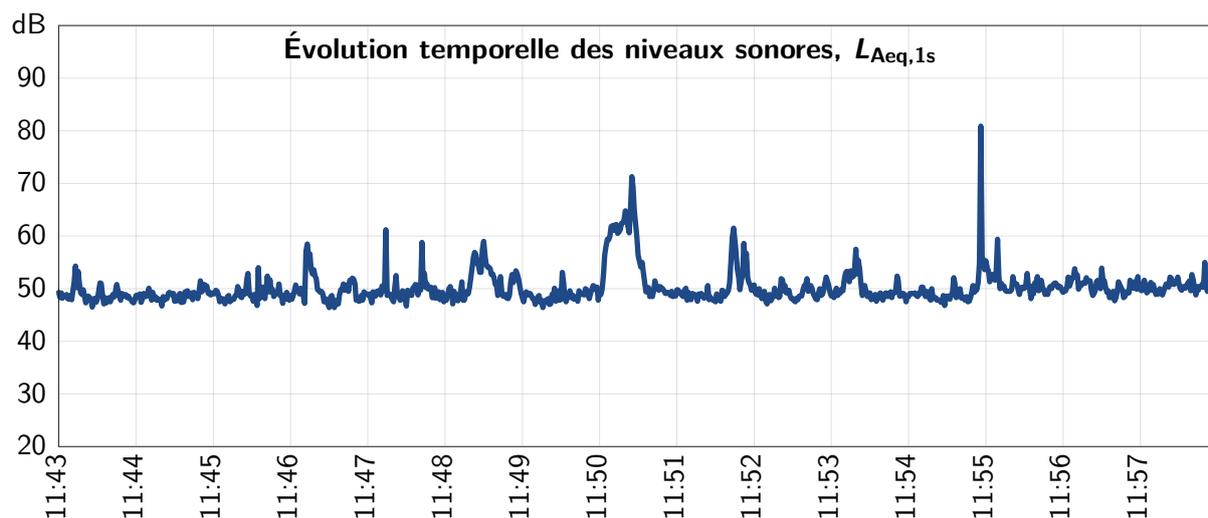
3.10.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



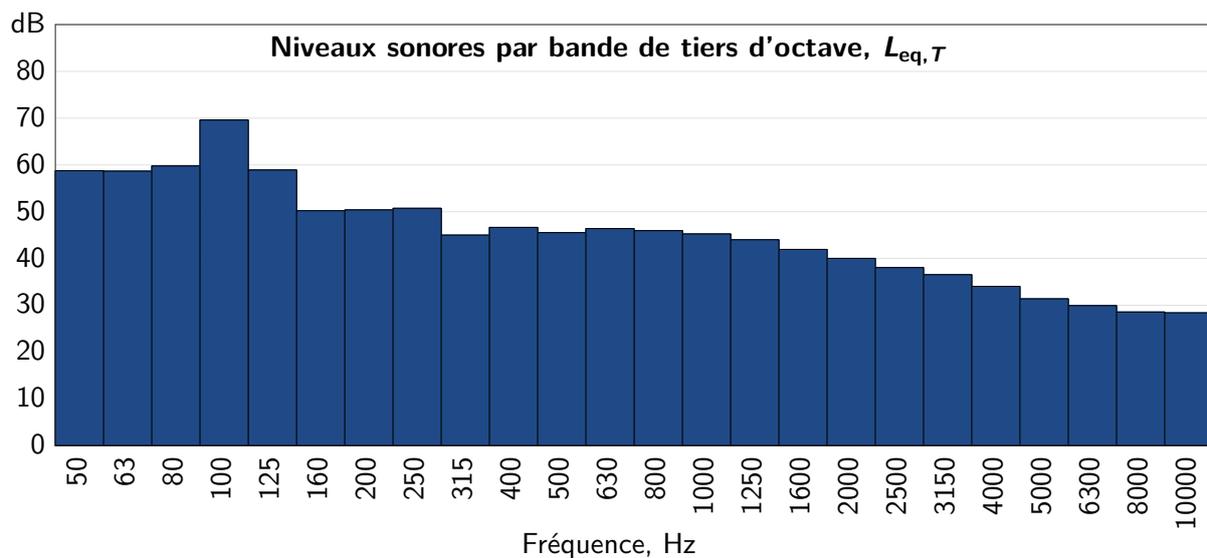
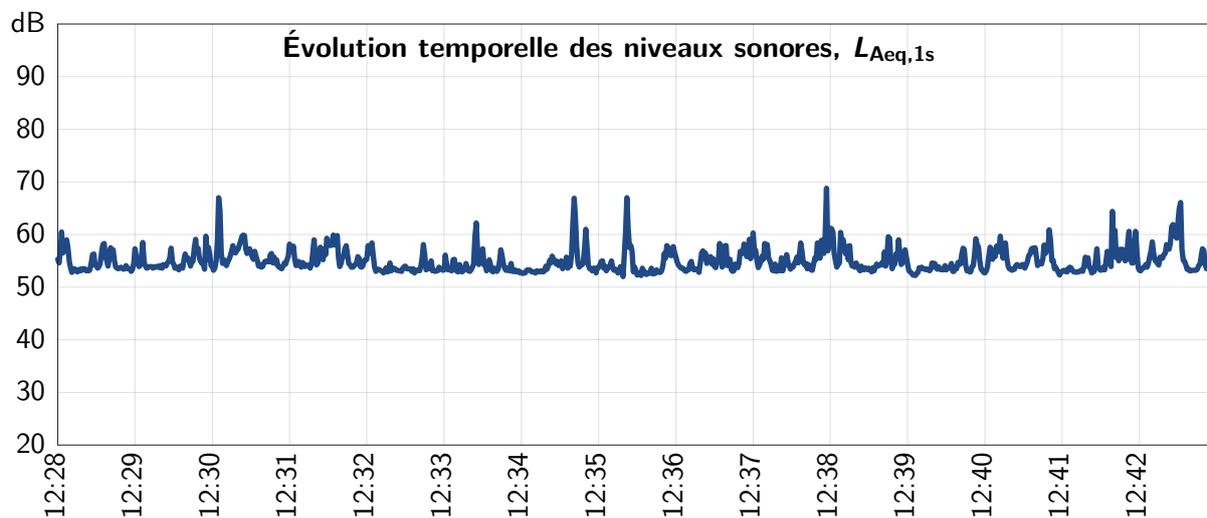
3.11 BO11 – Point 11 : Bibliothèque



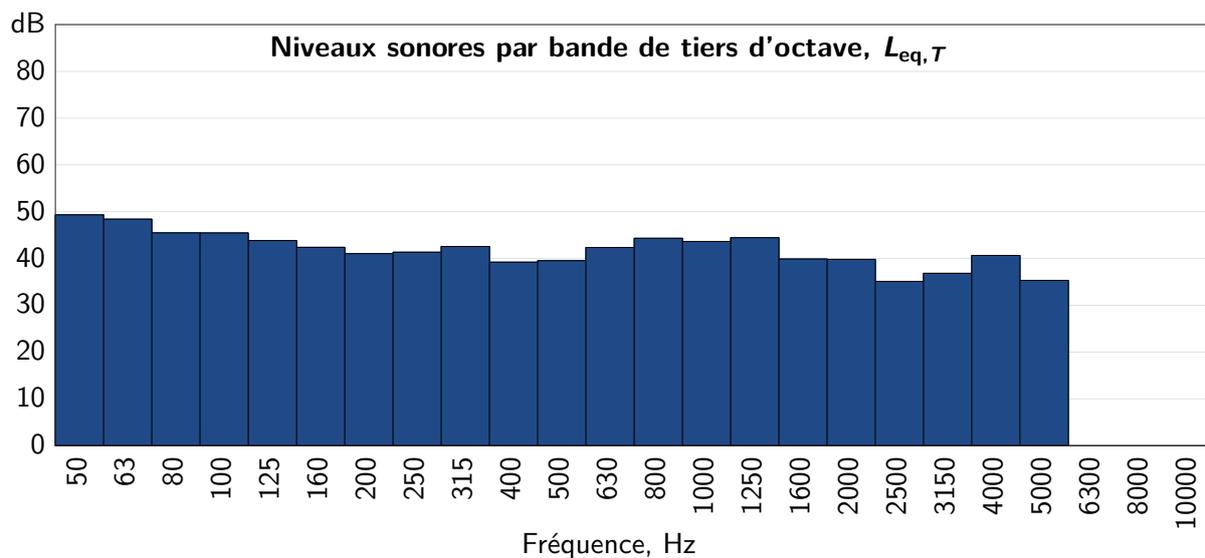
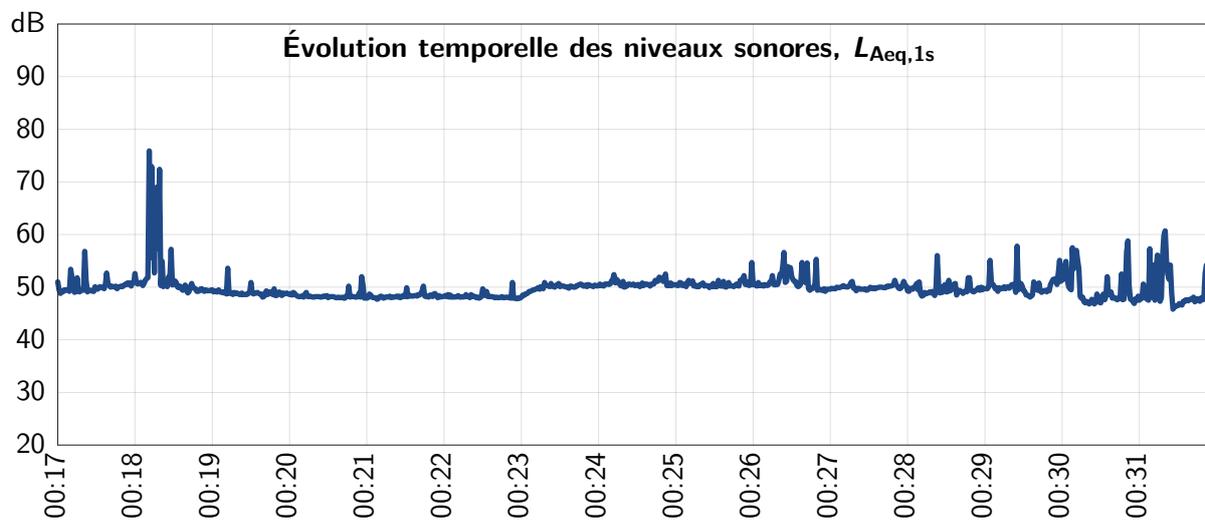
3.11.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



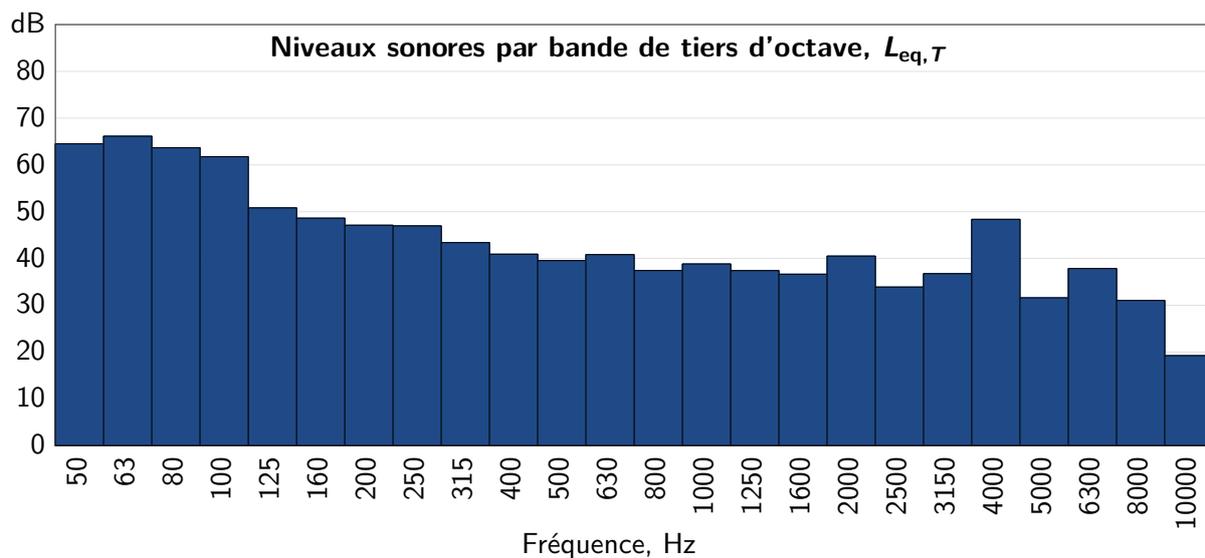
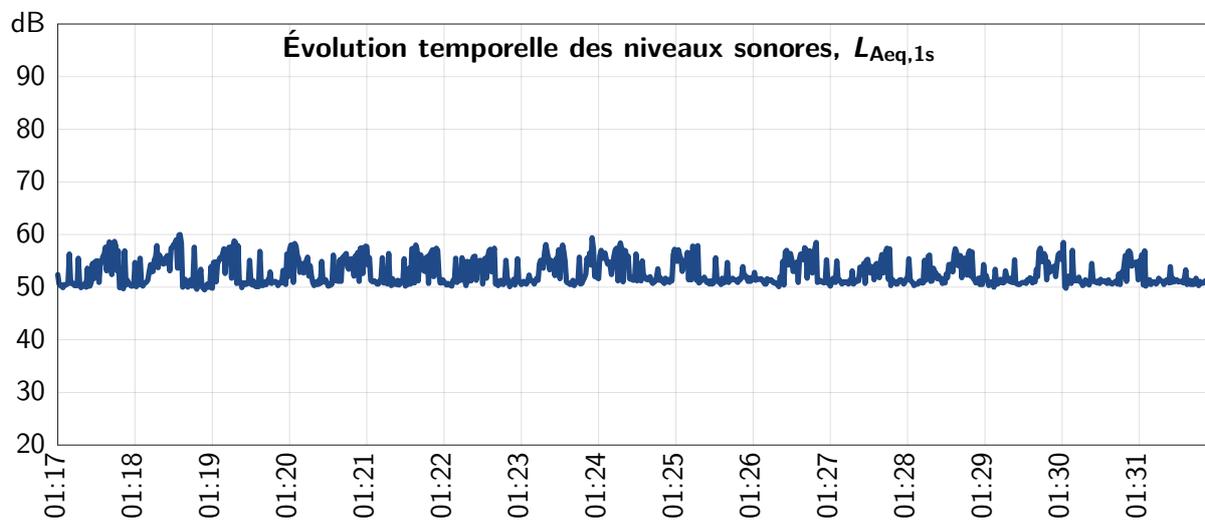
3.11.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.11.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



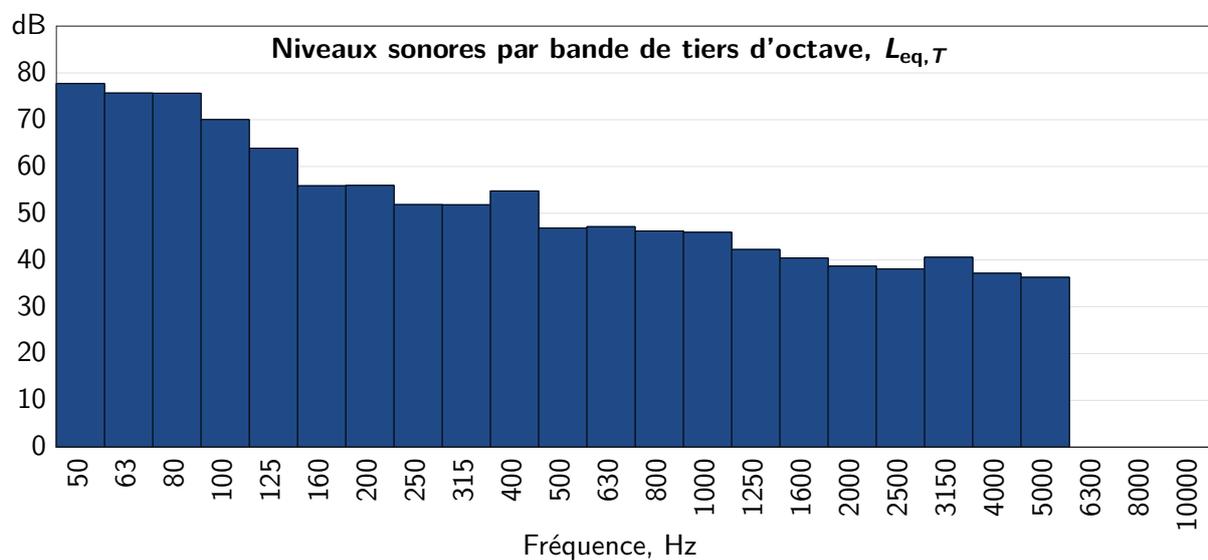
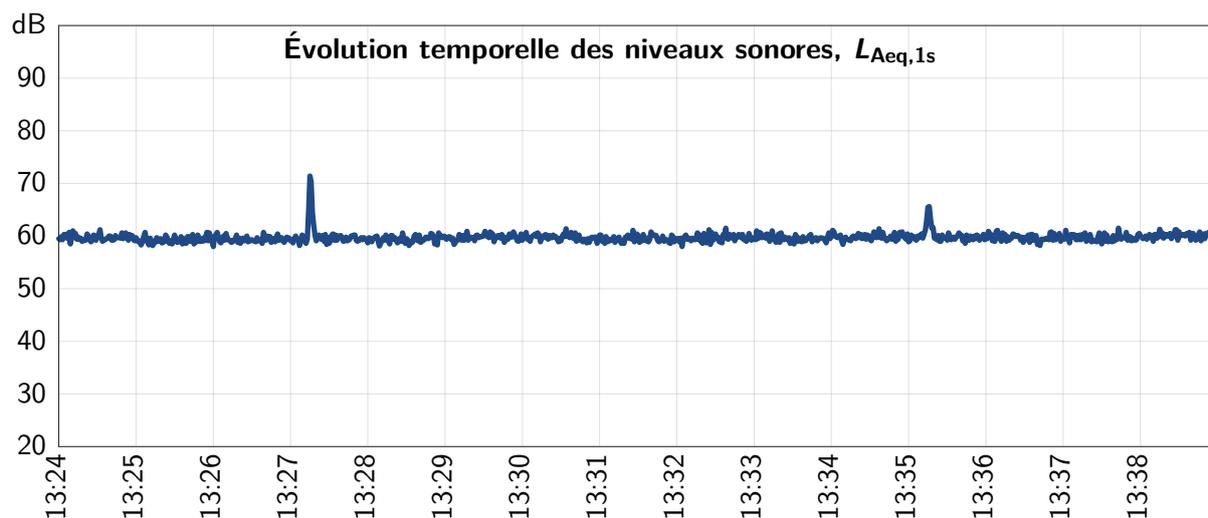
3.11.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



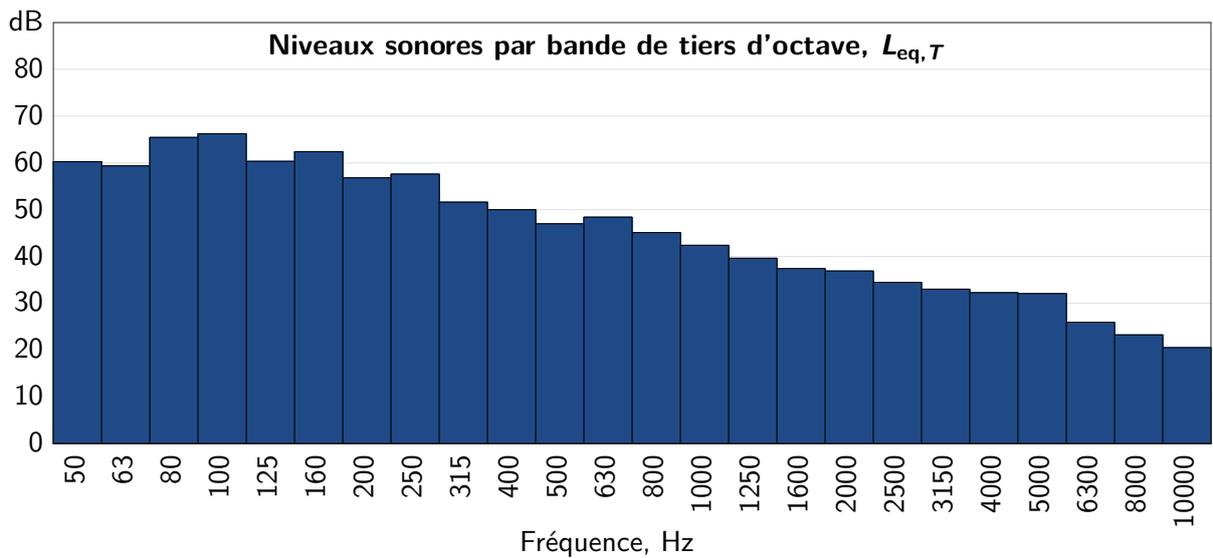
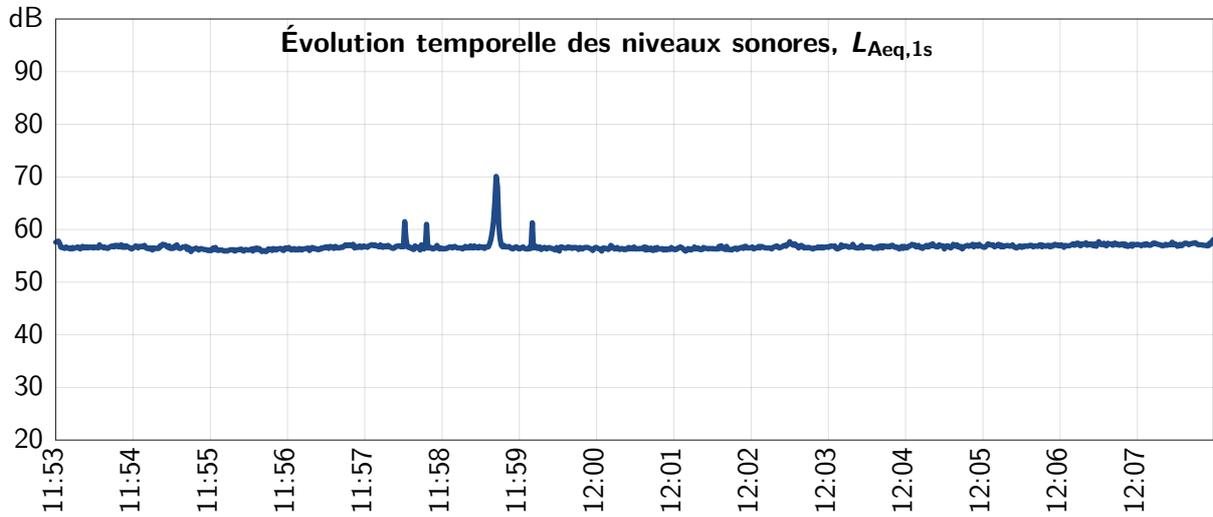
3.12 BO11 – Point 12 : Entrée centrale rue Vanier



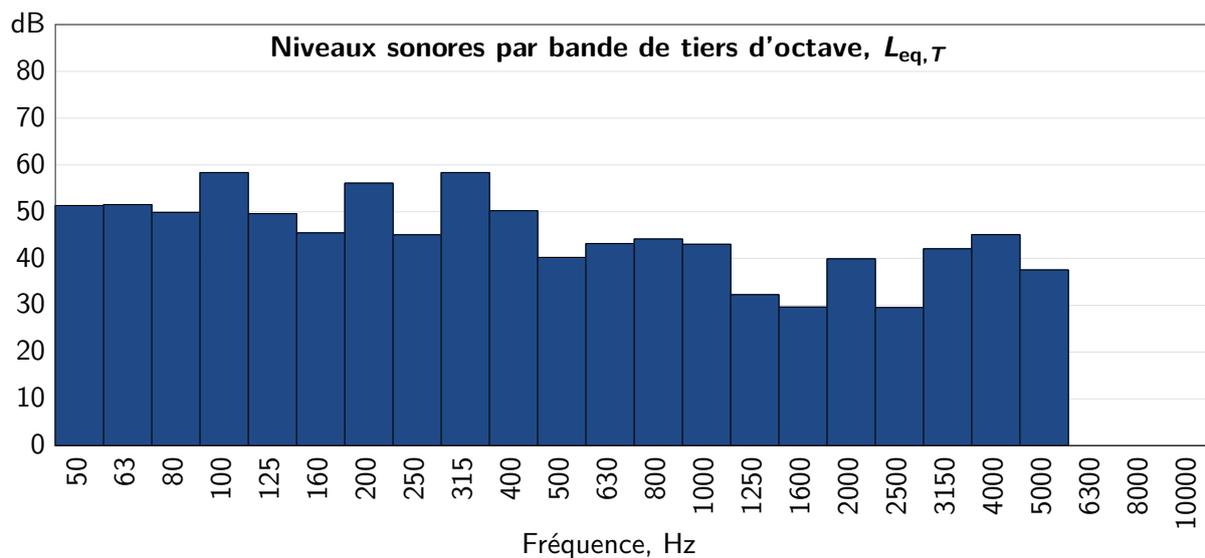
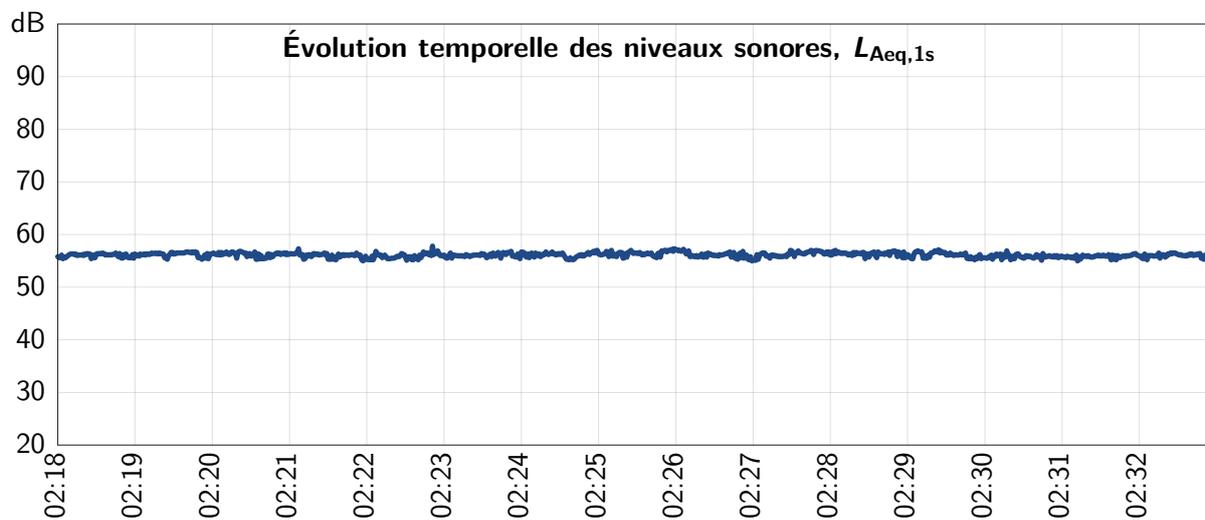
3.12.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



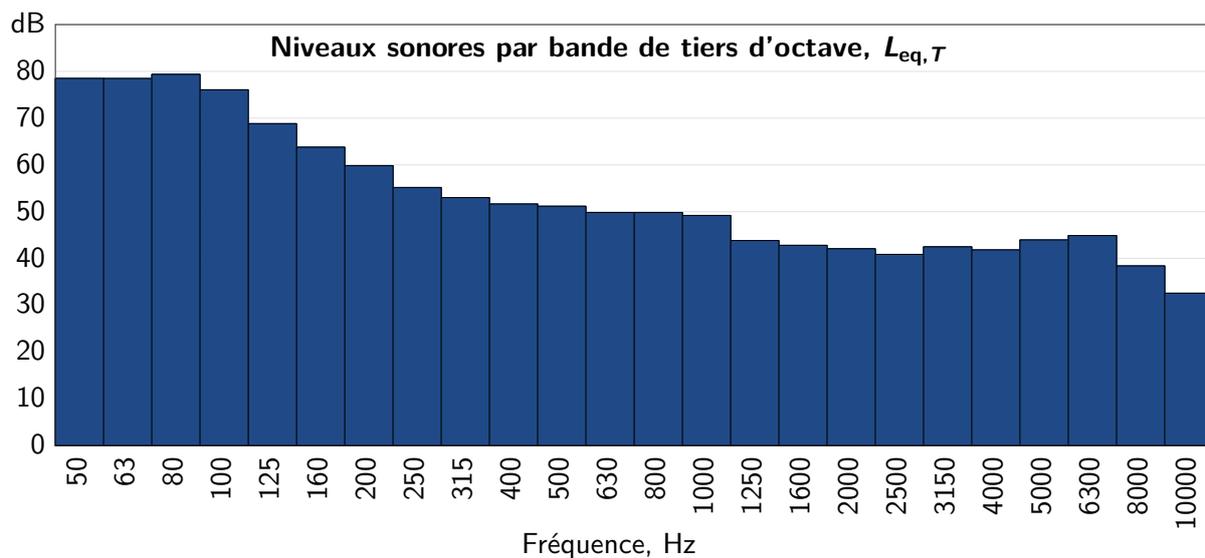
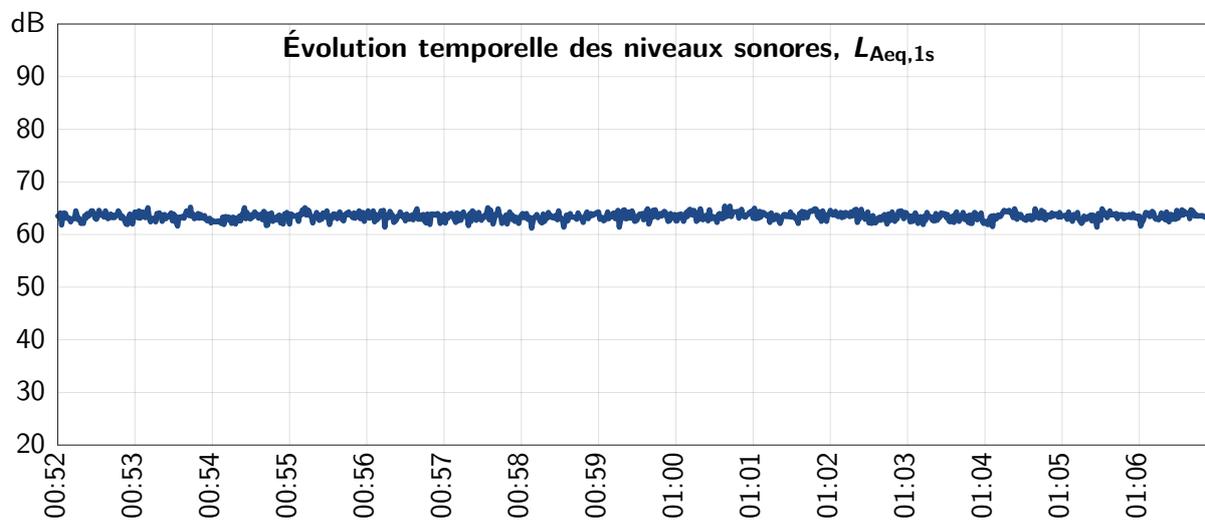
3.12.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.12.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



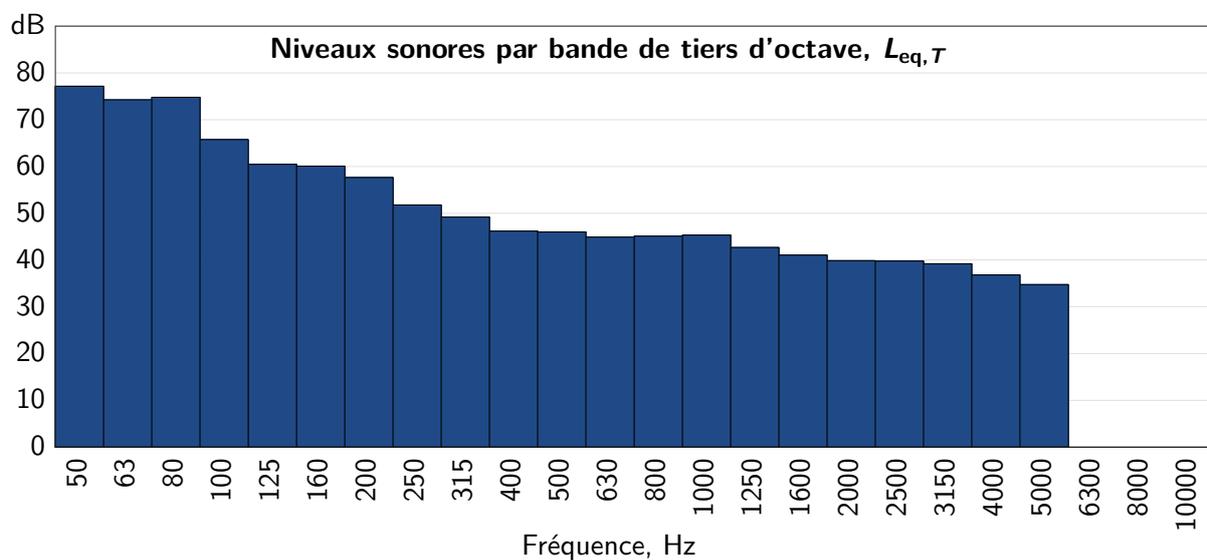
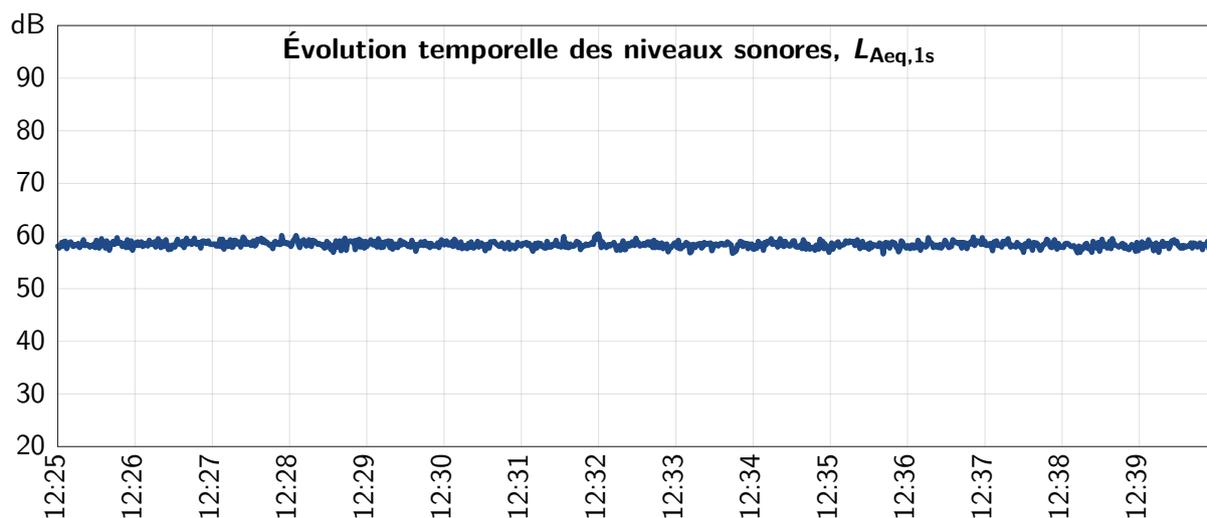
3.12.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



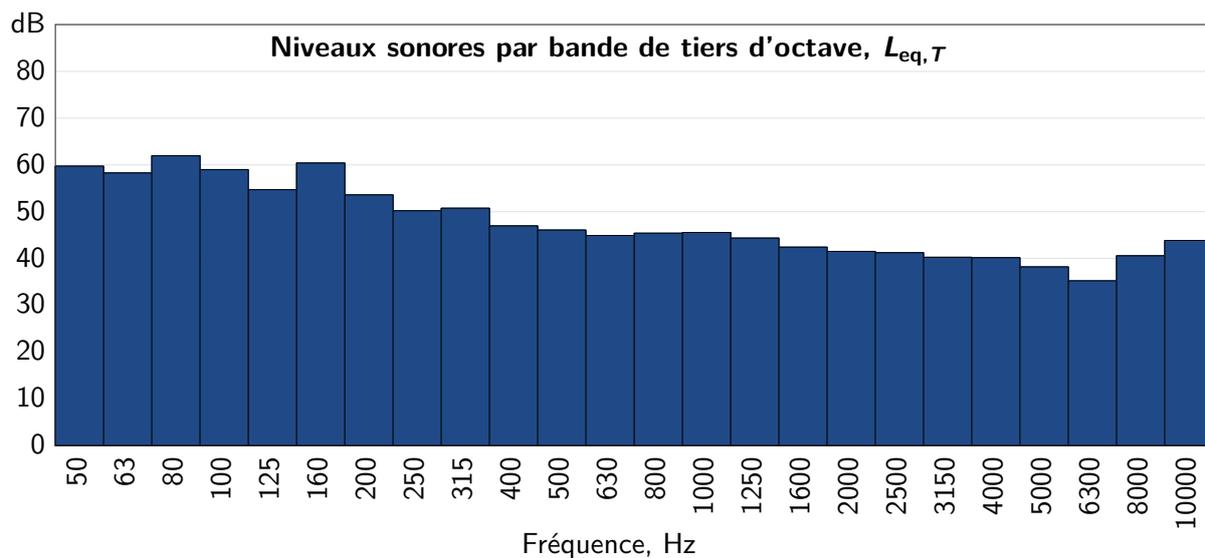
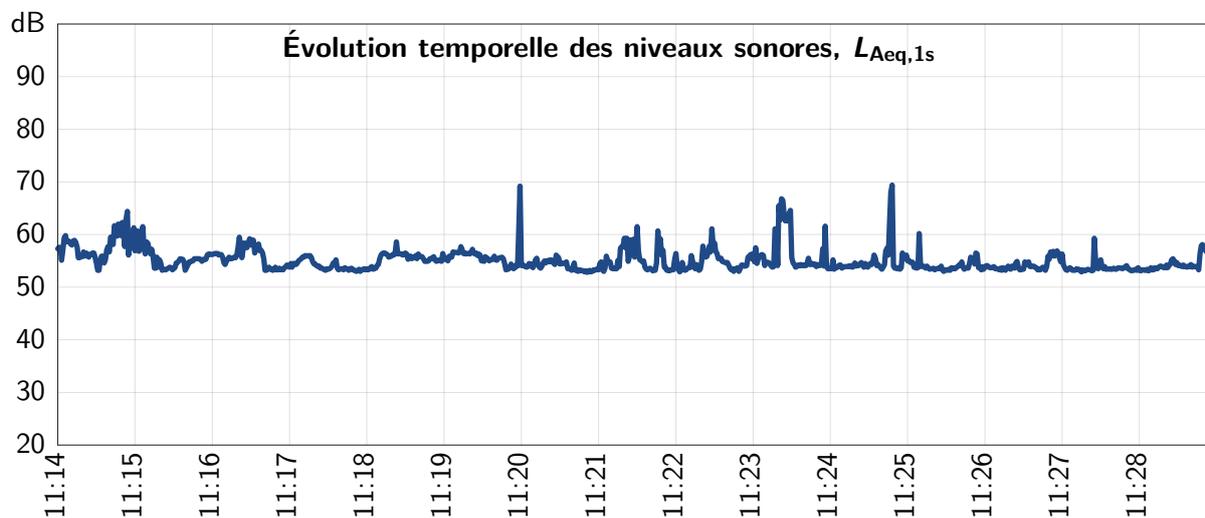
3.13 BO11 – Point 13 : Clôture centrale face bananier



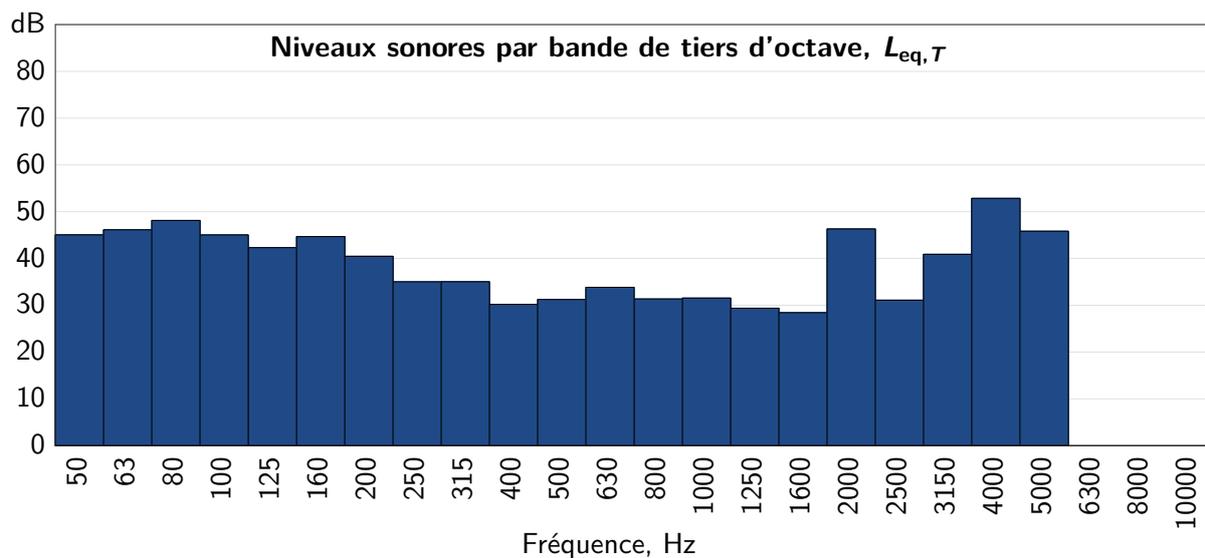
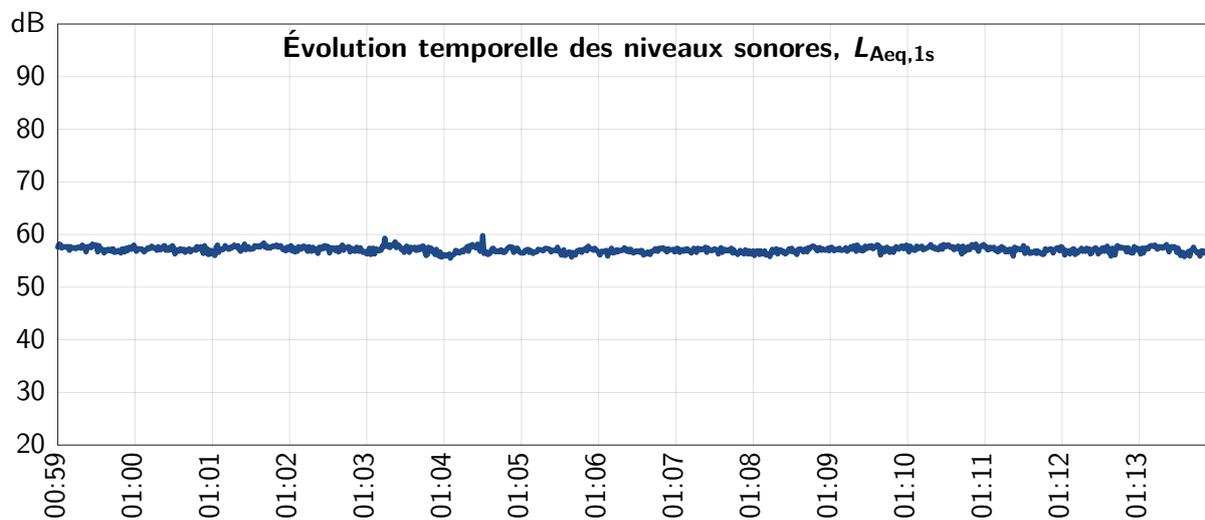
3.13.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



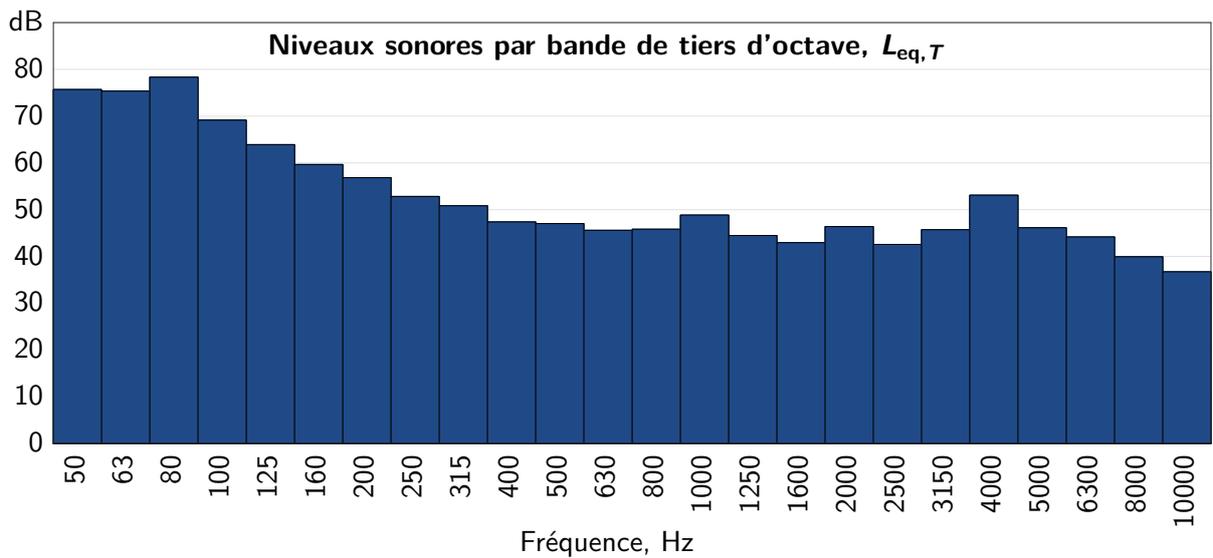
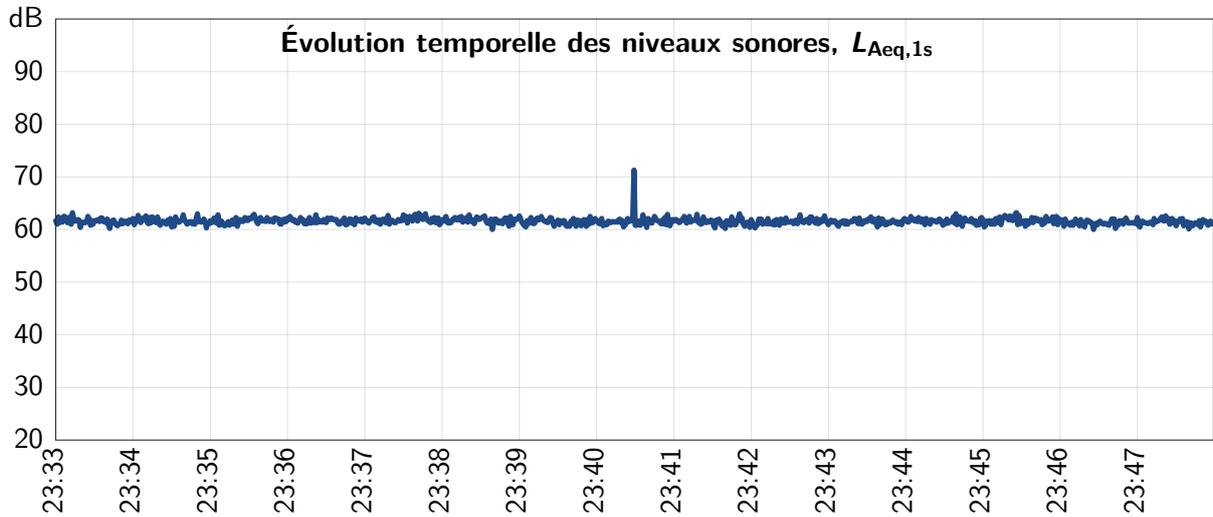
3.13.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.13.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



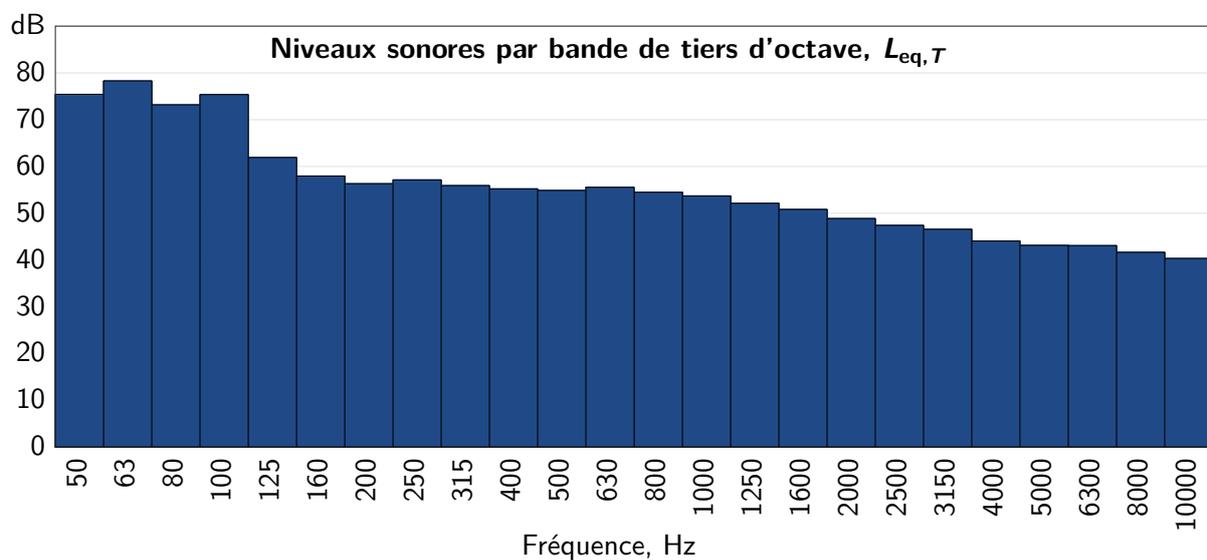
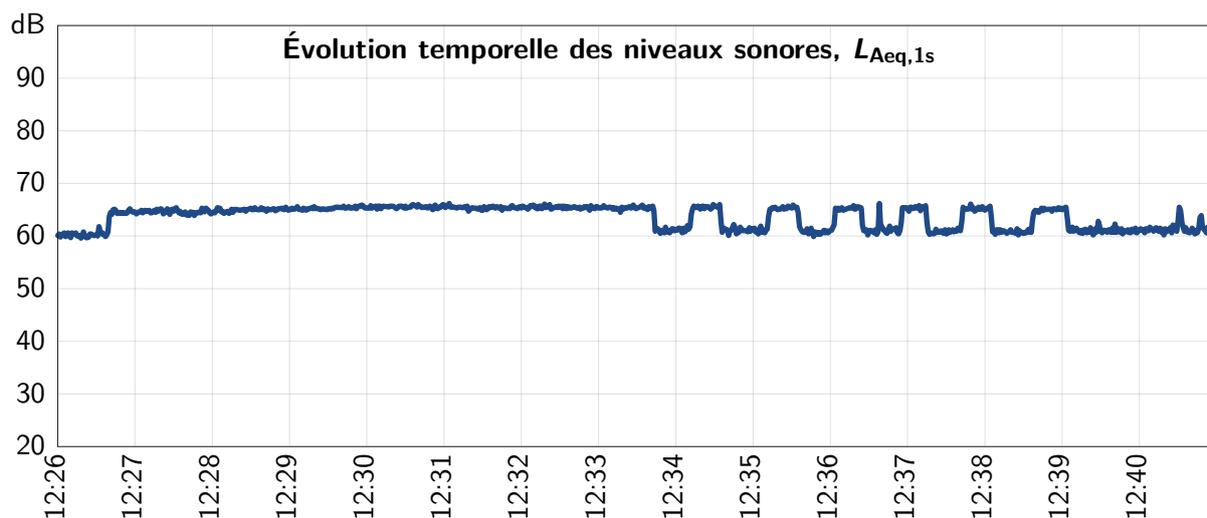
3.13.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 29 octobre 2018



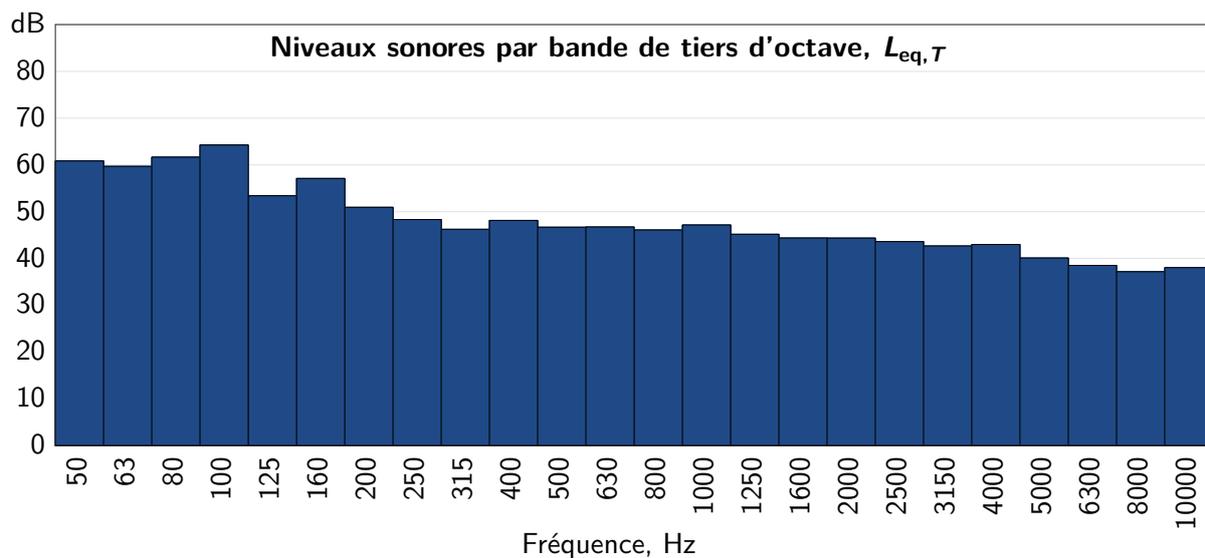
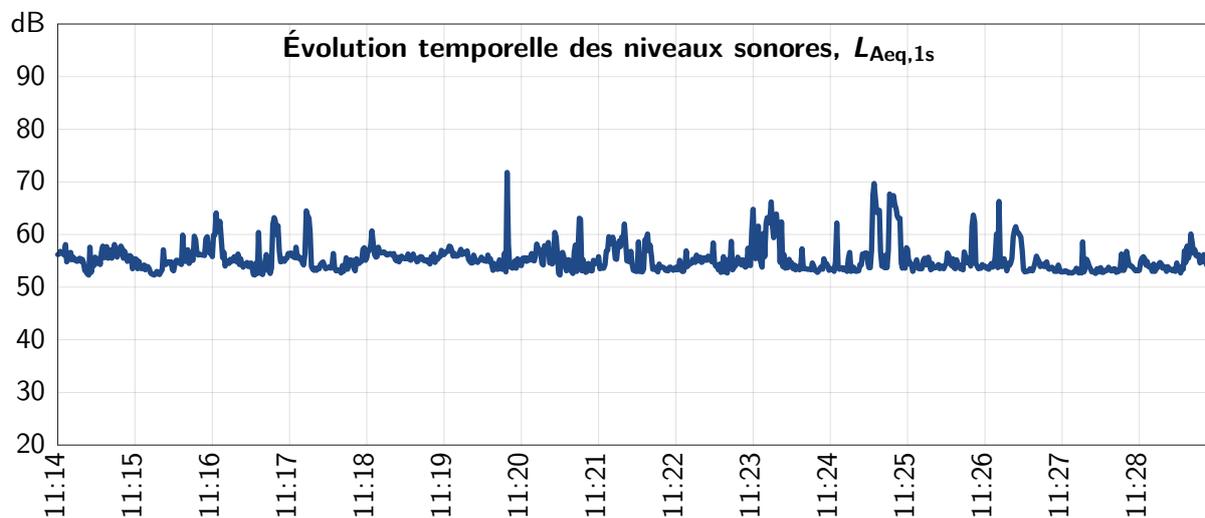
3.14 BO11 – Point 14 : Clôture centrale niveau sécheur



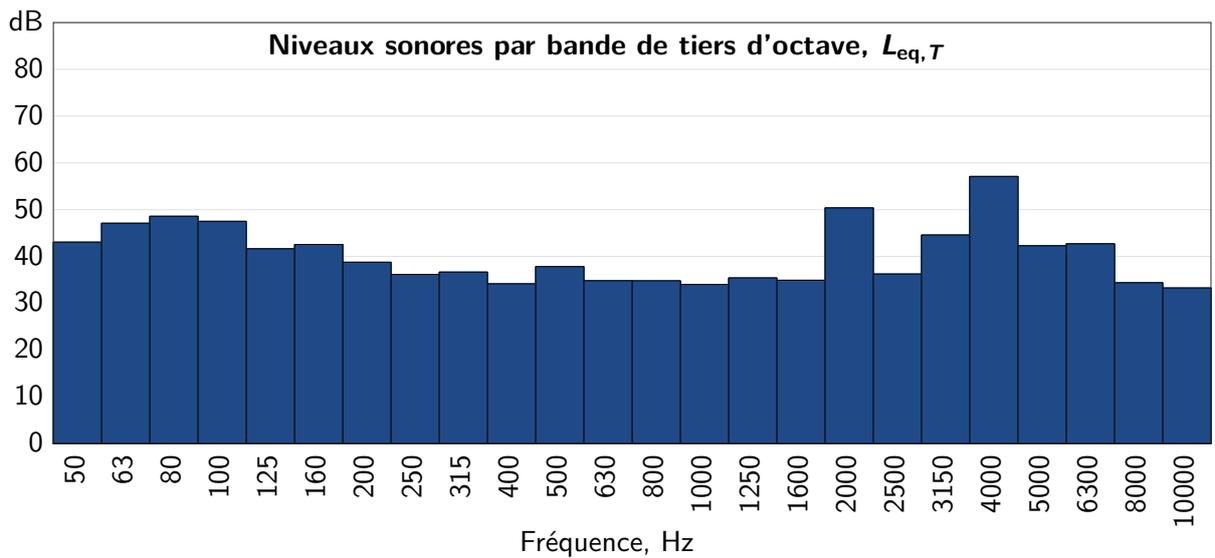
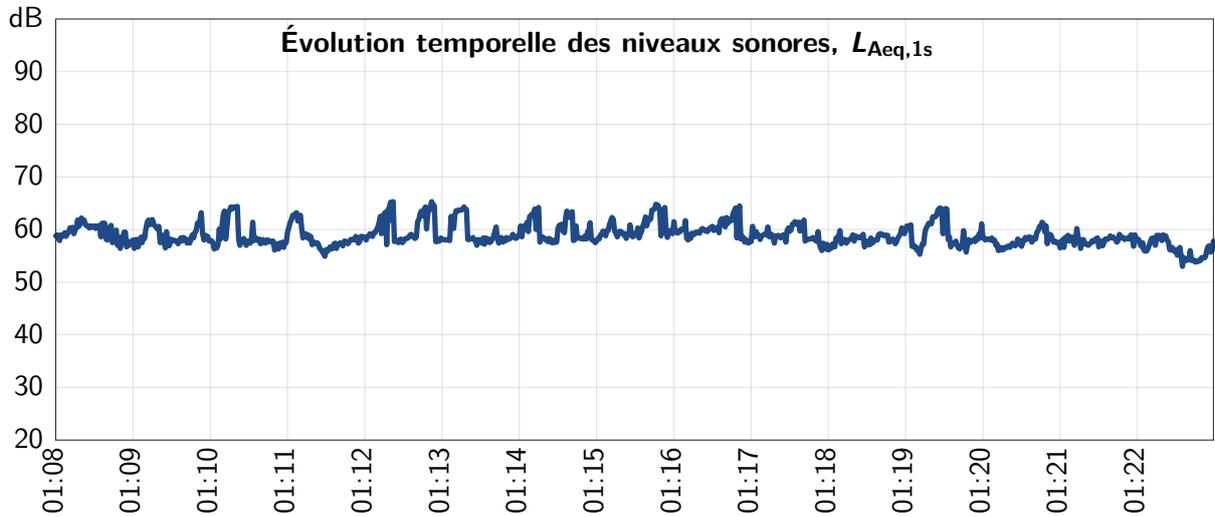
3.14.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



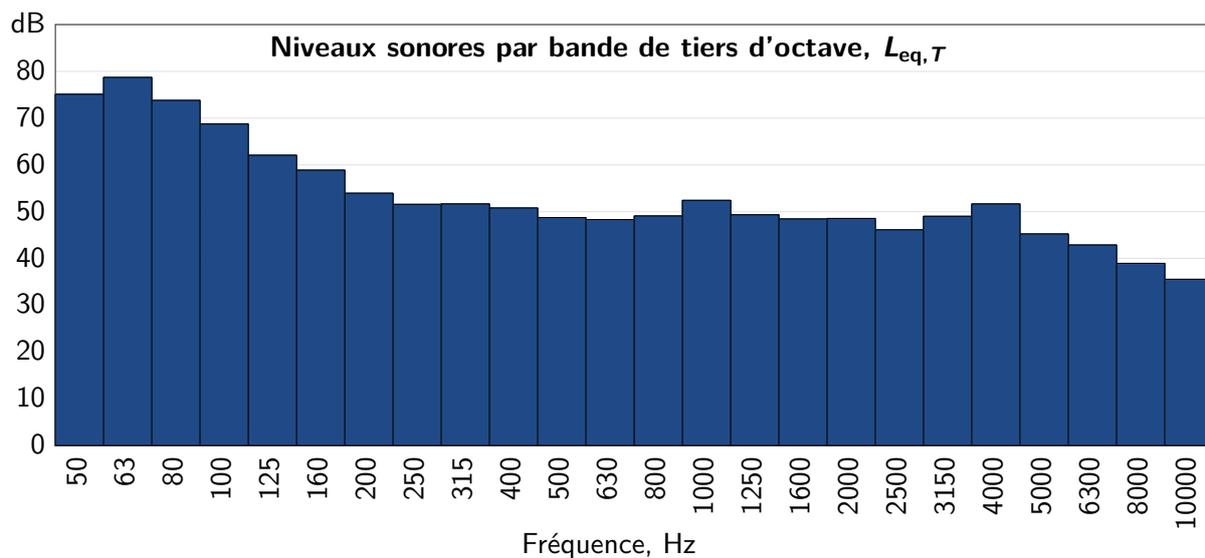
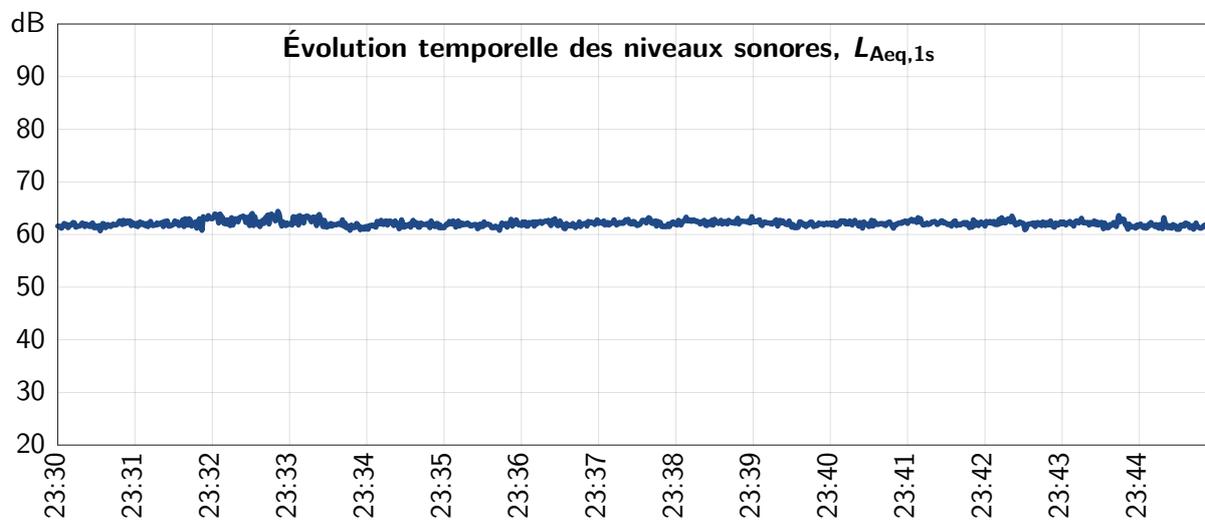
3.14.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.14.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



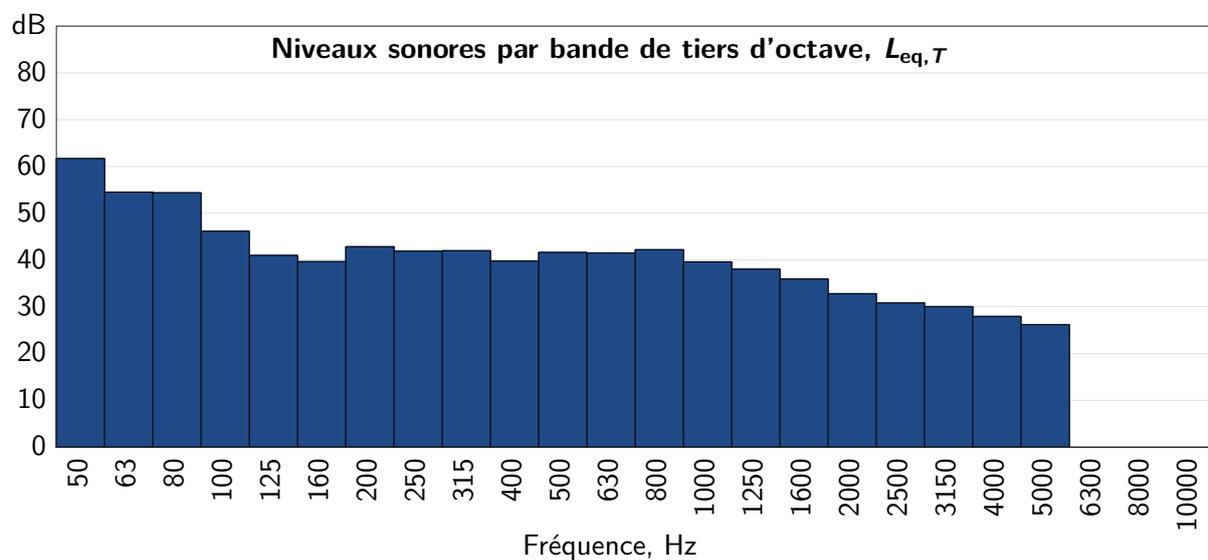
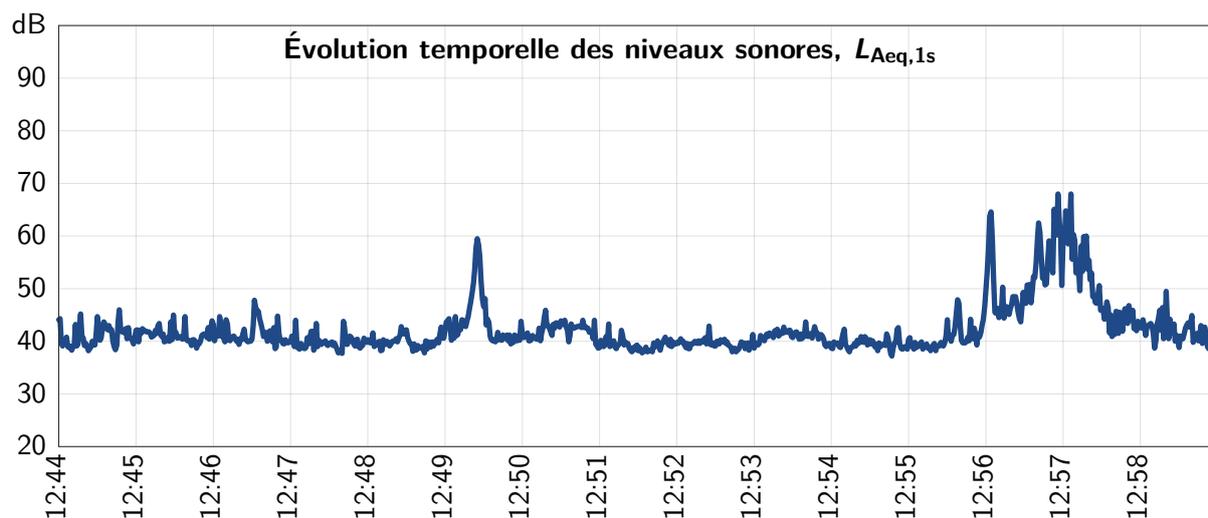
3.14.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 29 octobre 2018



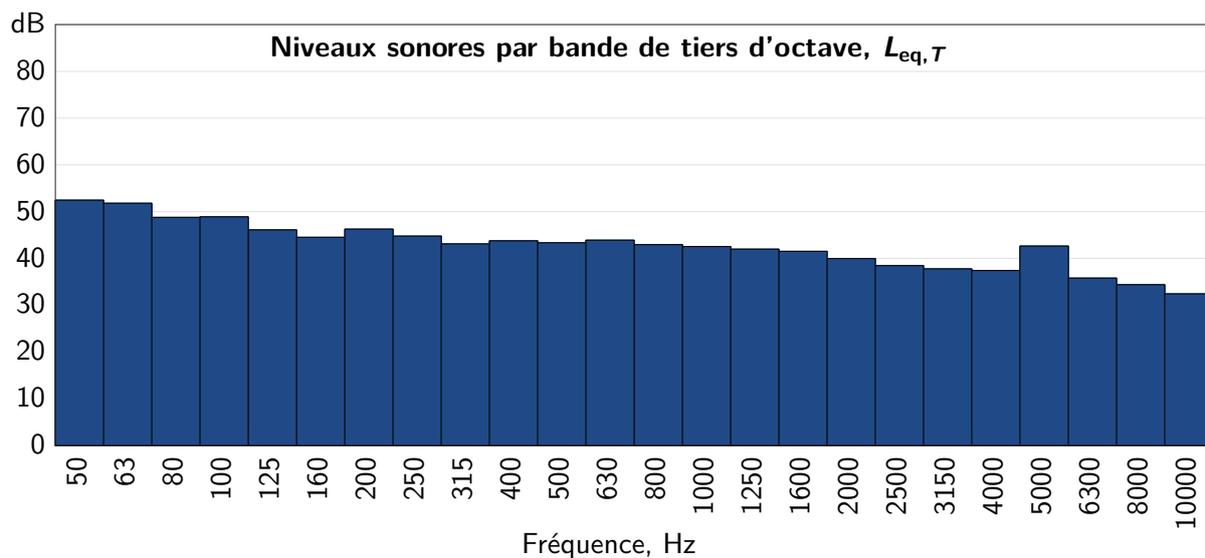
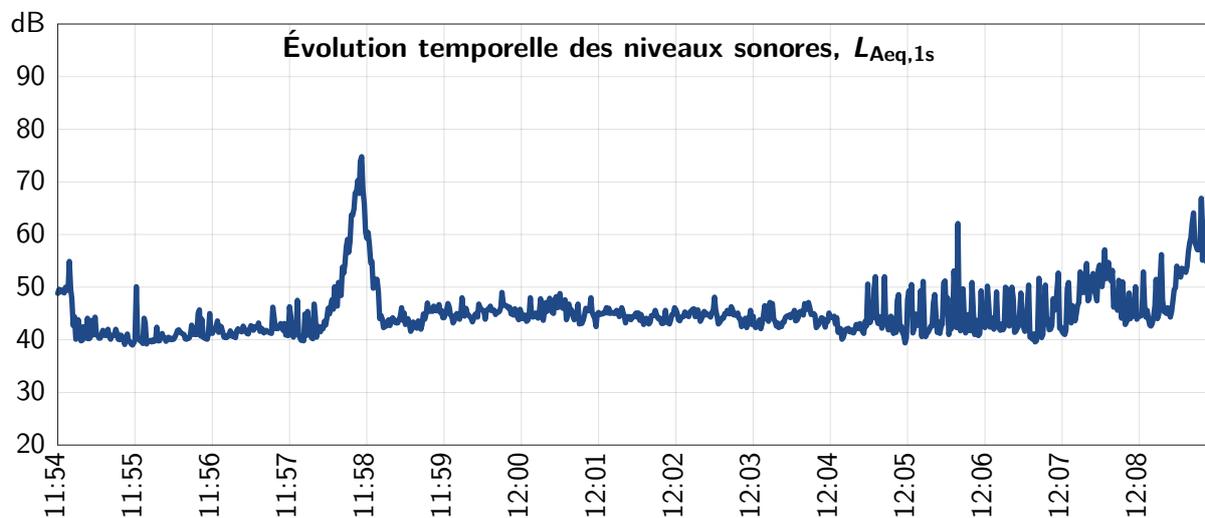
3.15 BO11 – Point 15 : Ancienne route nationale face Baltuss



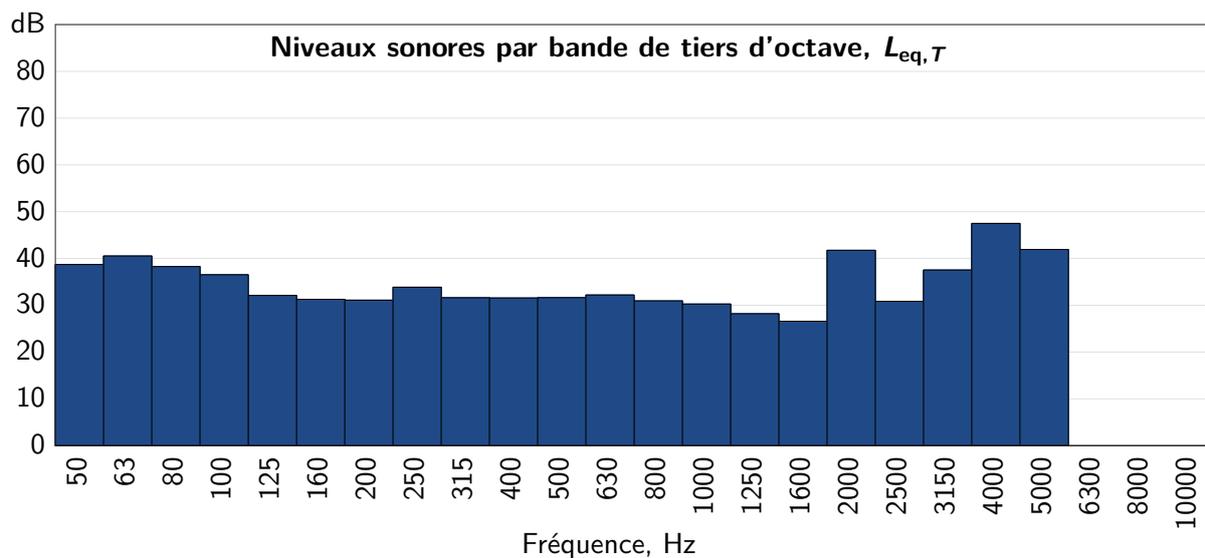
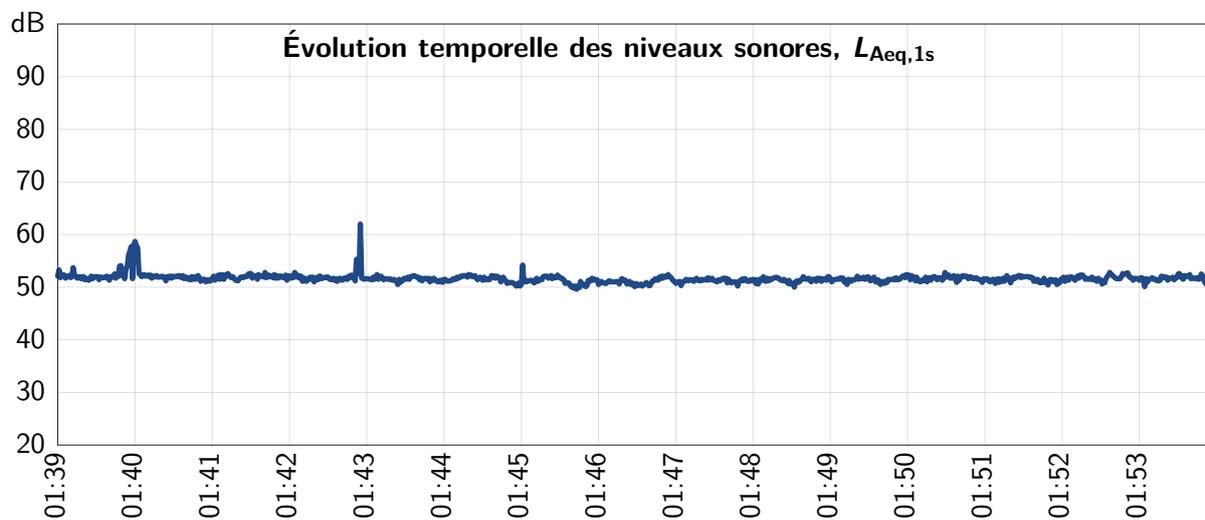
3.15.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



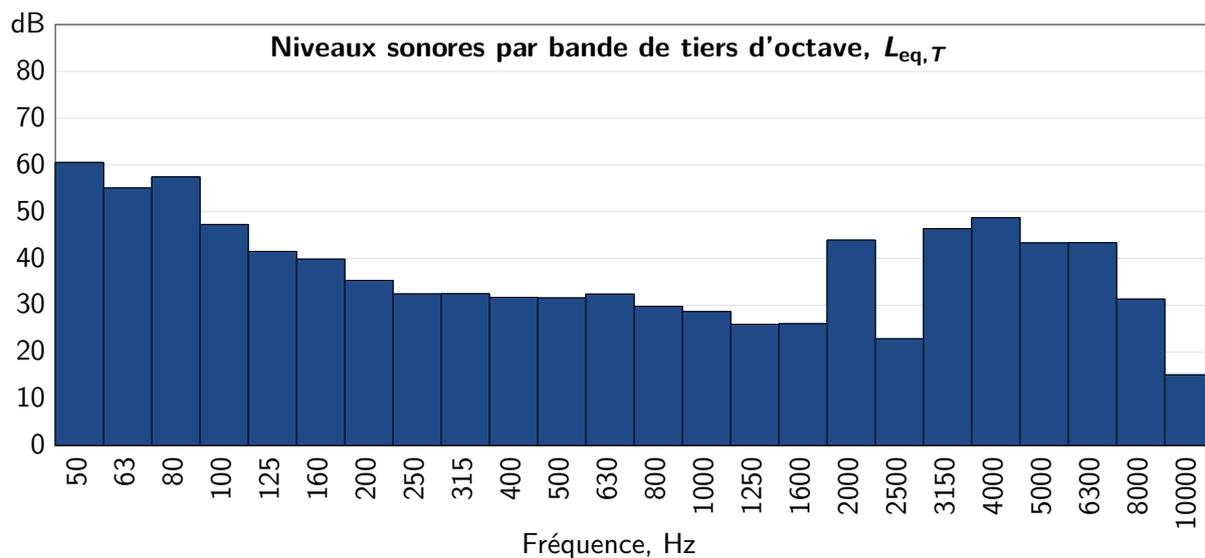
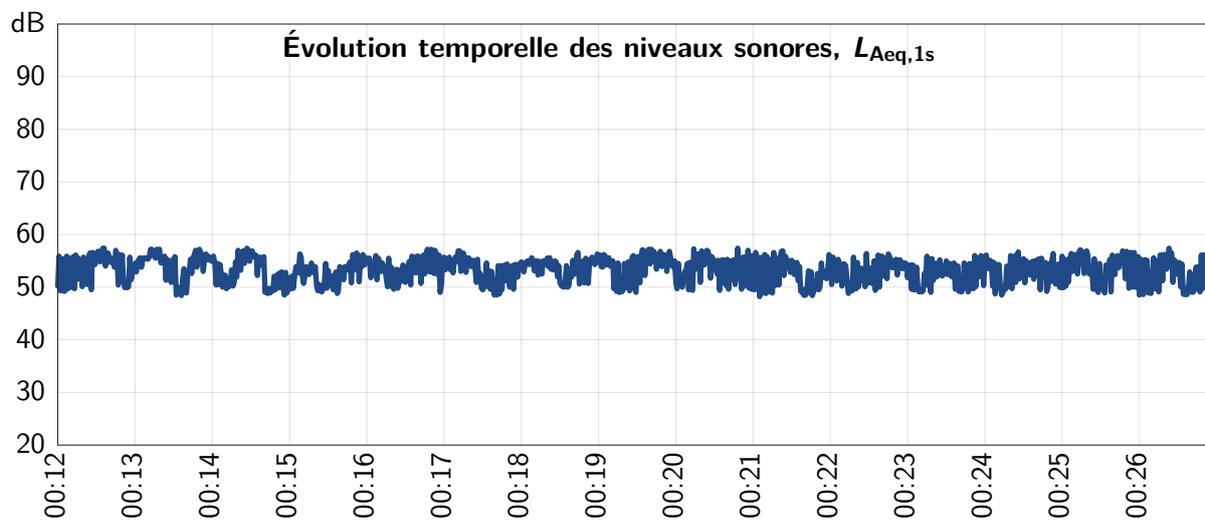
3.15.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



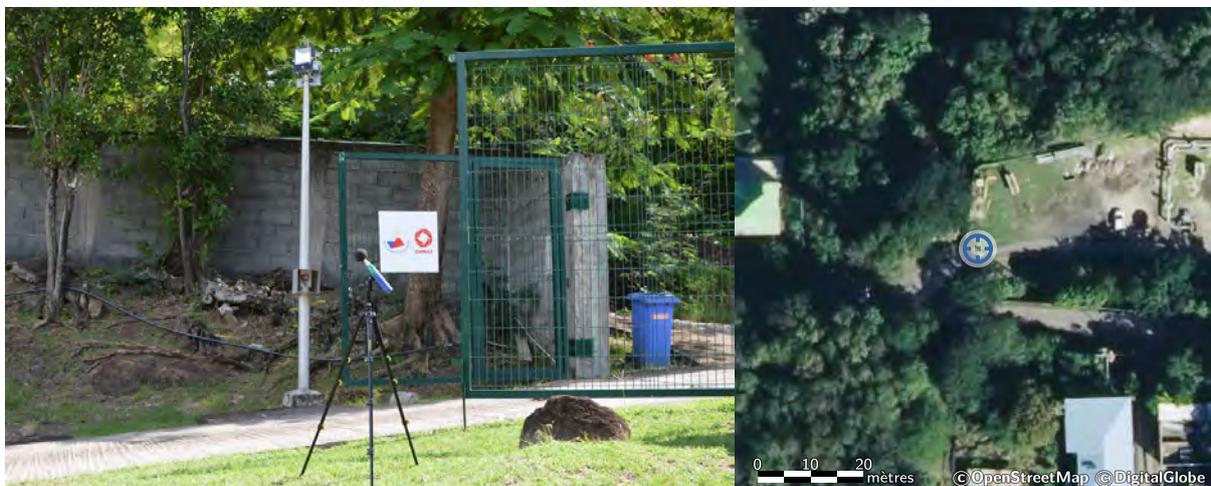
3.15.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 6 octobre 2018



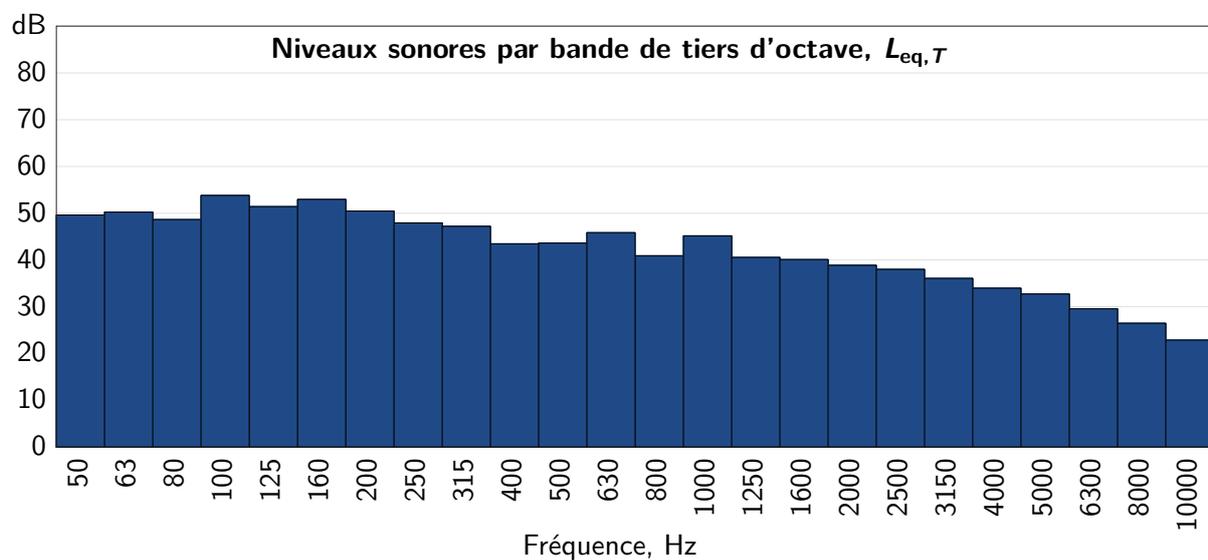
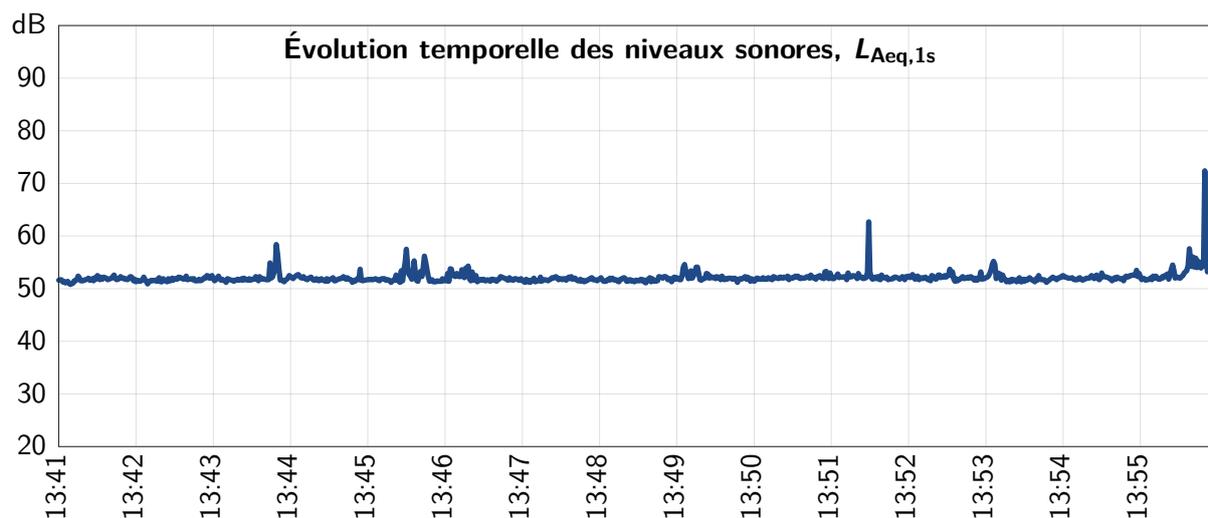
3.15.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 30 octobre 2018



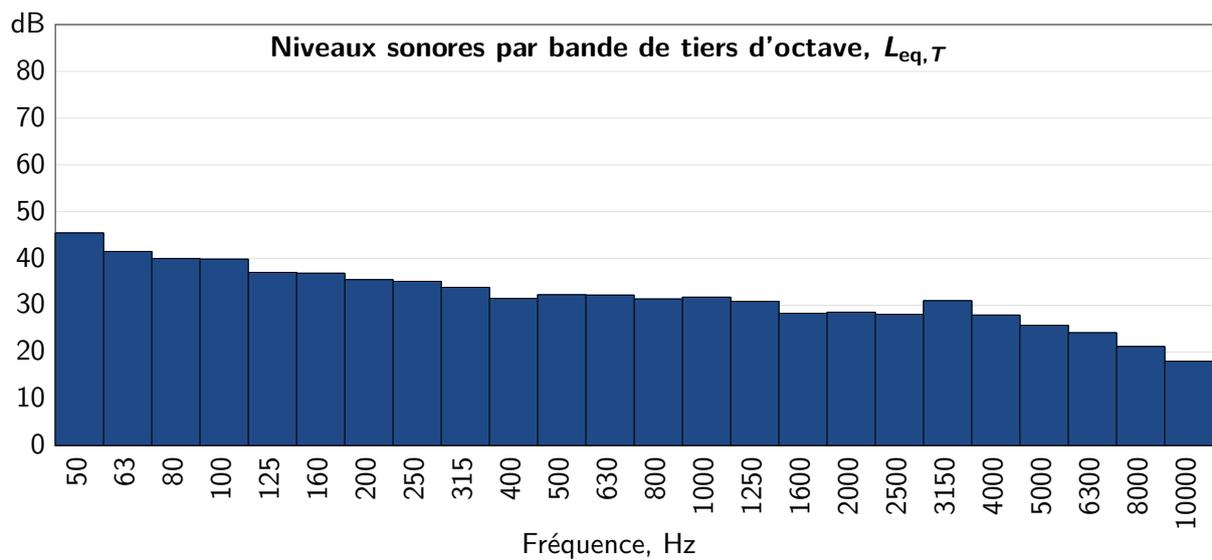
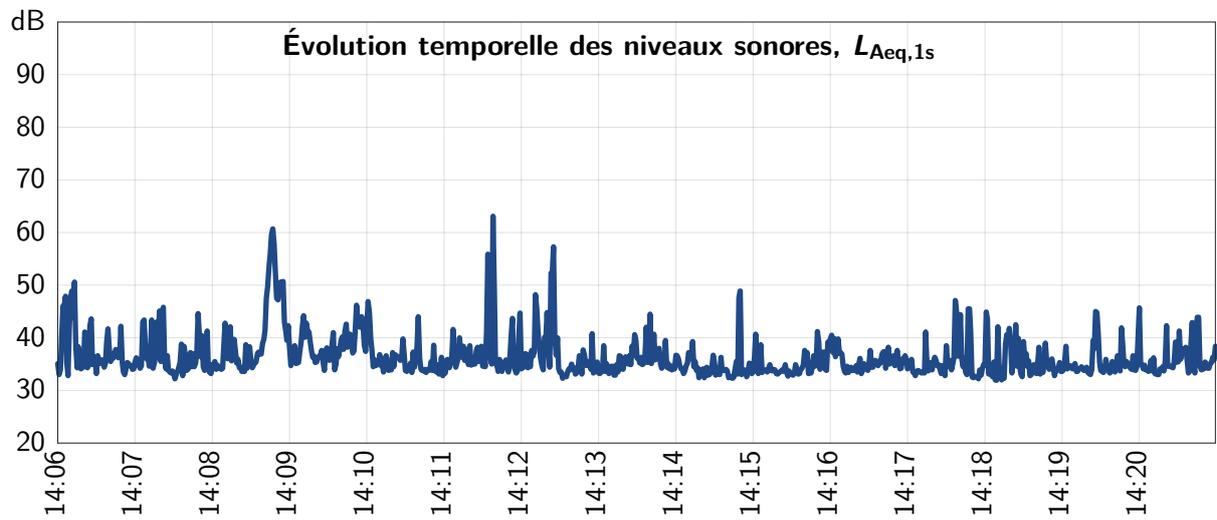
3.16 BO12 – Point 1 : Portail entrée plateforme



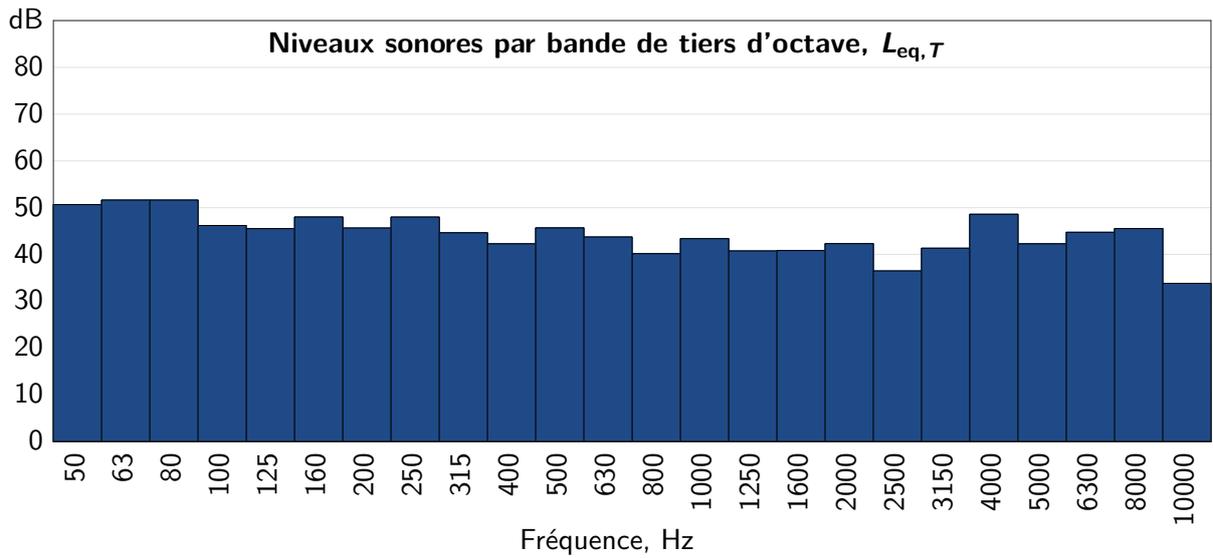
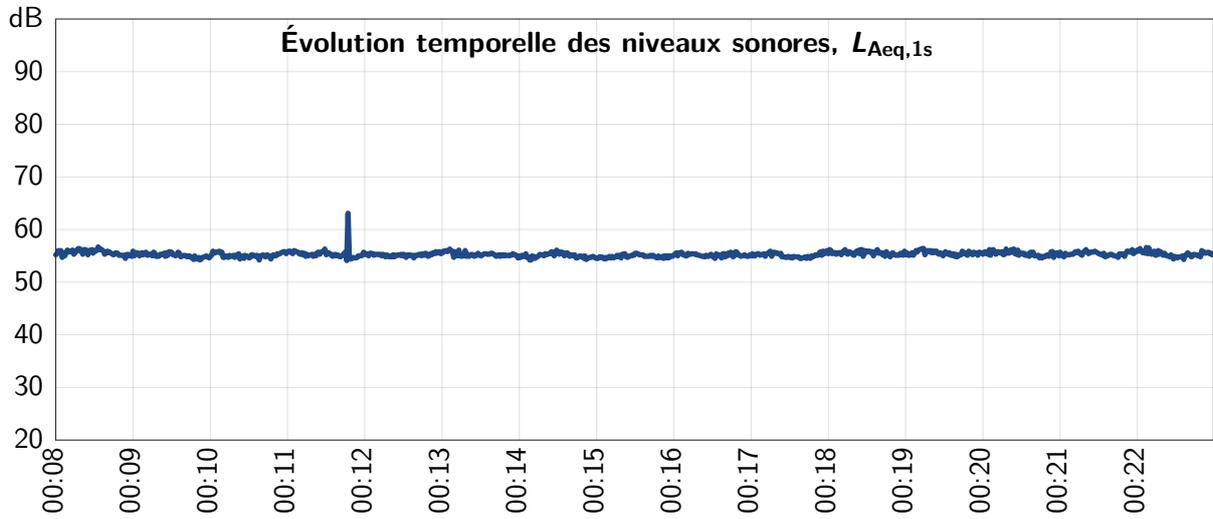
3.16.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



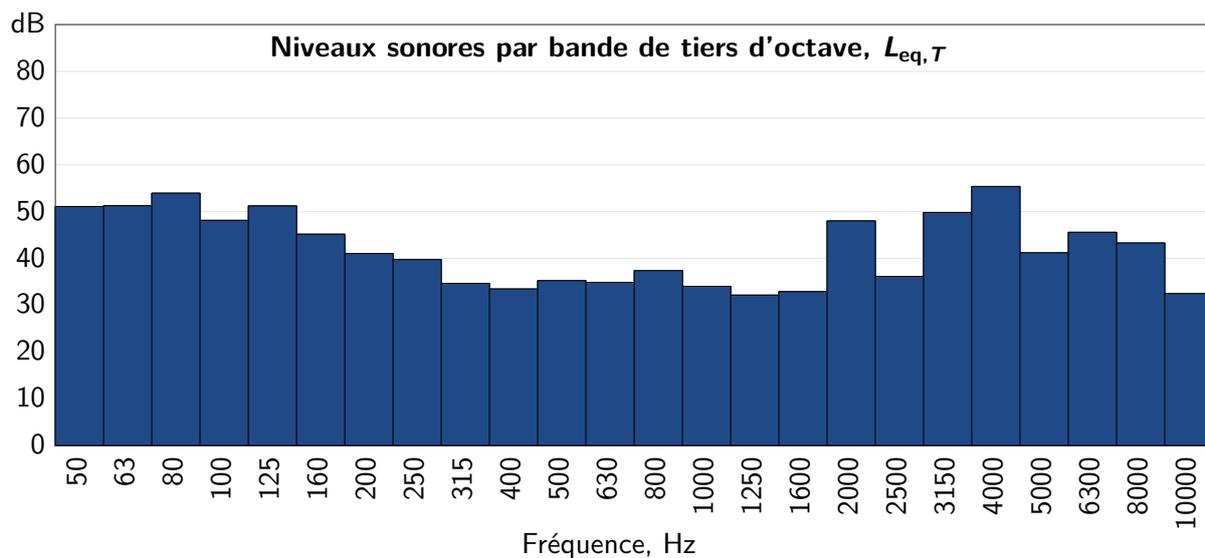
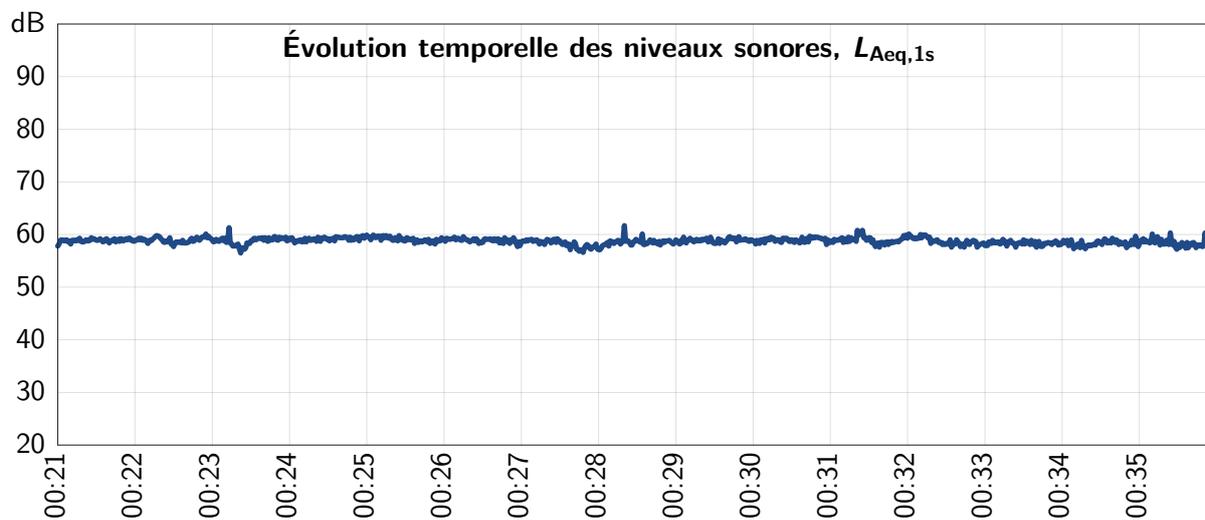
3.16.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.16.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



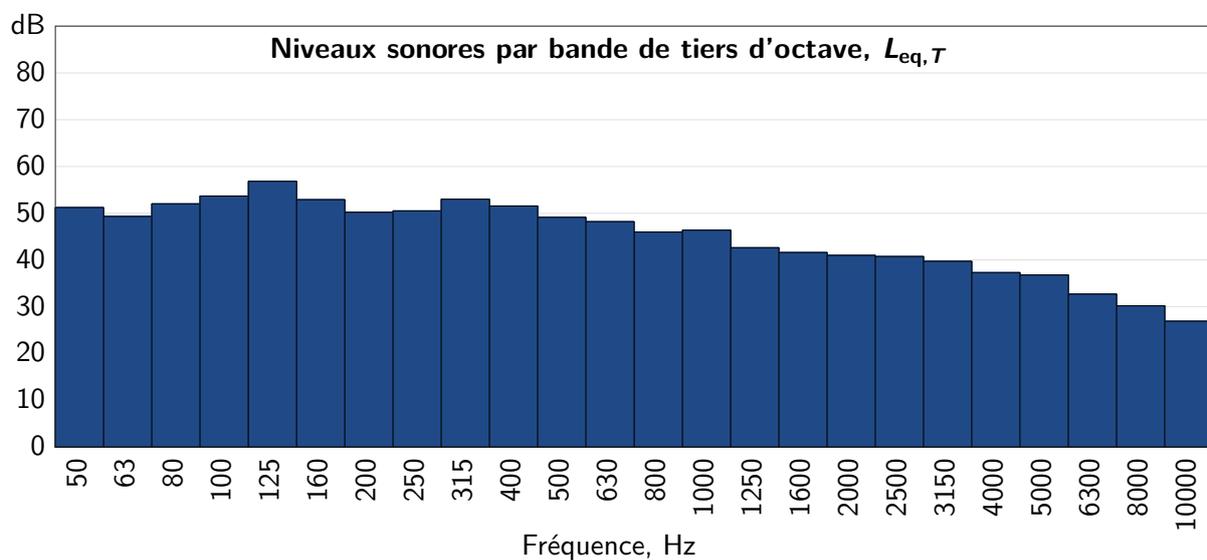
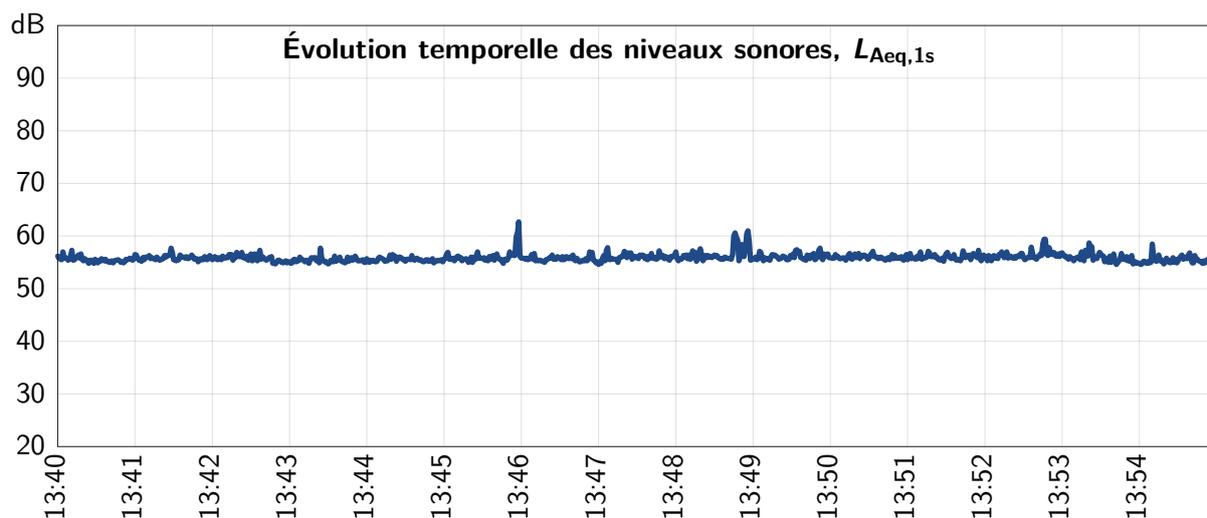
3.16.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



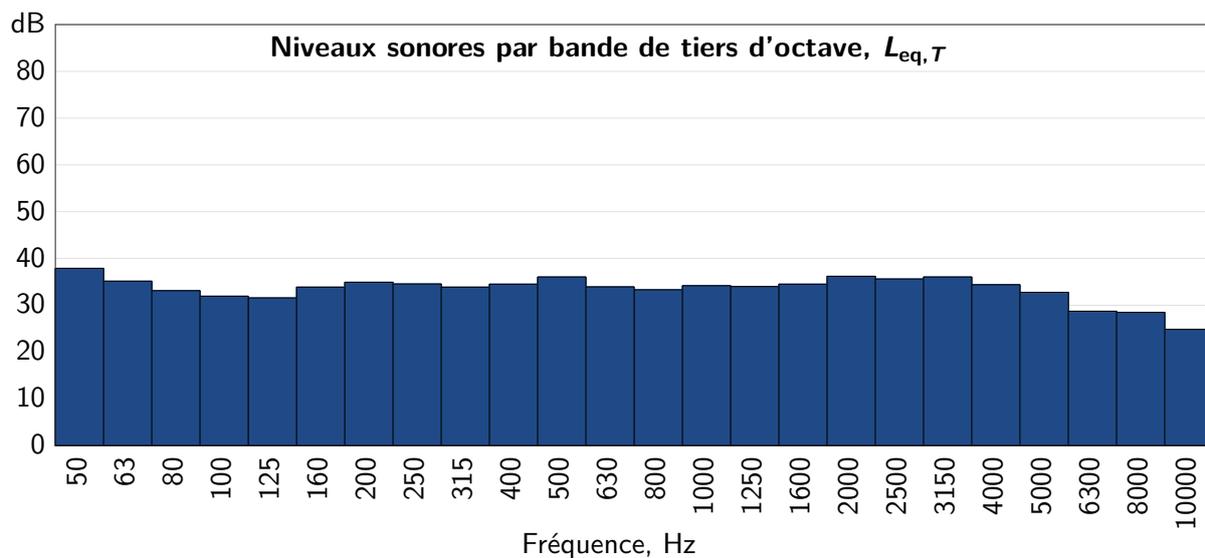
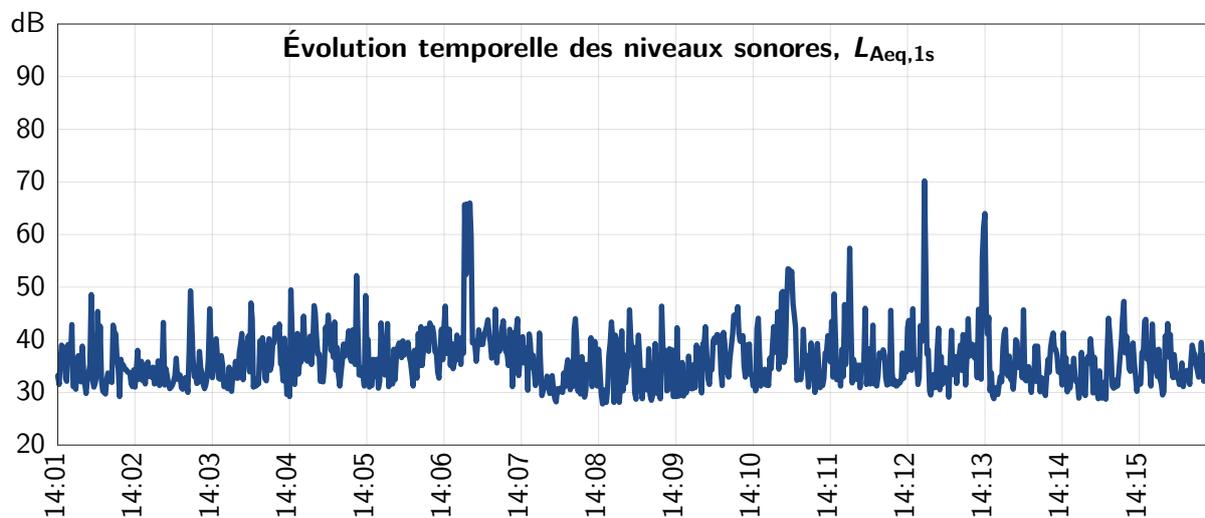
3.17 BO12 – Point 2 : Hangar plateforme BO-4



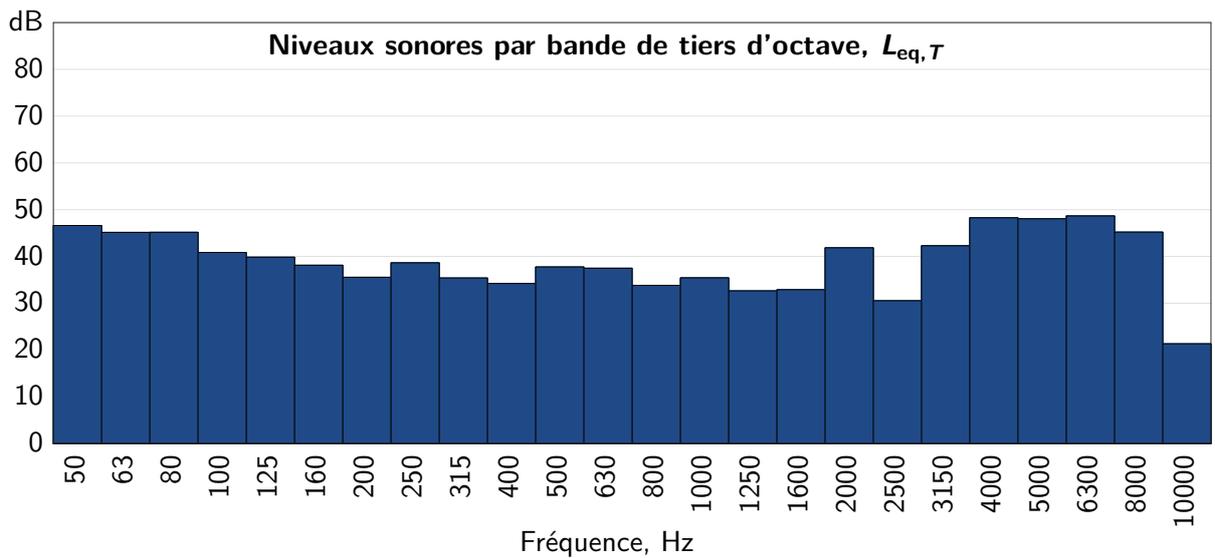
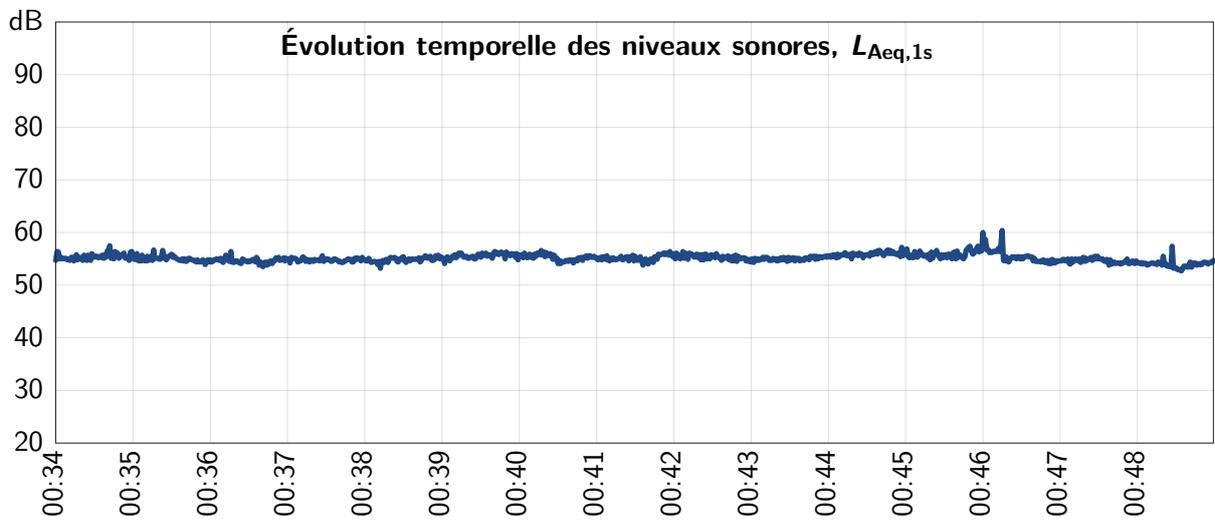
3.17.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



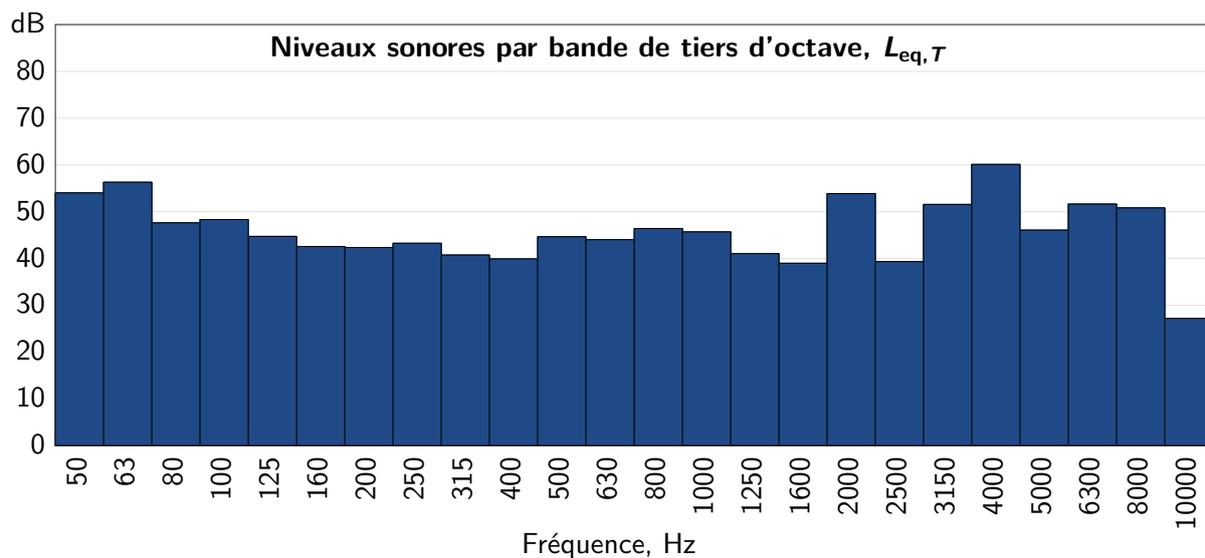
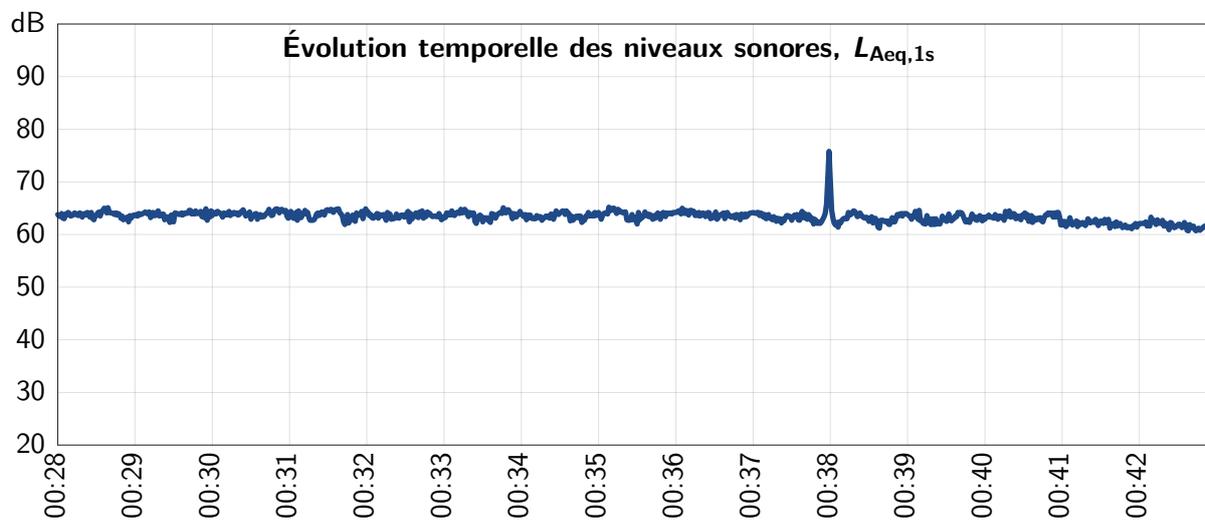
3.17.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.17.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



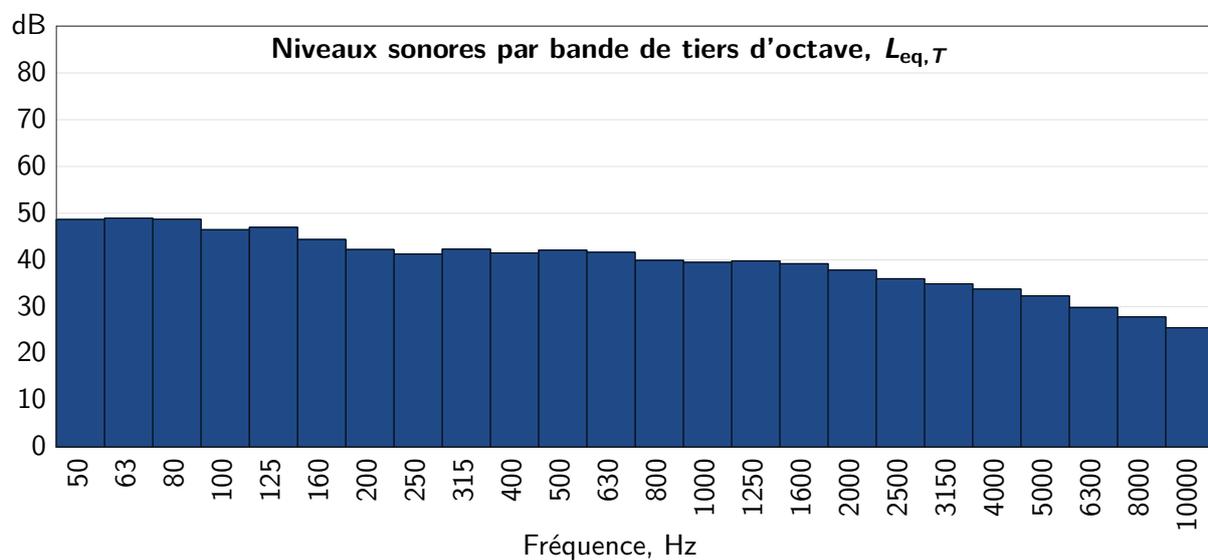
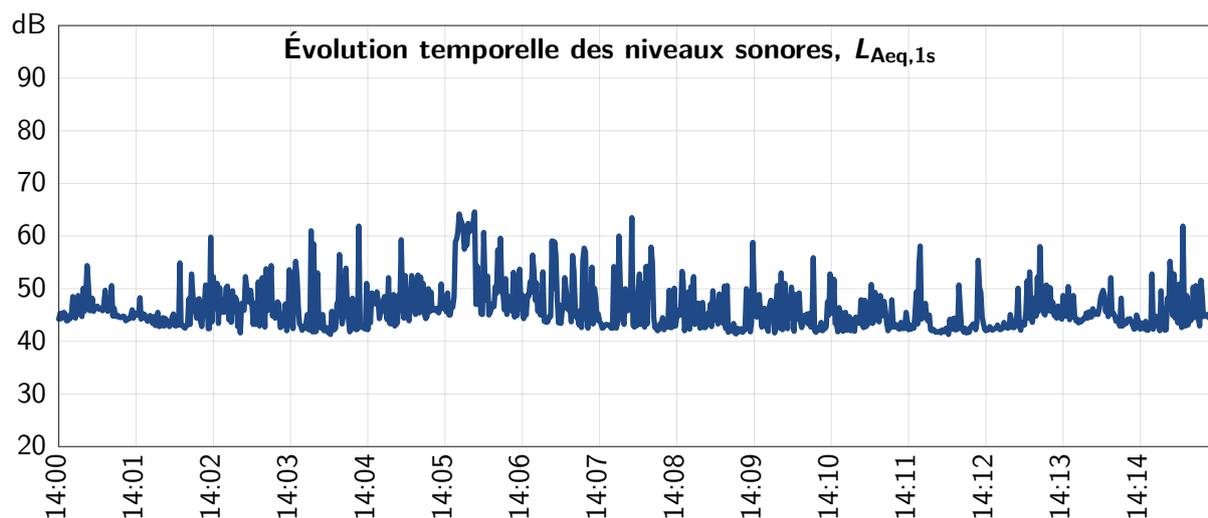
3.17.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



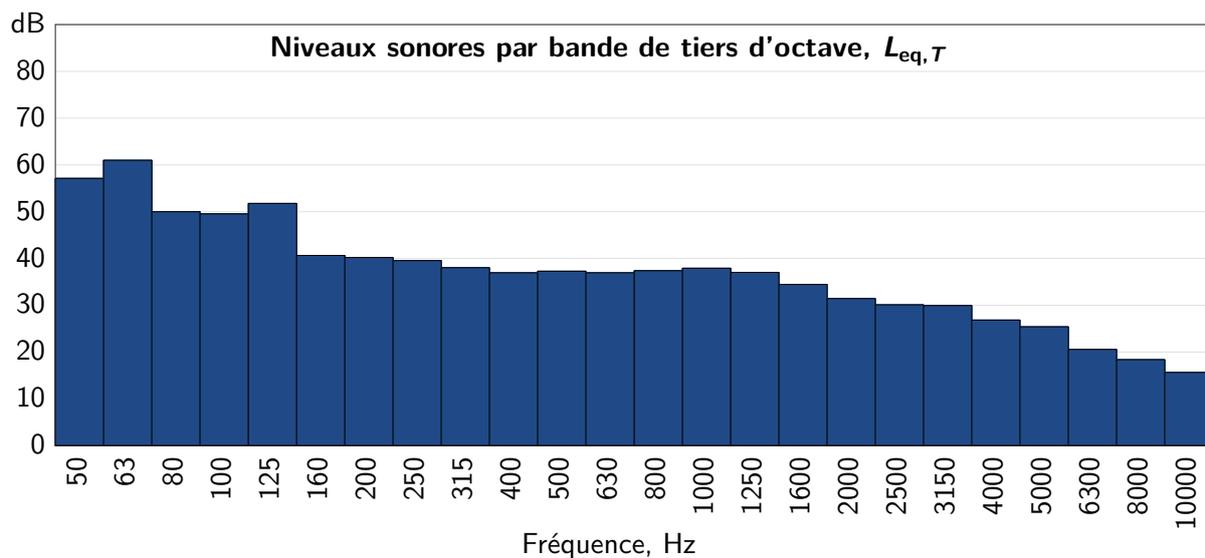
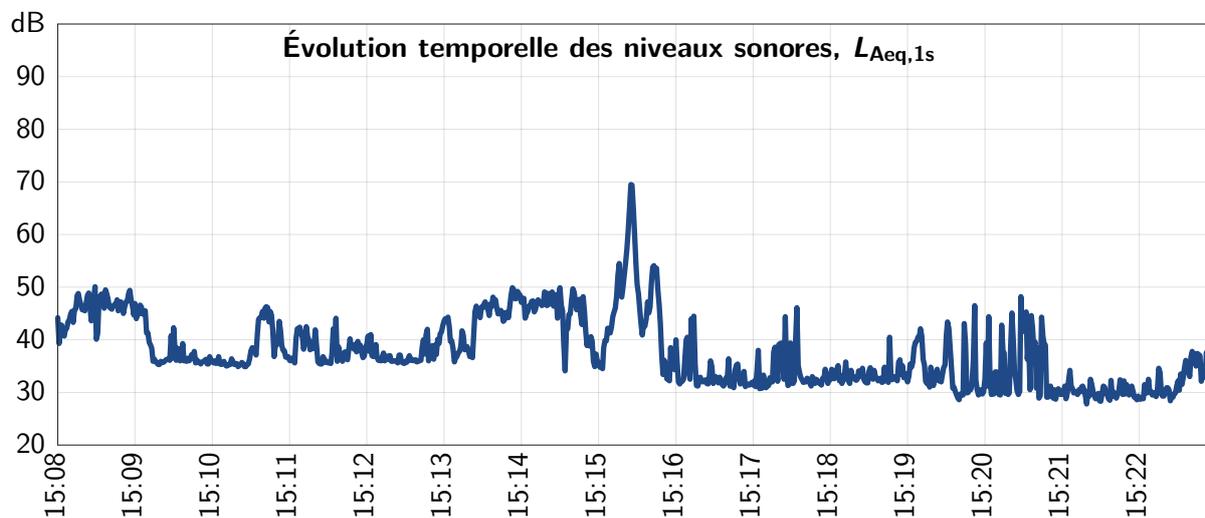
3.18 BO12 – Point 3 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison à droite



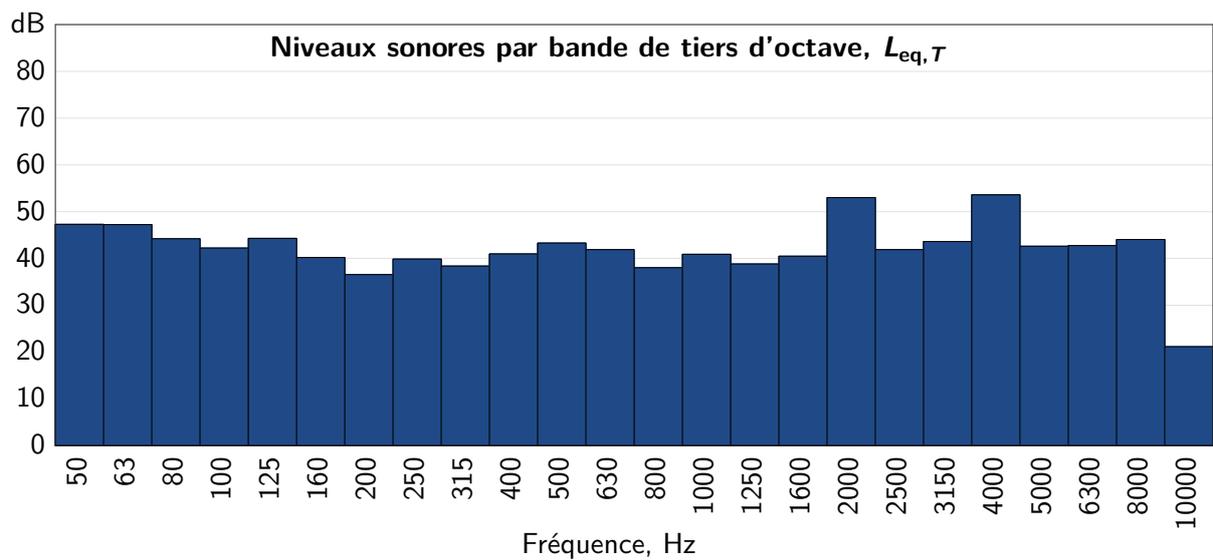
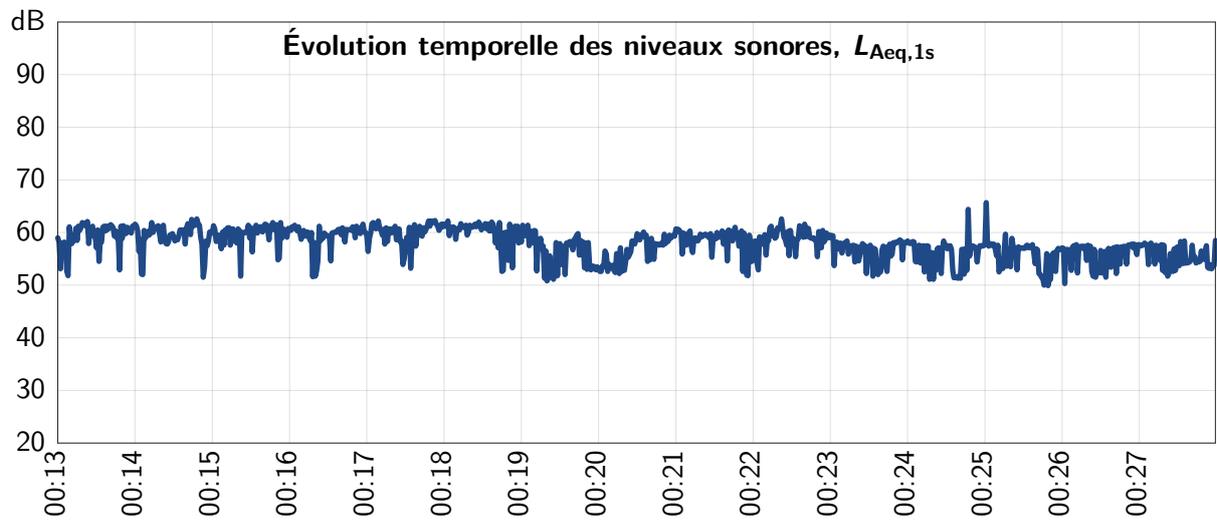
3.18.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



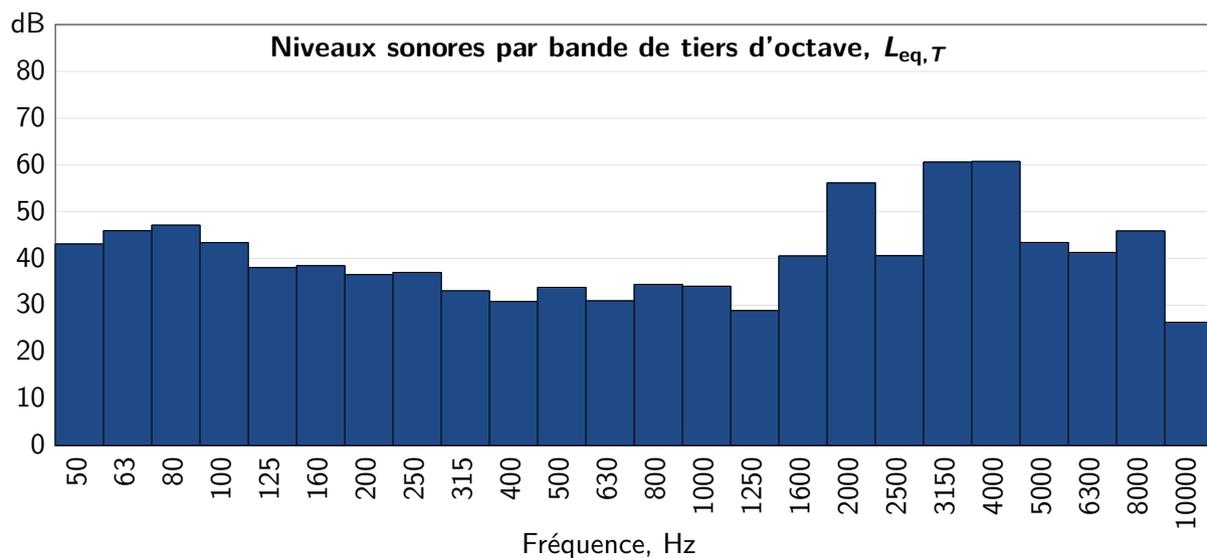
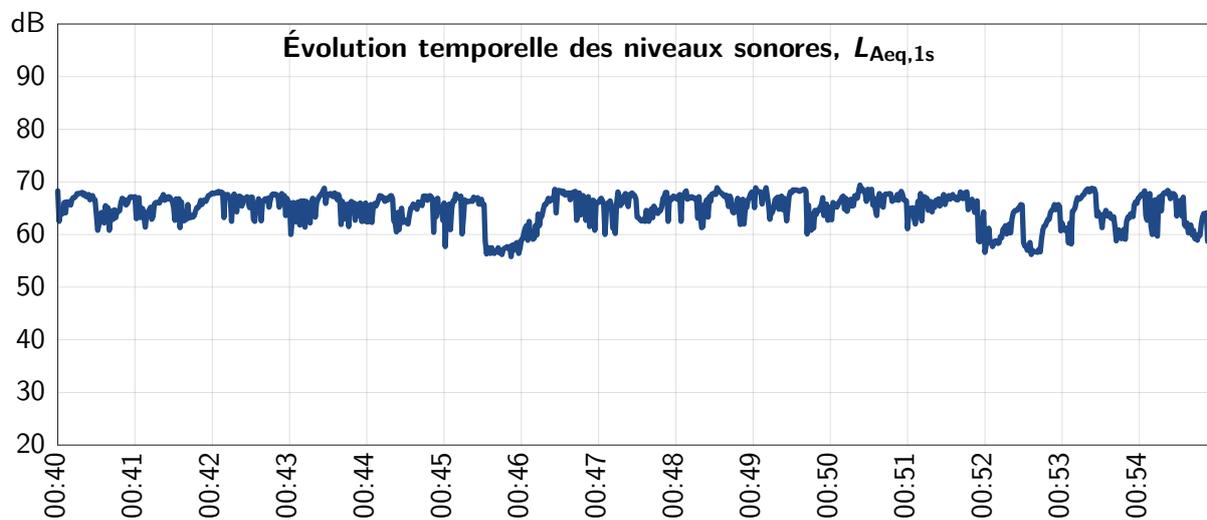
3.18.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.18.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



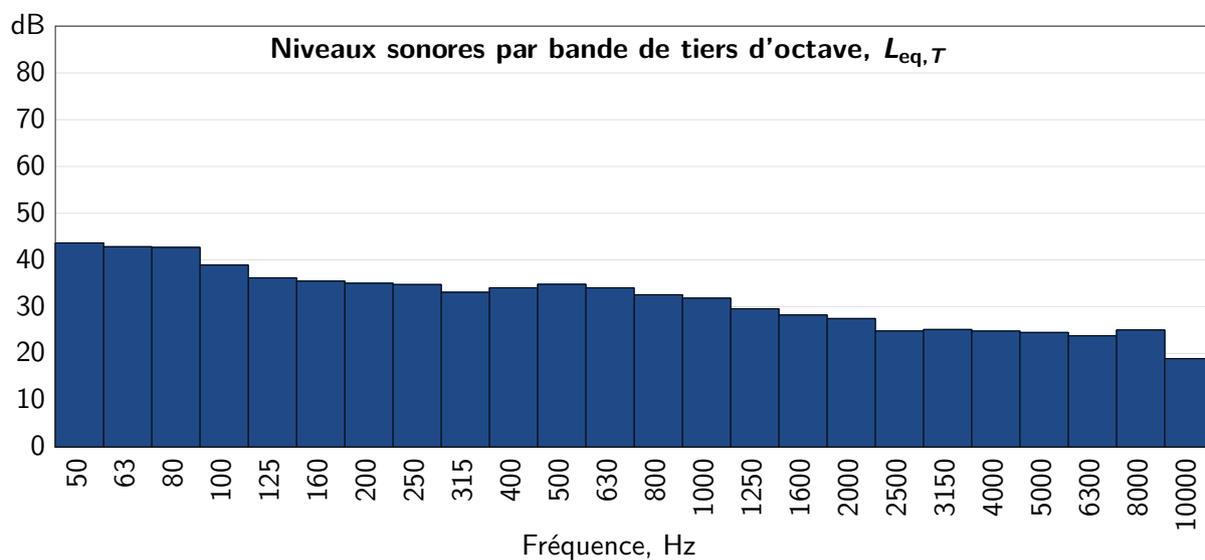
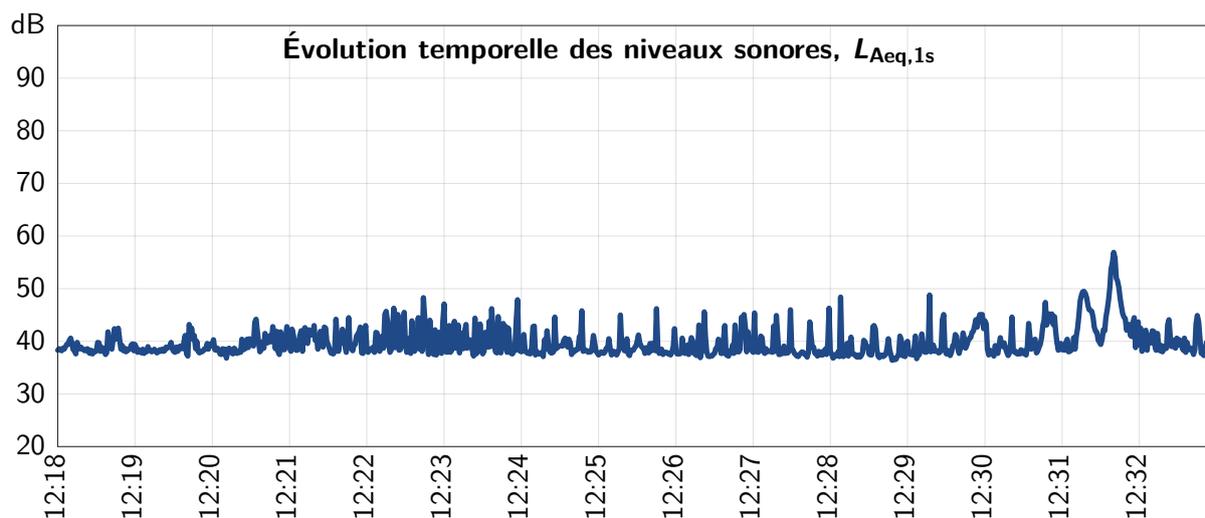
3.18.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



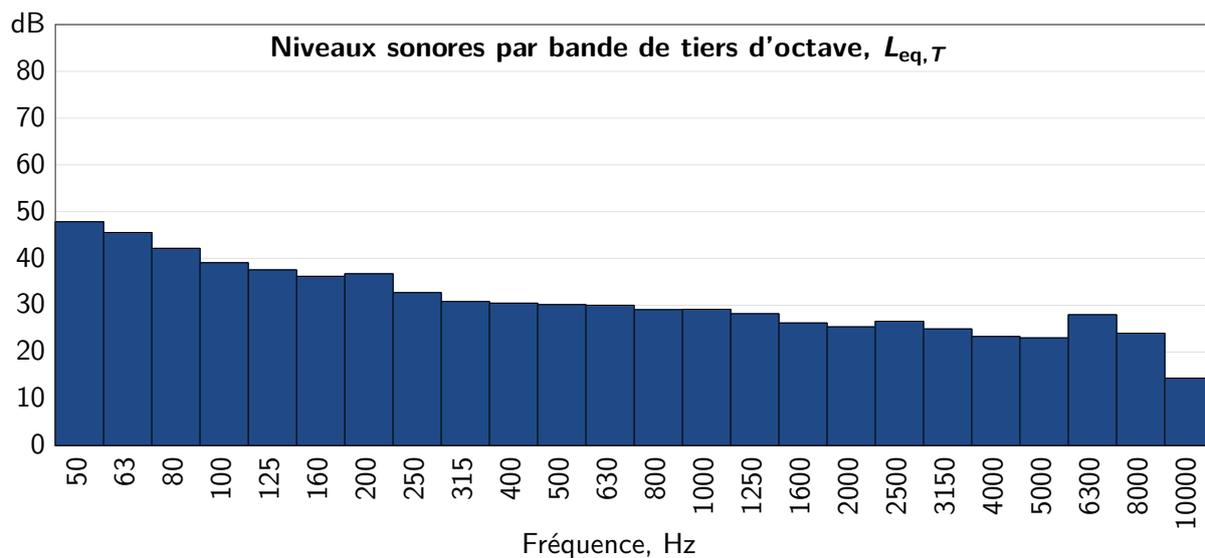
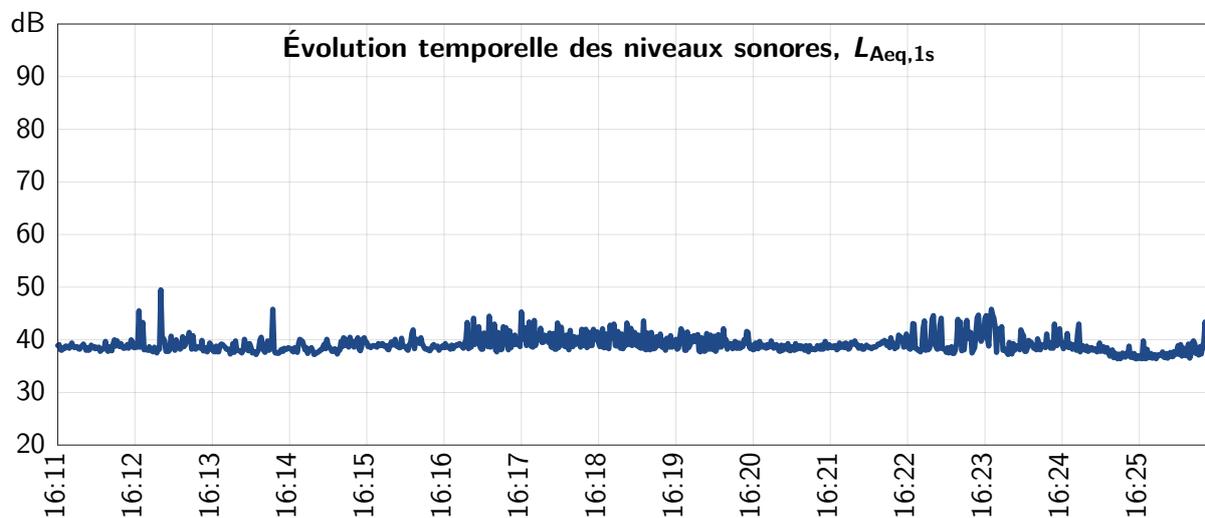
3.19 BO12 – Point 4 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison Caffa 1



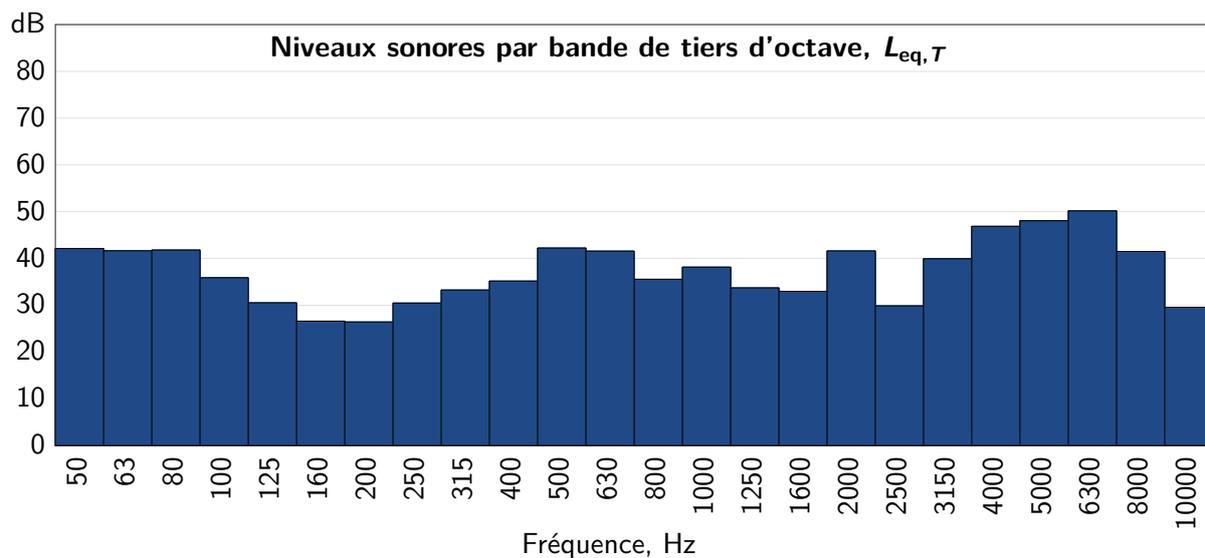
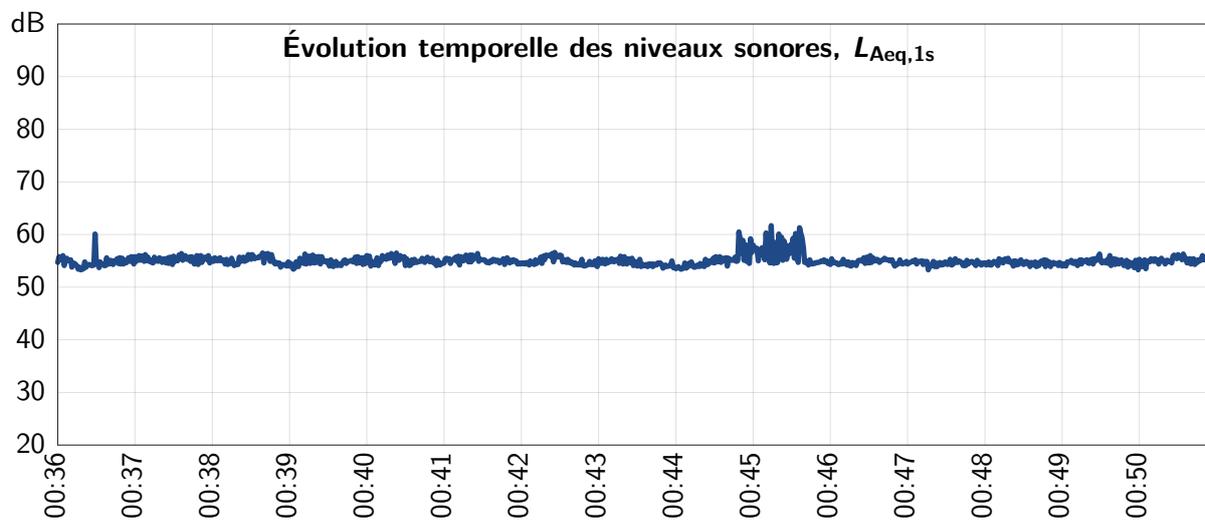
3.19.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



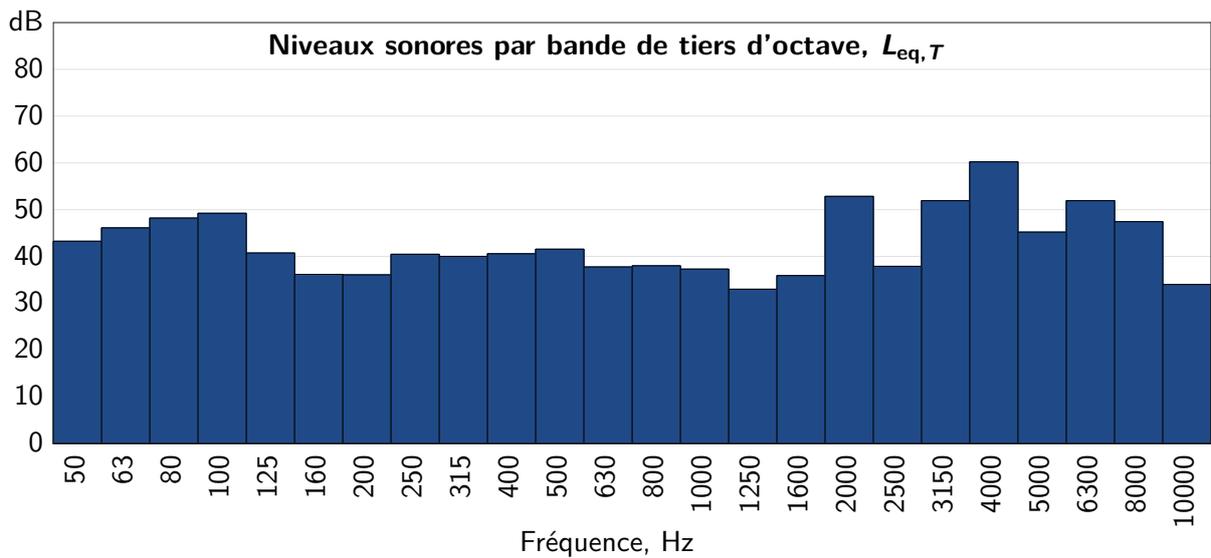
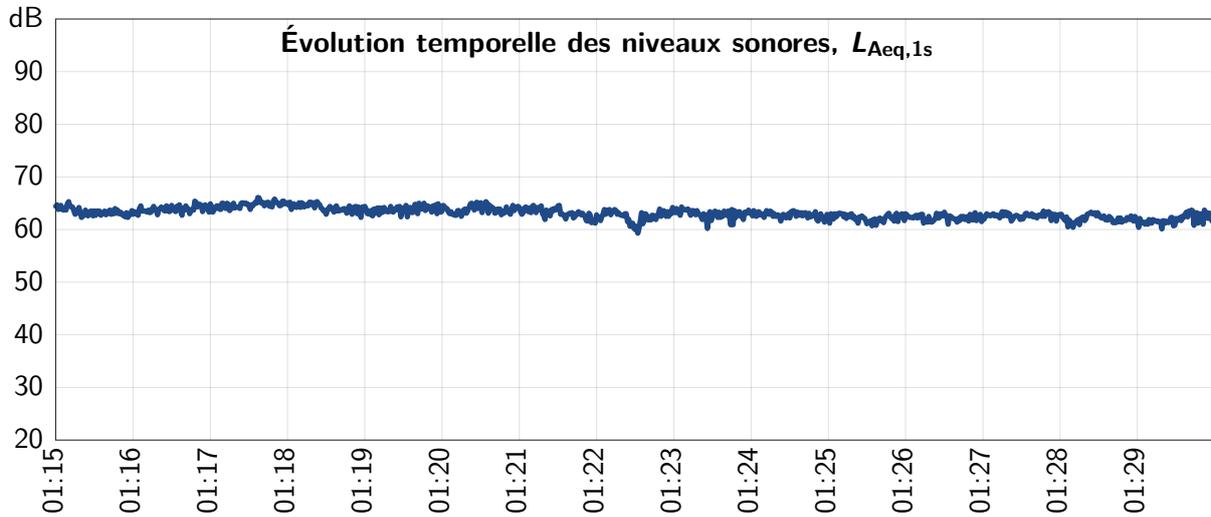
3.19.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.19.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



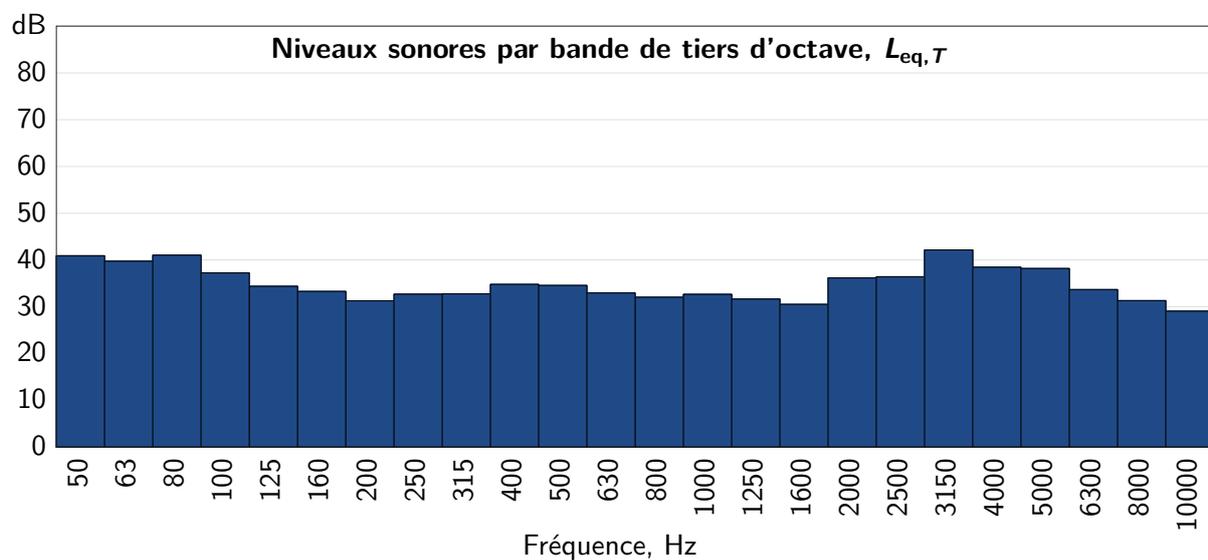
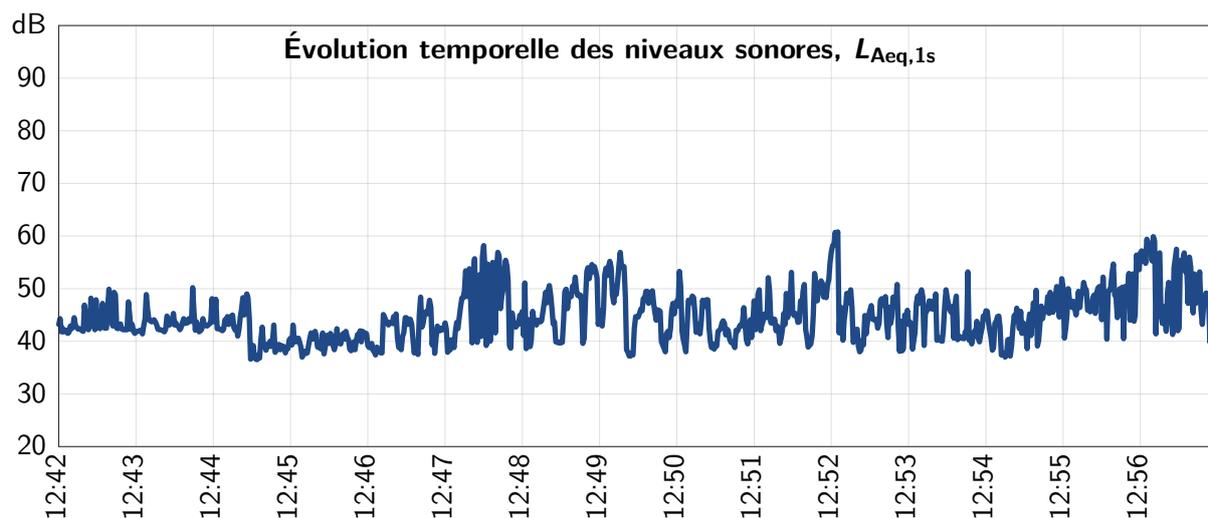
3.19.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



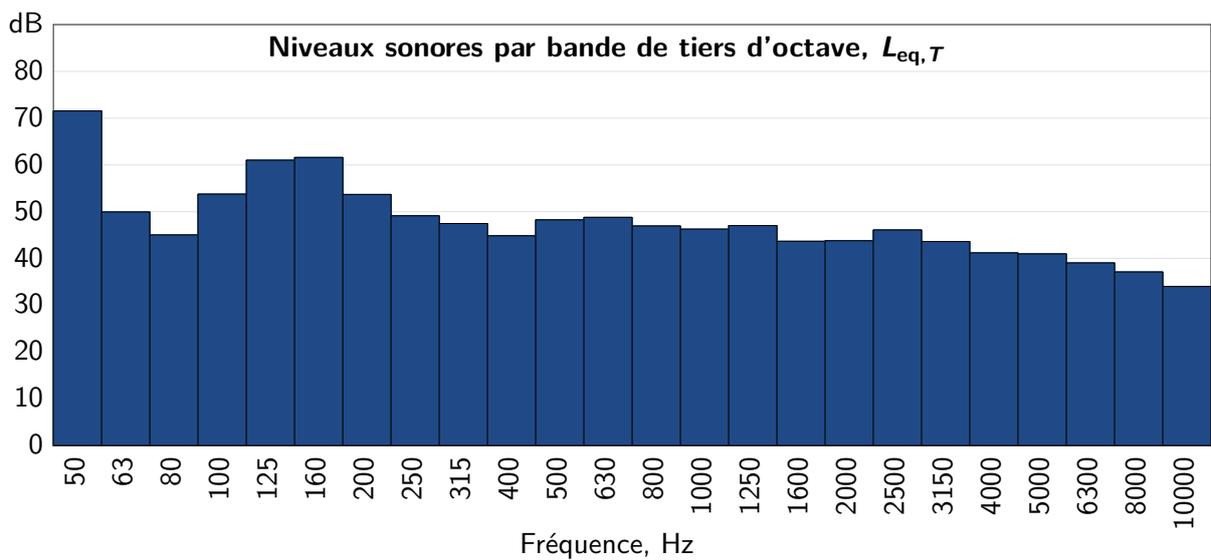
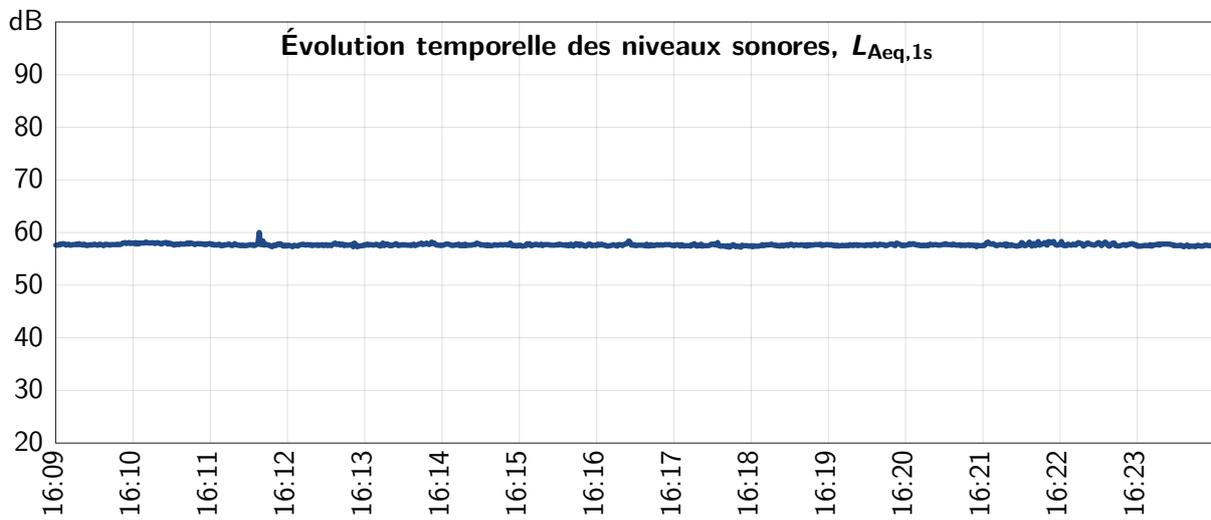
3.20 BO12 – Point 5 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison Caffa 2



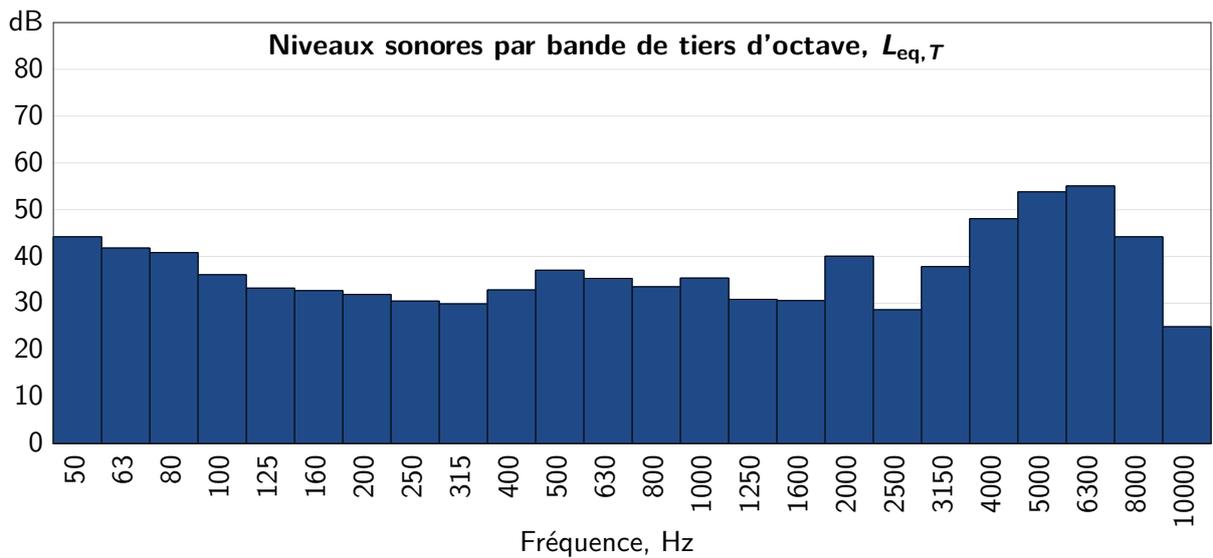
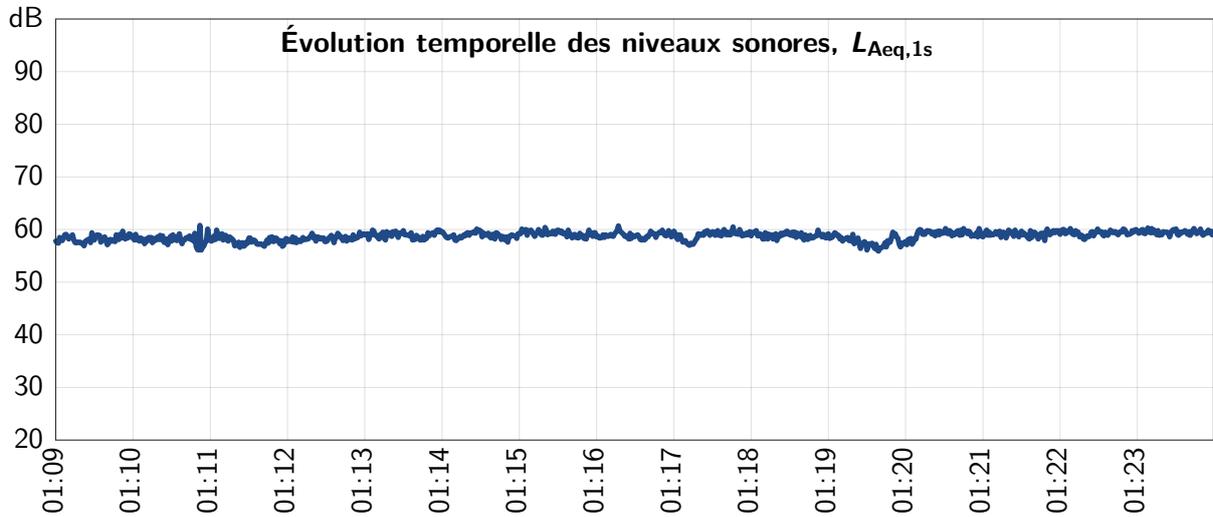
3.20.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



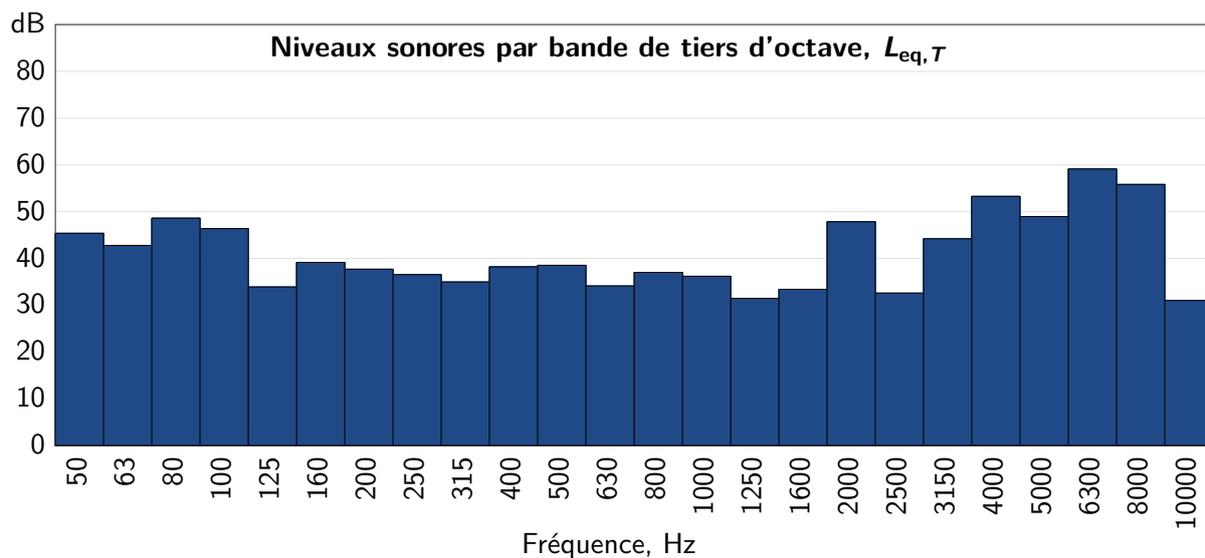
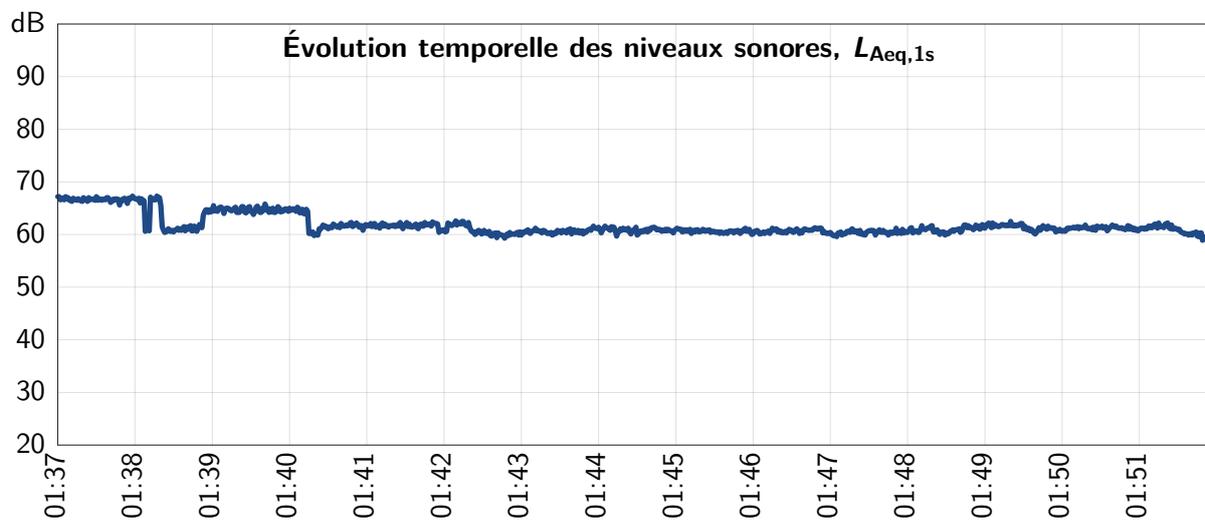
3.20.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



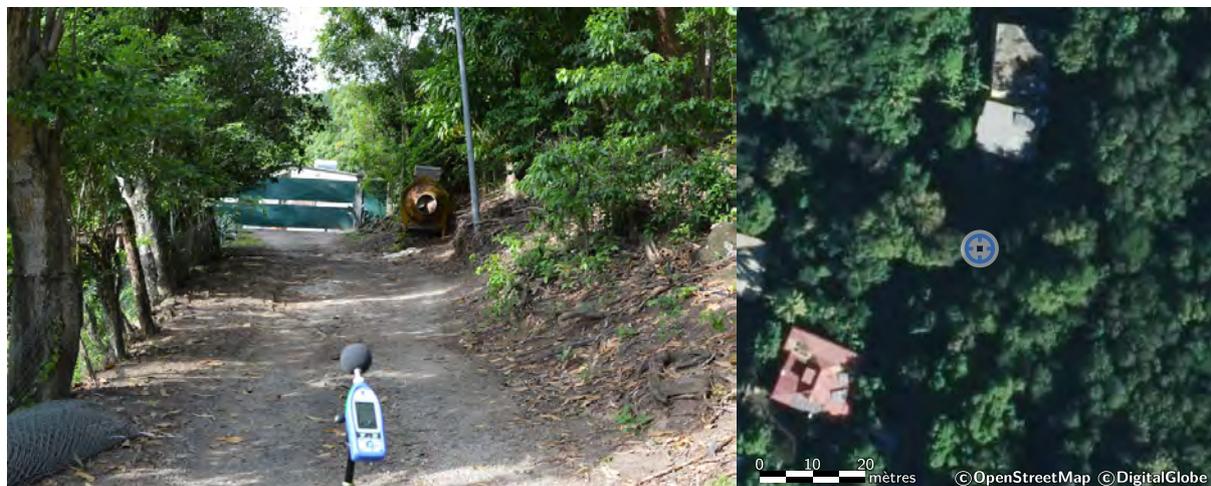
3.20.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



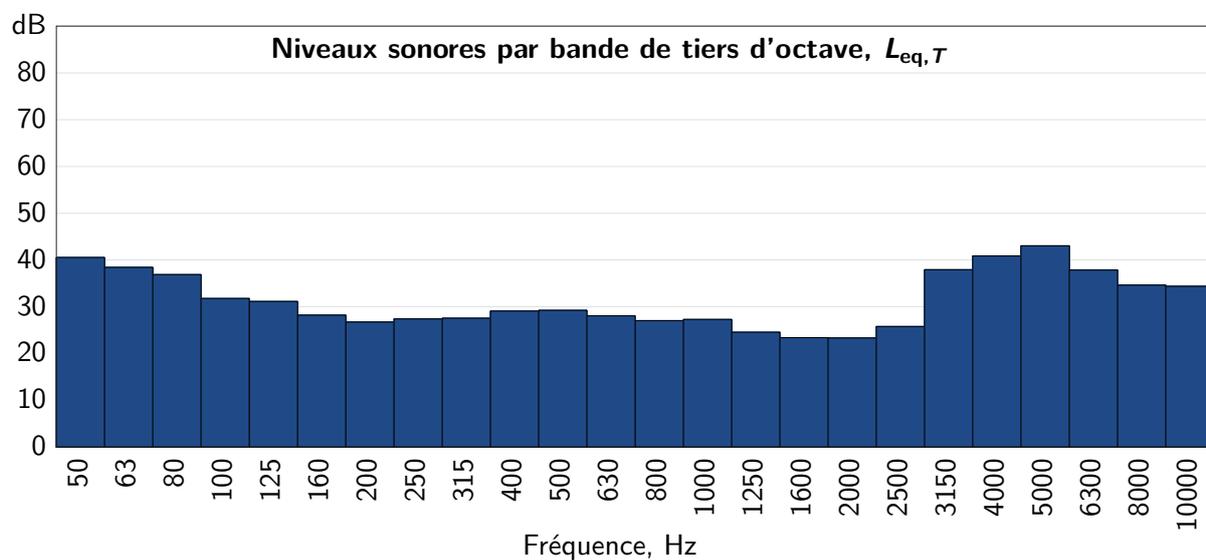
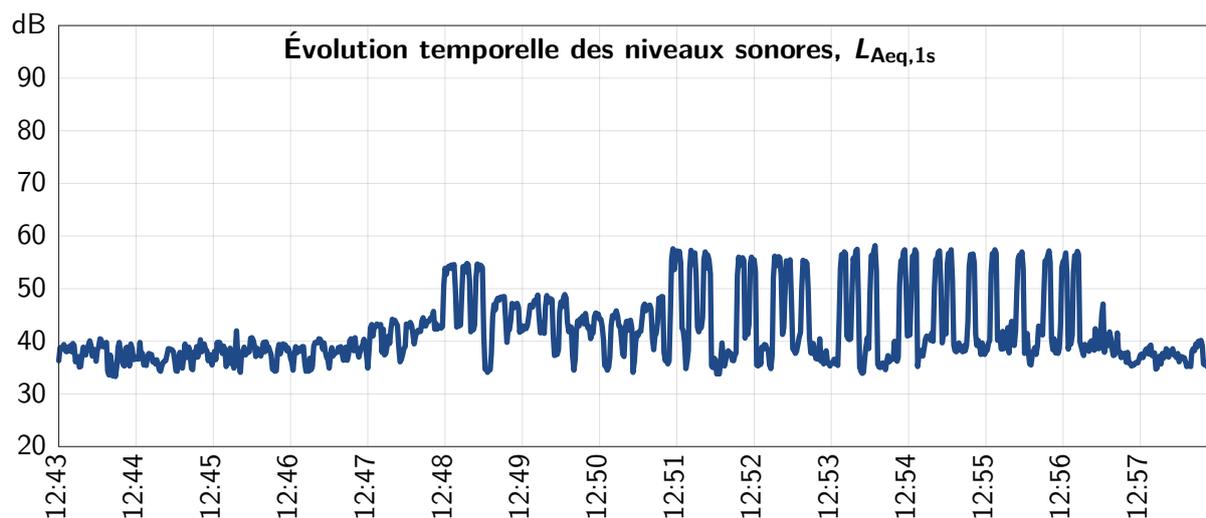
3.20.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



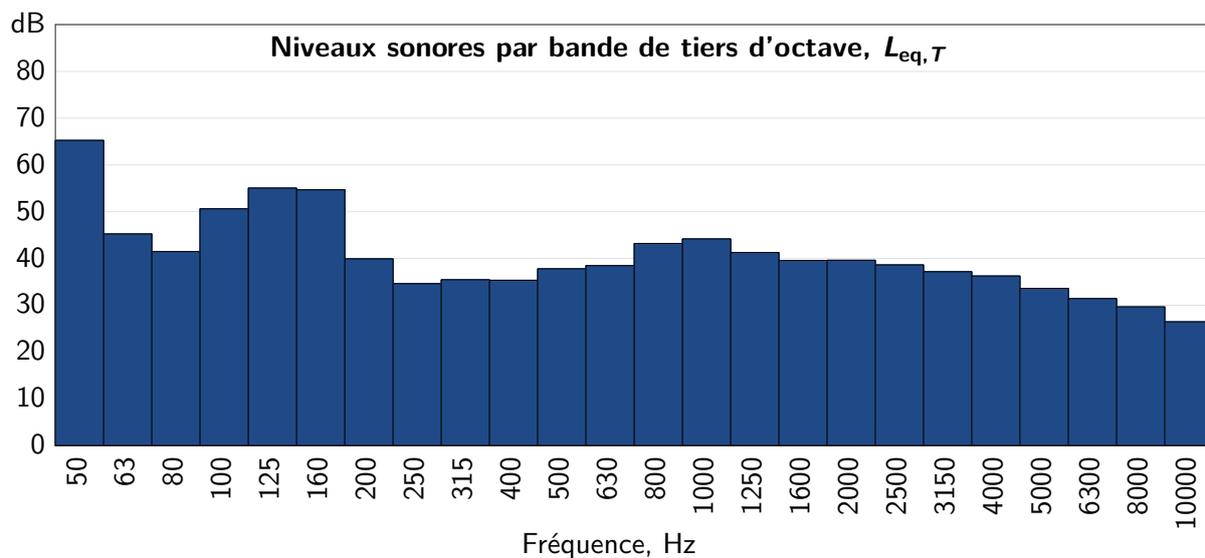
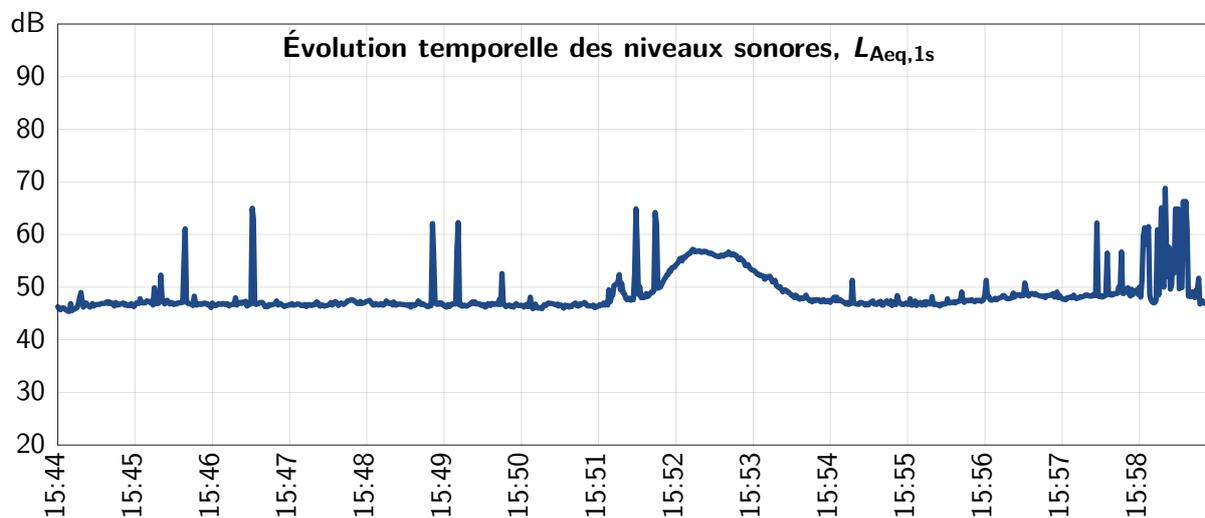
3.21 BO12 – Point 6 : Sur le chemin Descoudes au niveau maison Caffa 3



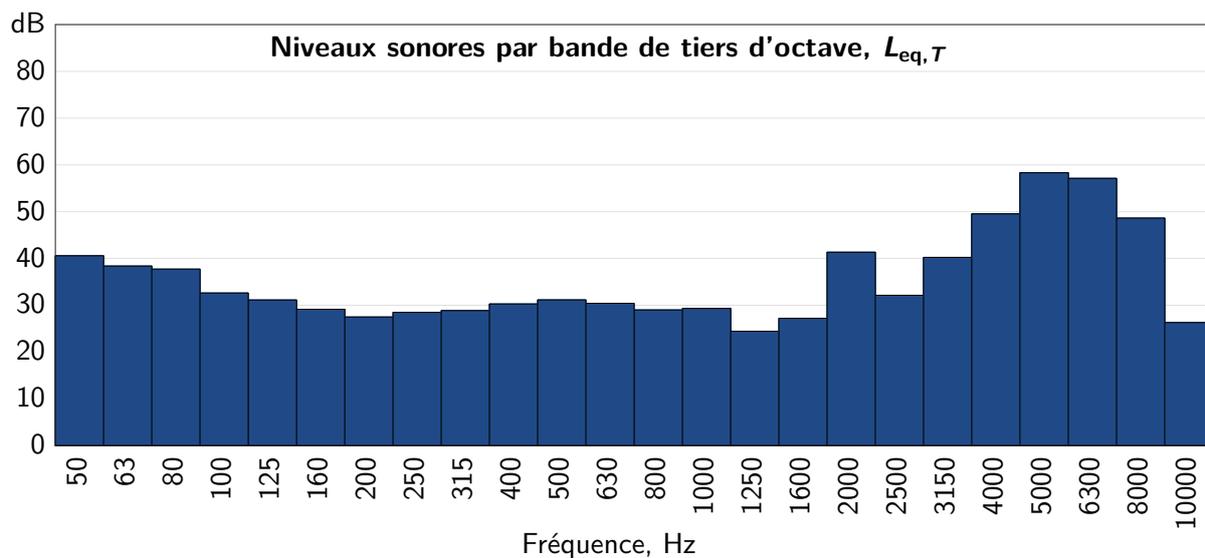
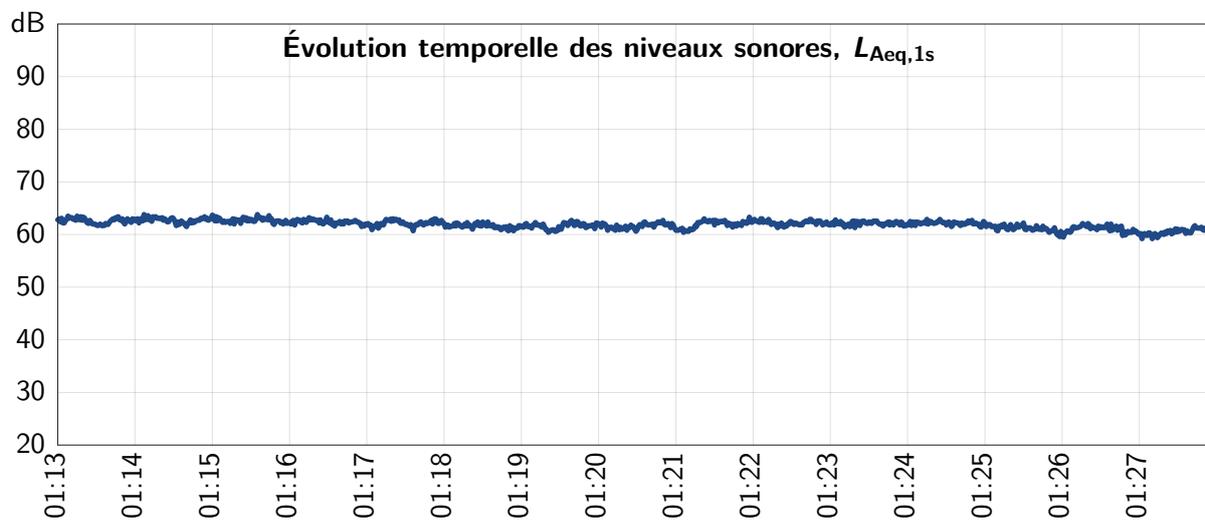
3.21.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



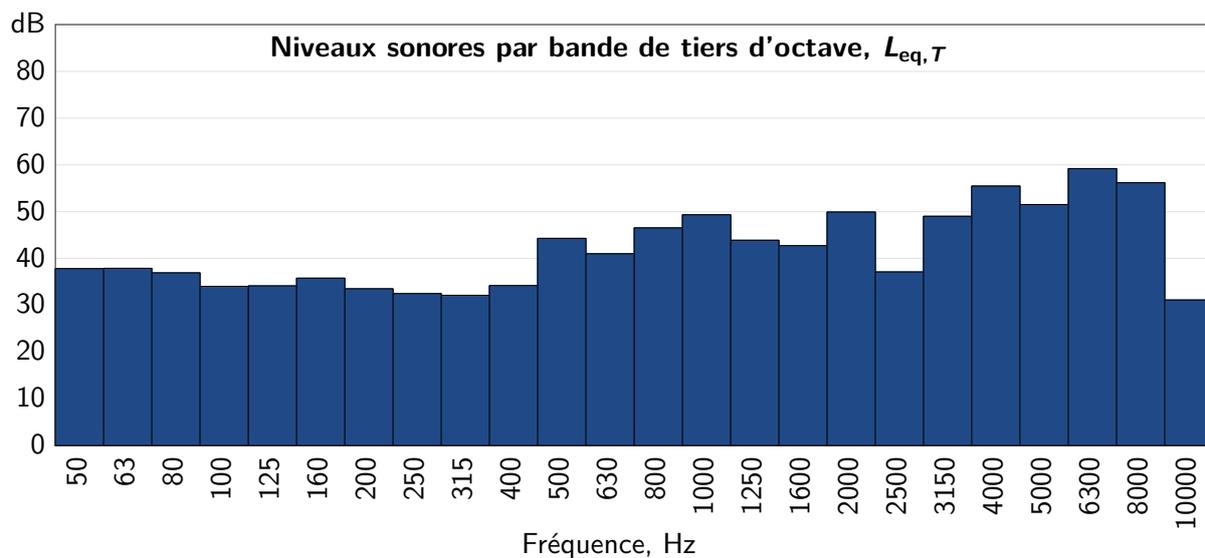
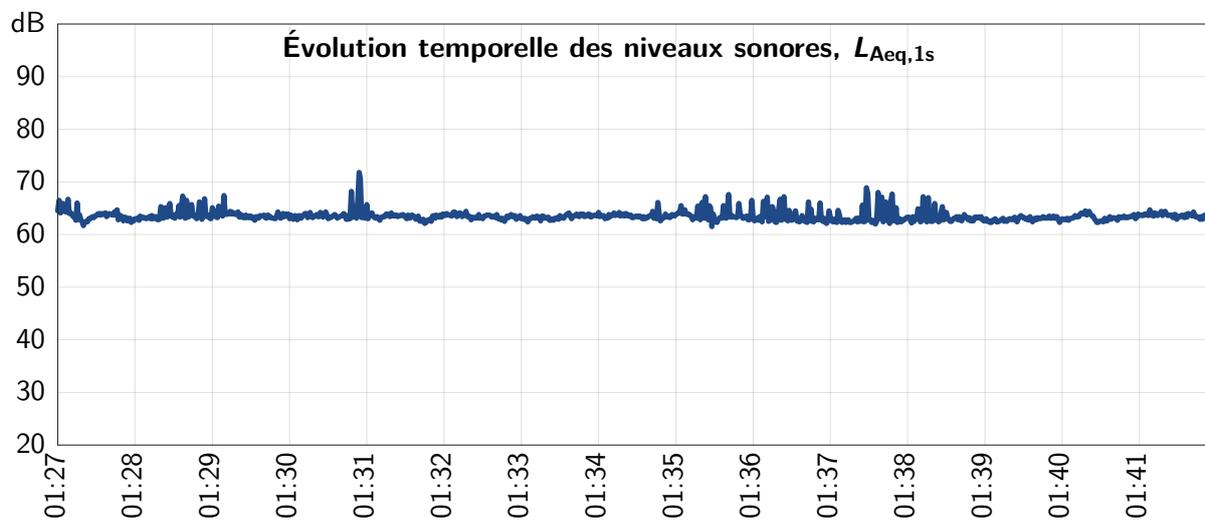
3.21.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.21.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



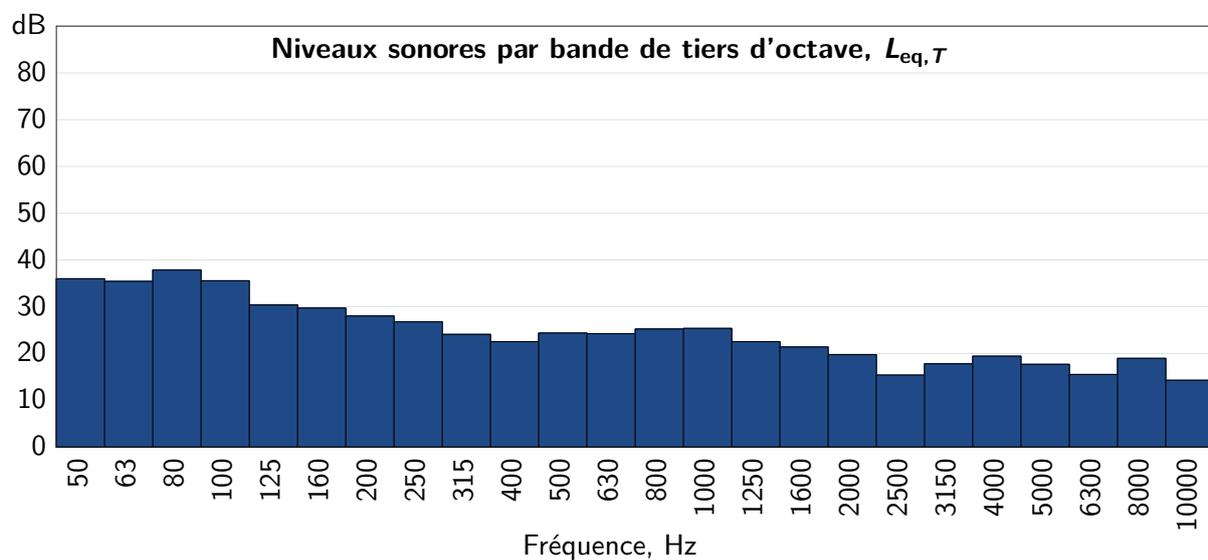
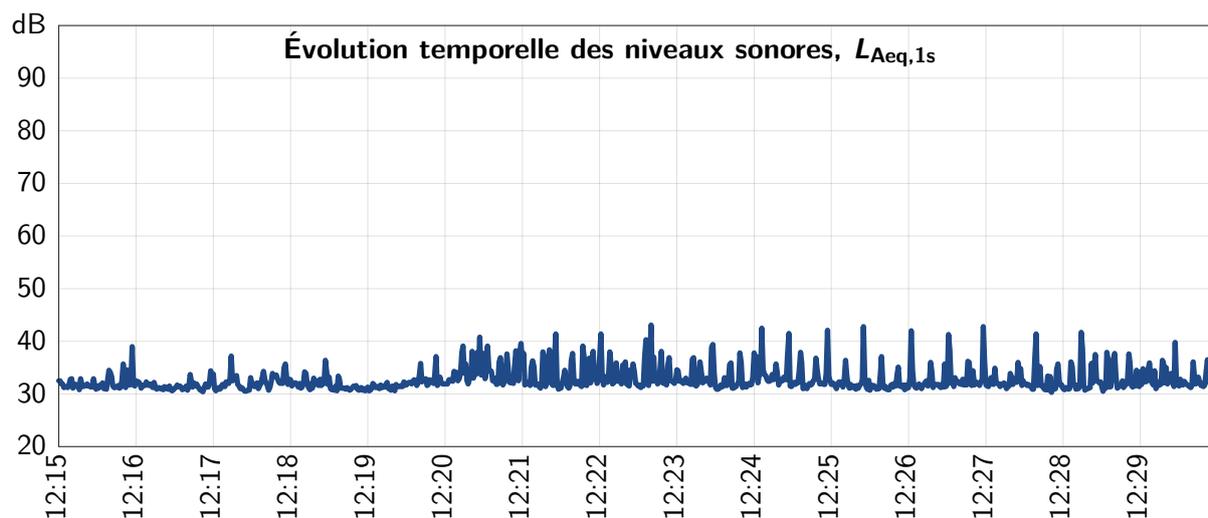
3.21.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



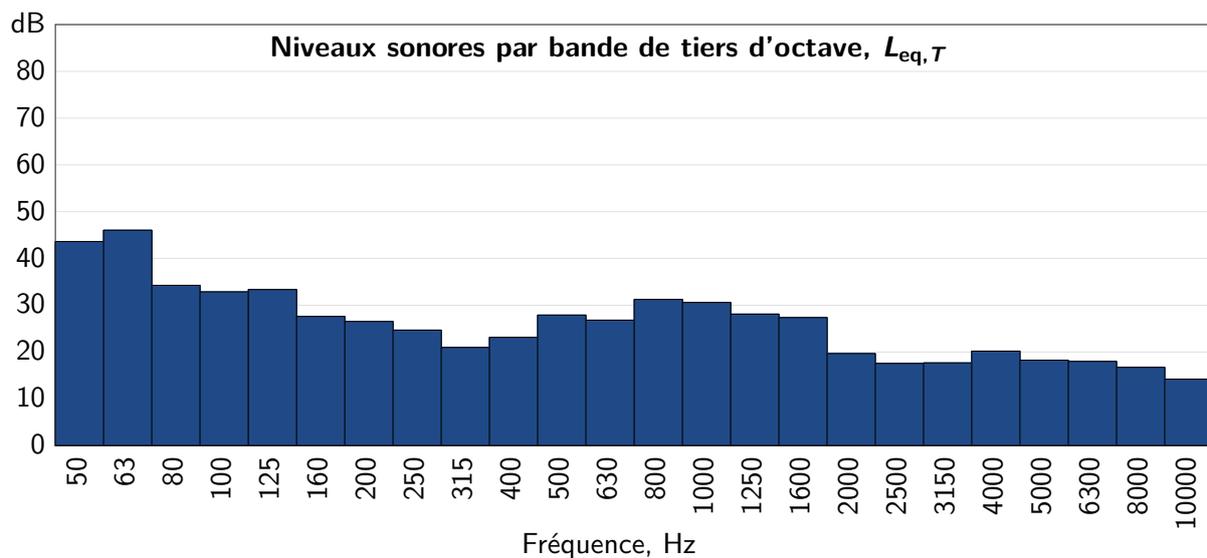
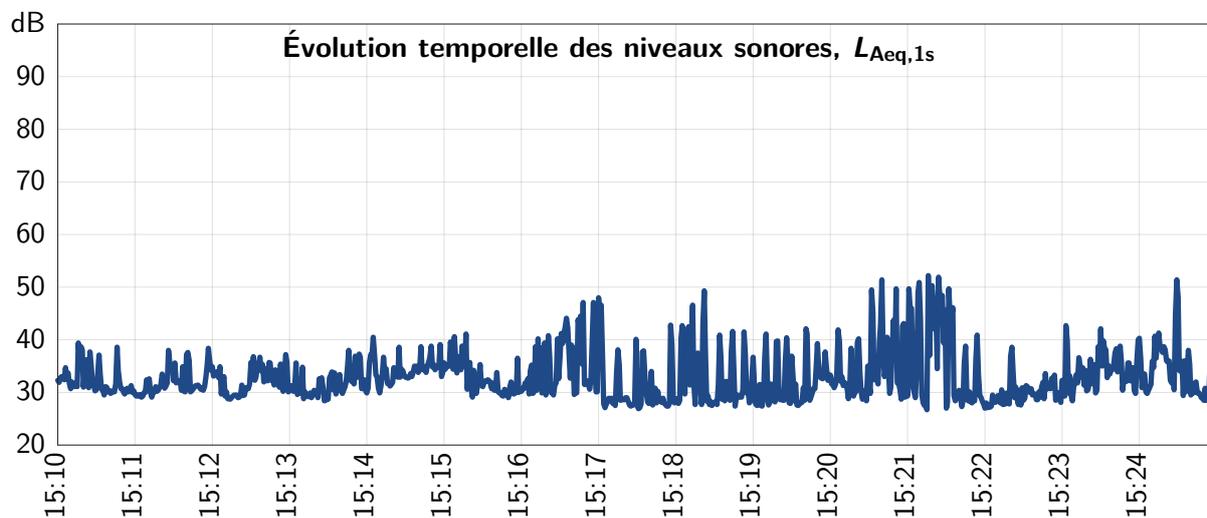
3.22 BO12 – Point 7 : Niveau maison Rodney



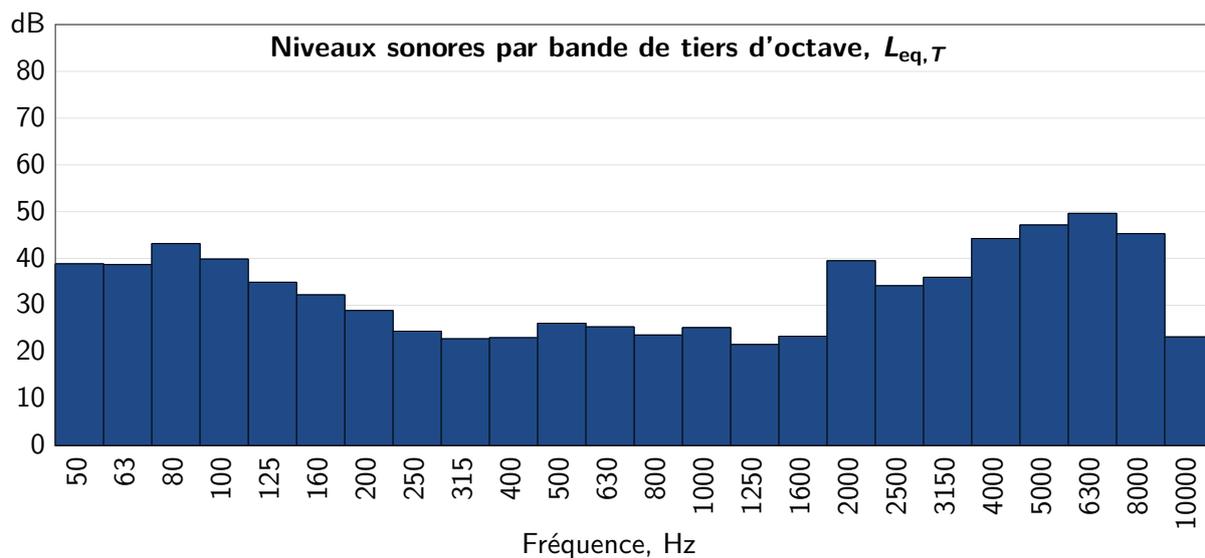
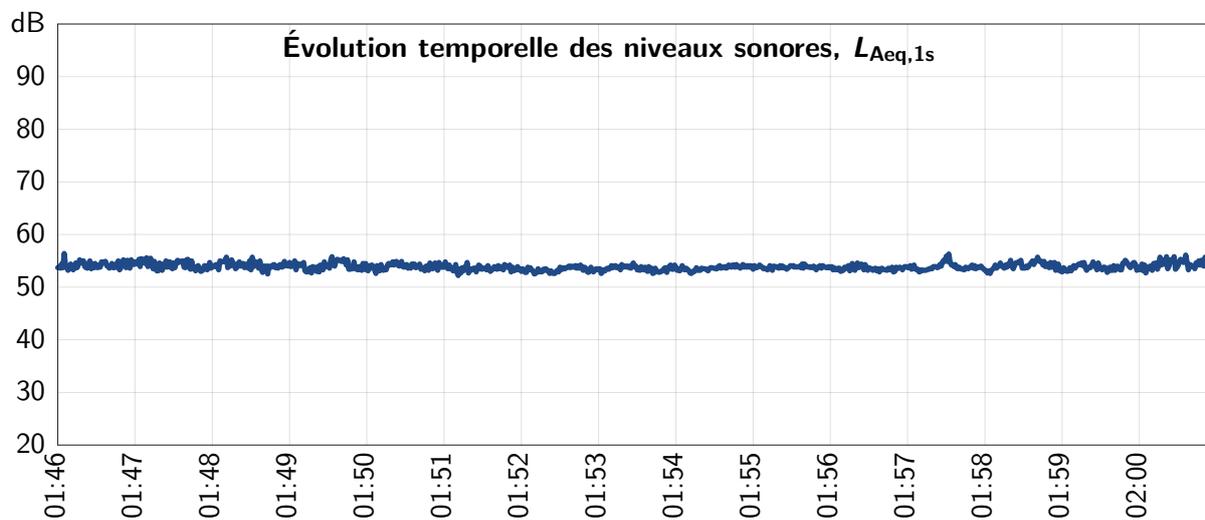
3.22.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



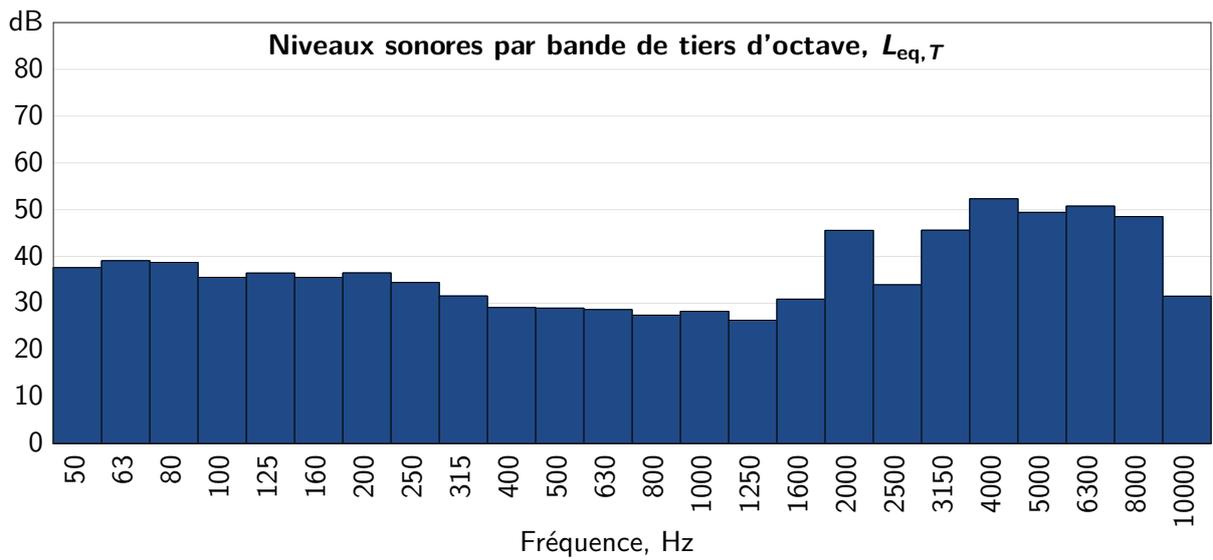
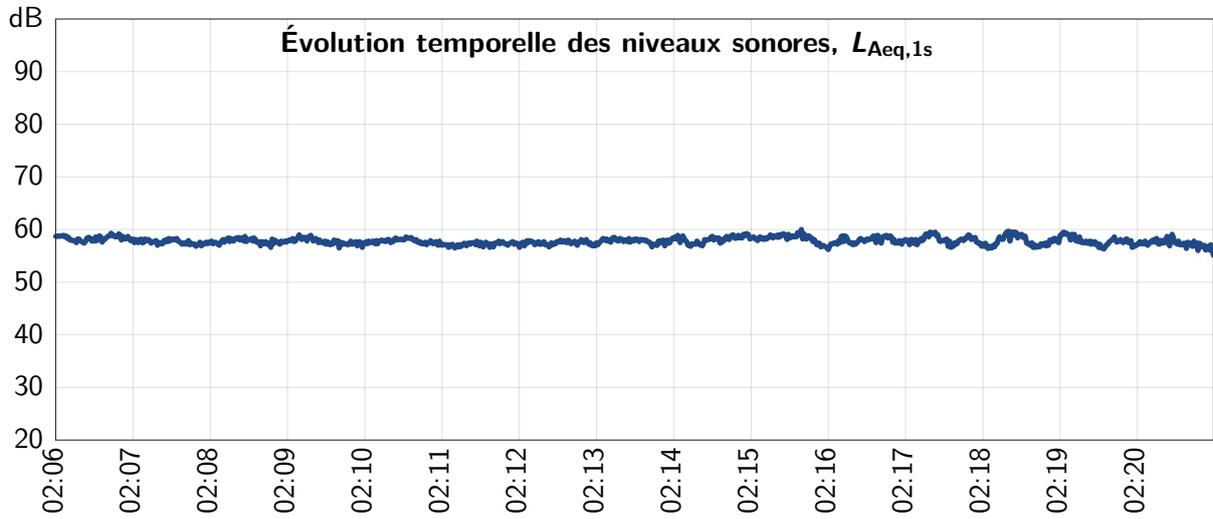
3.22.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.22.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



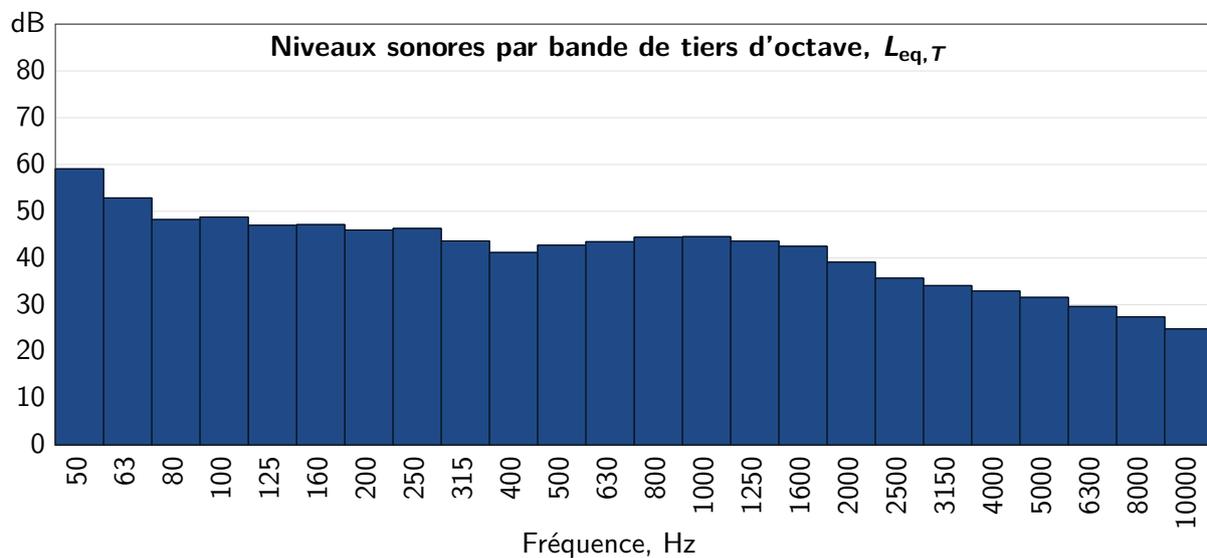
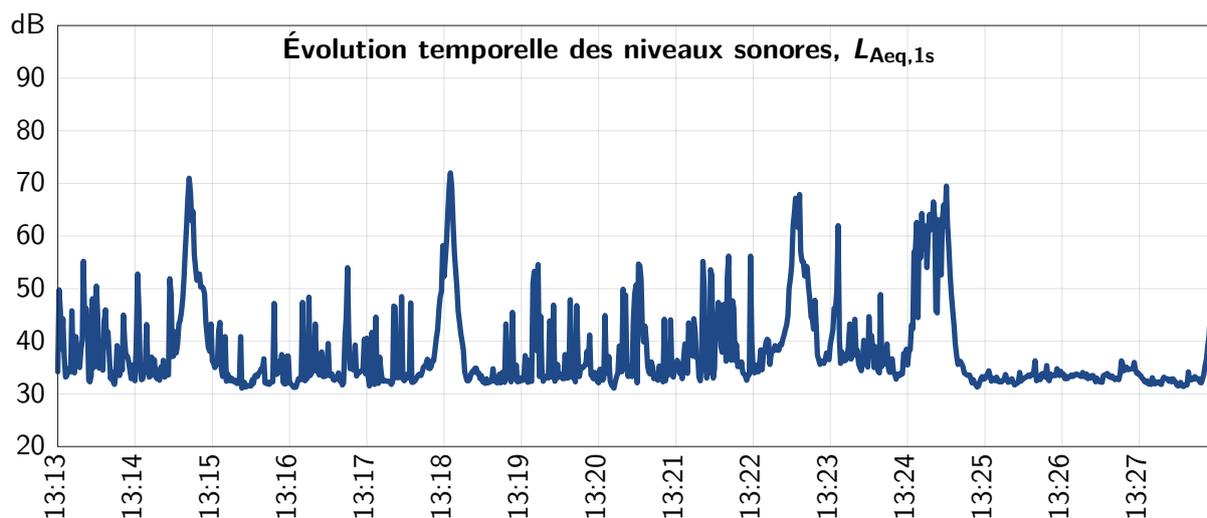
3.22.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



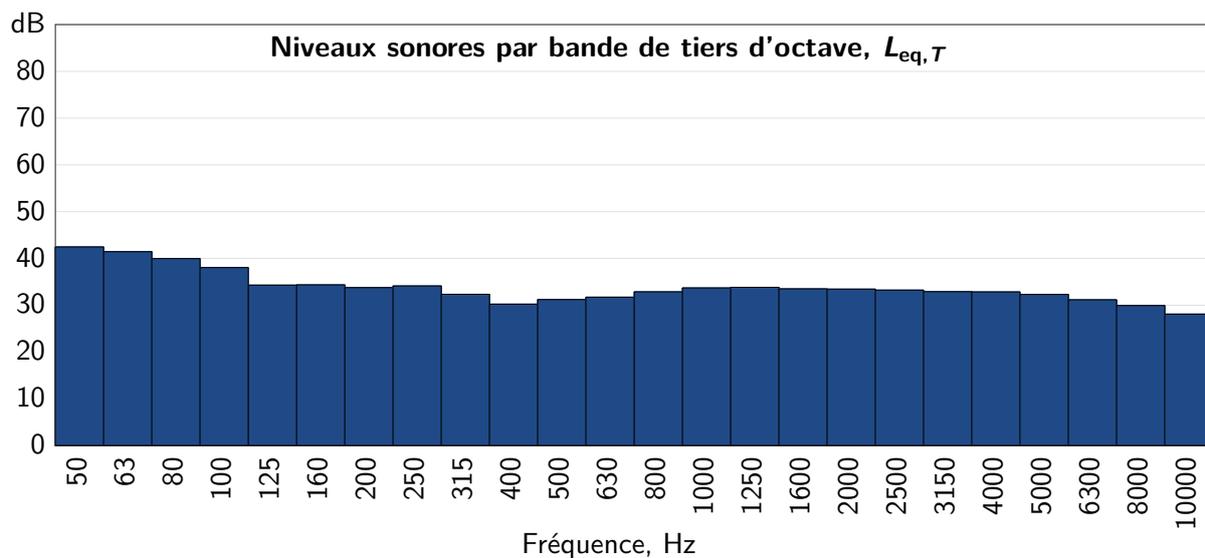
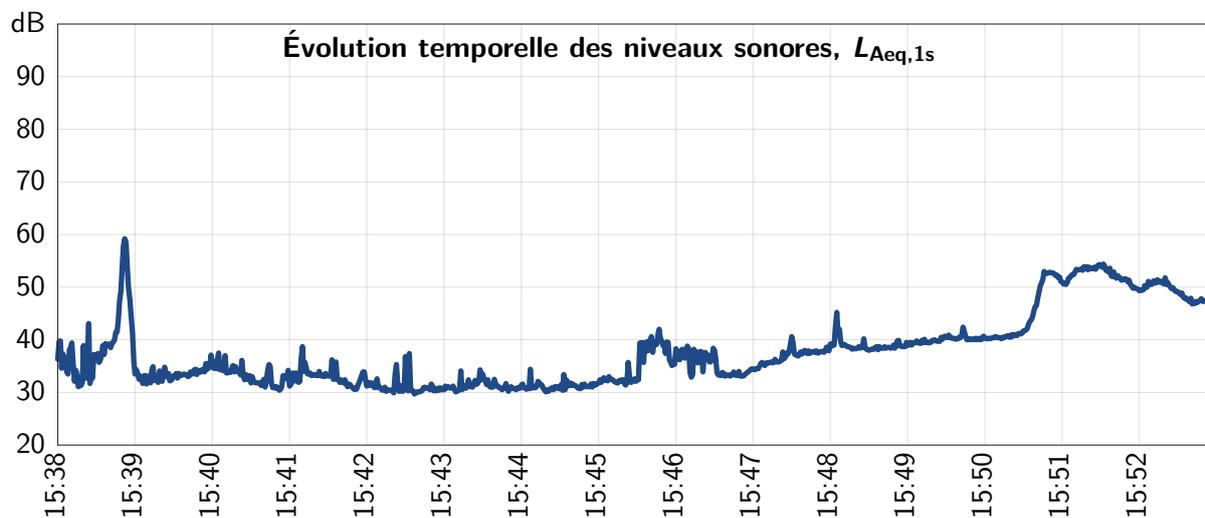
3.23 BO12 – Point 8 : Maison route Hon Muscade



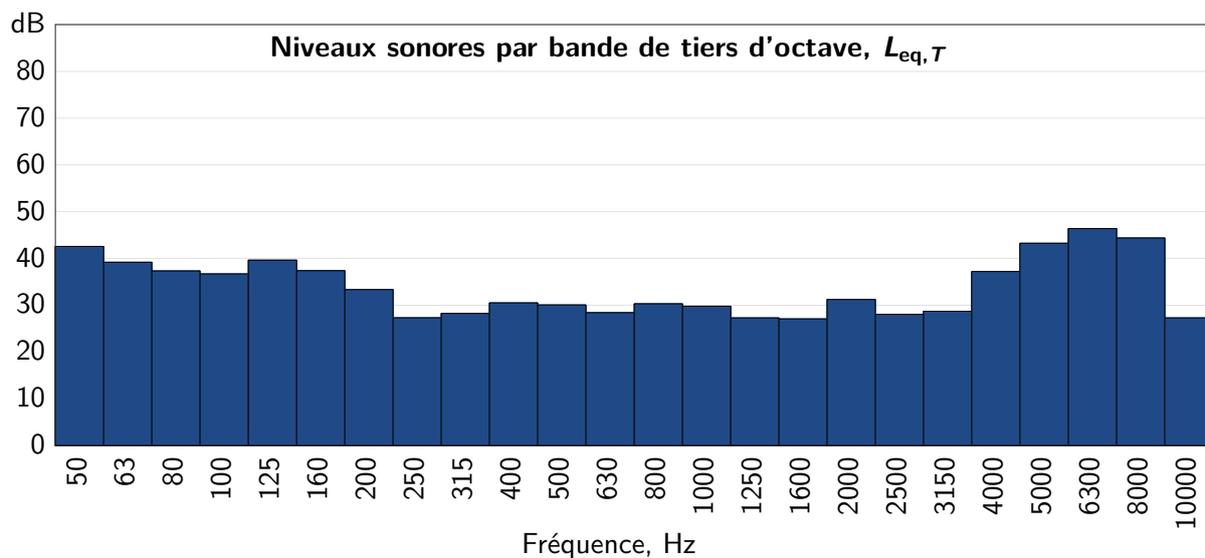
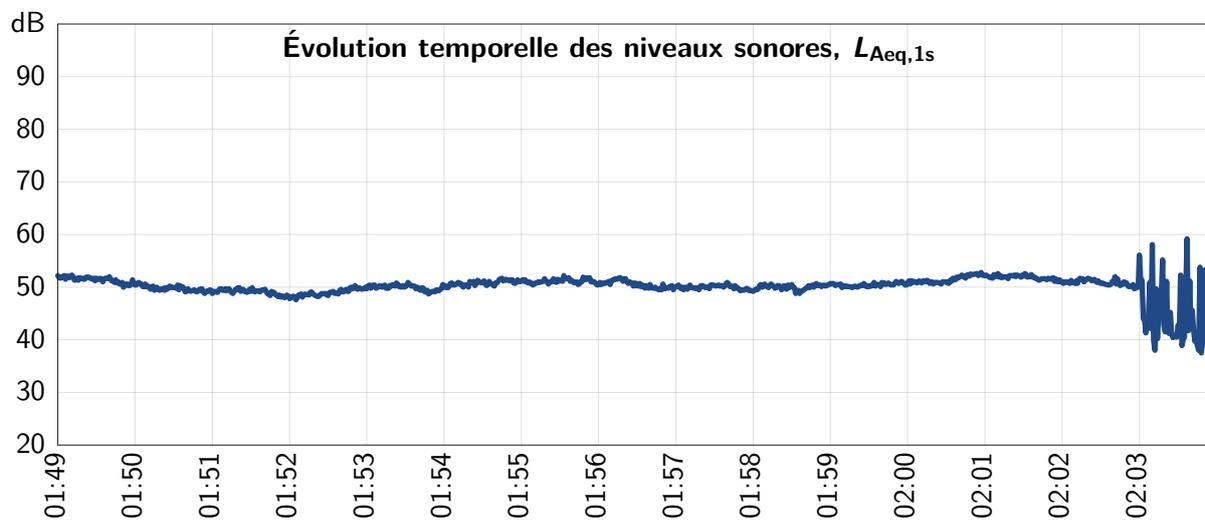
3.23.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



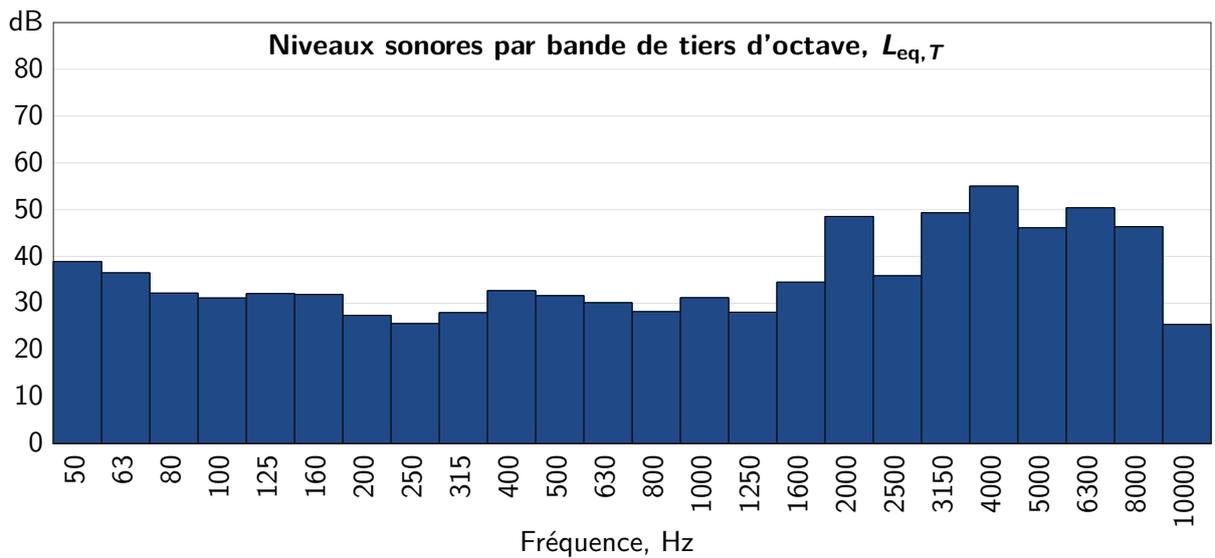
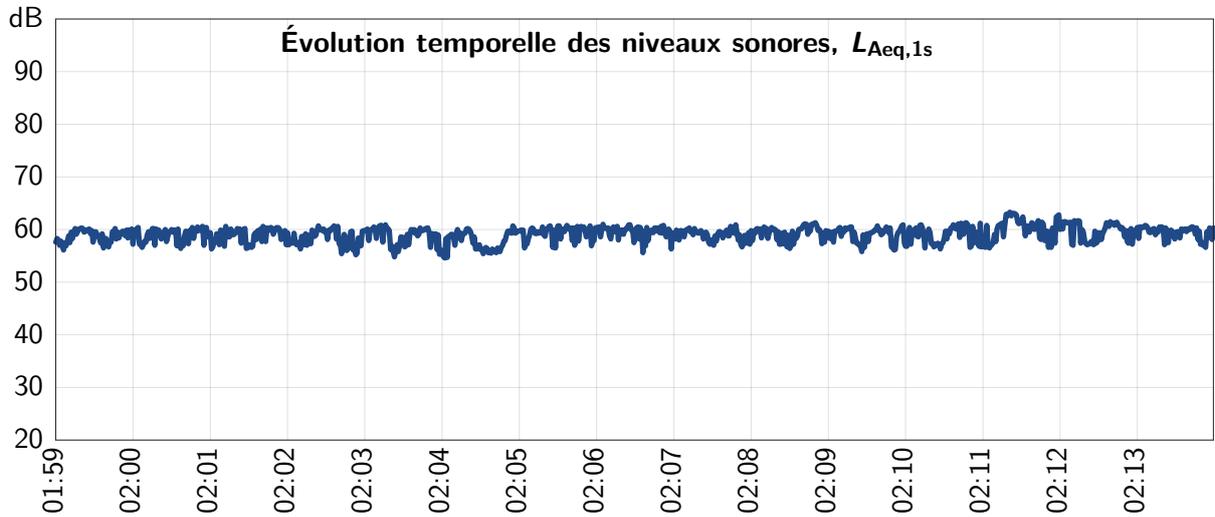
3.23.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.23.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 30 octobre 2018



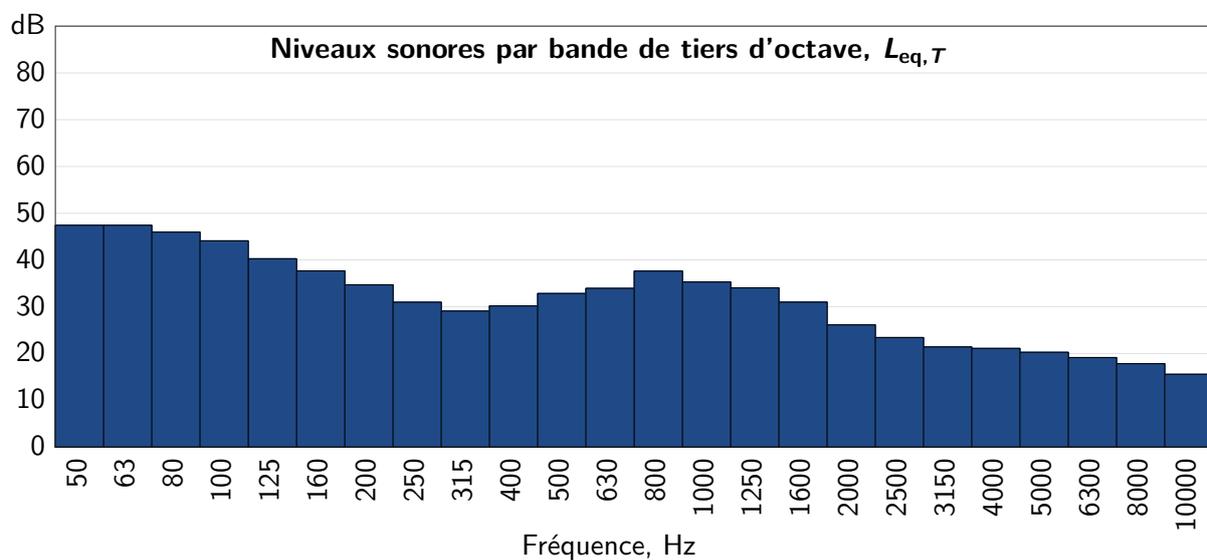
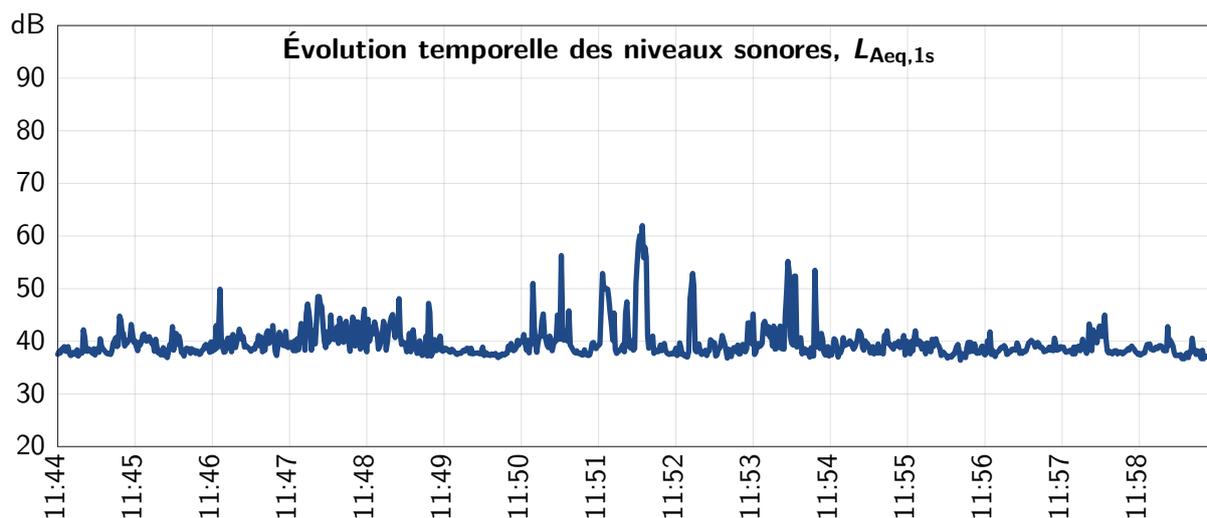
3.23.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



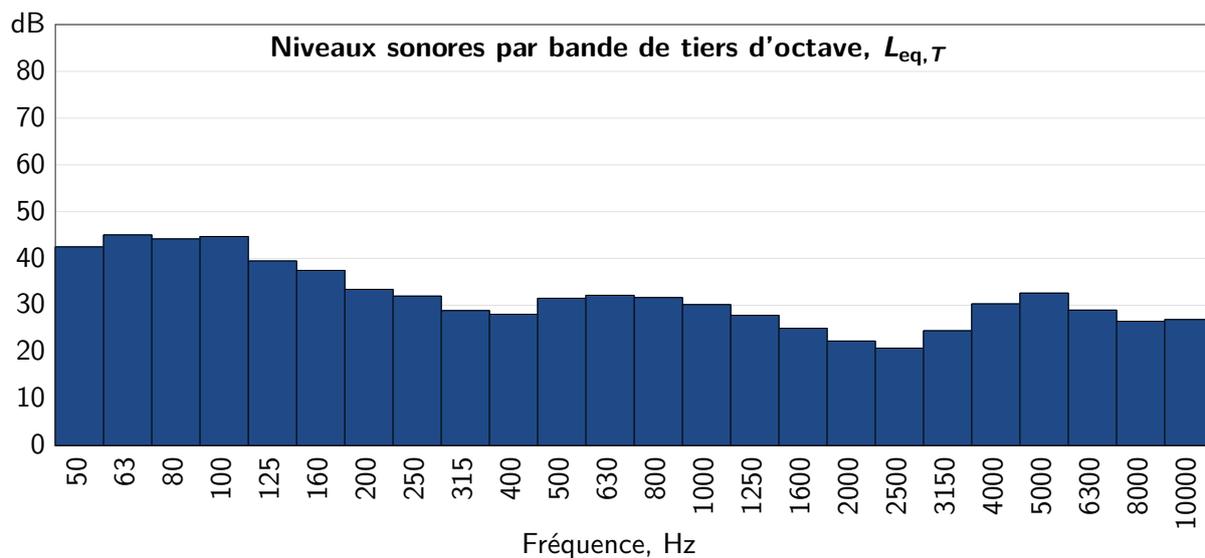
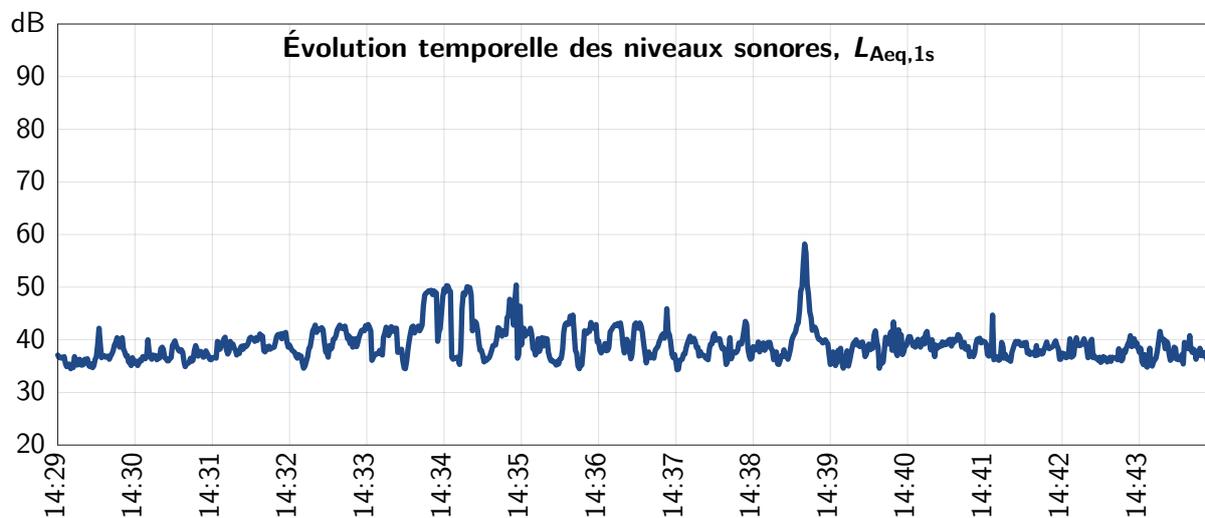
3.24 BO12 – Point 9 : Sur le chemin Descoudes au niveau 1 ère maison



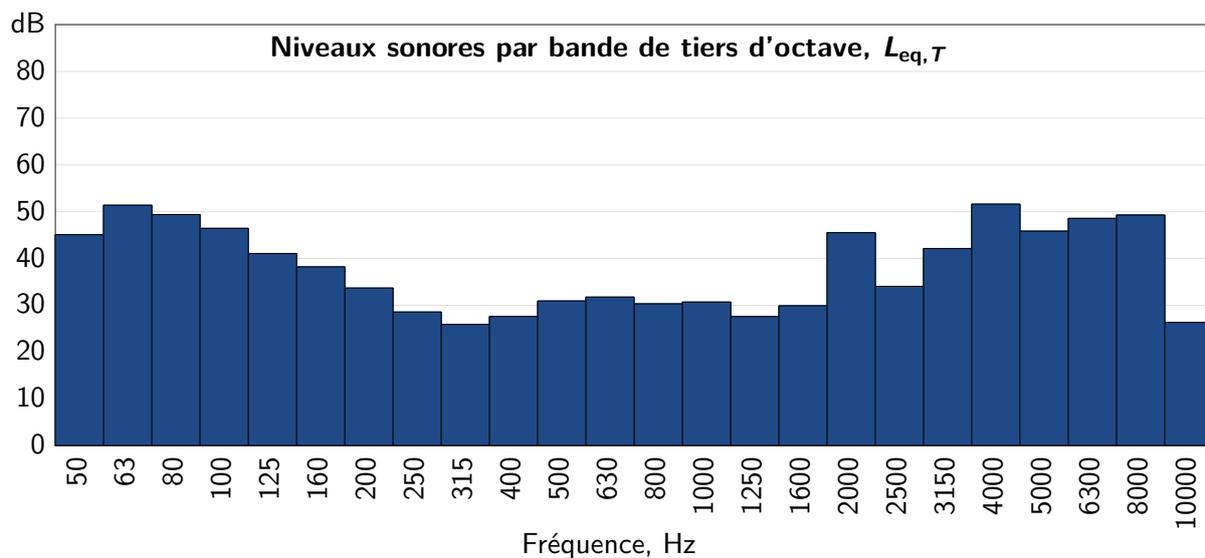
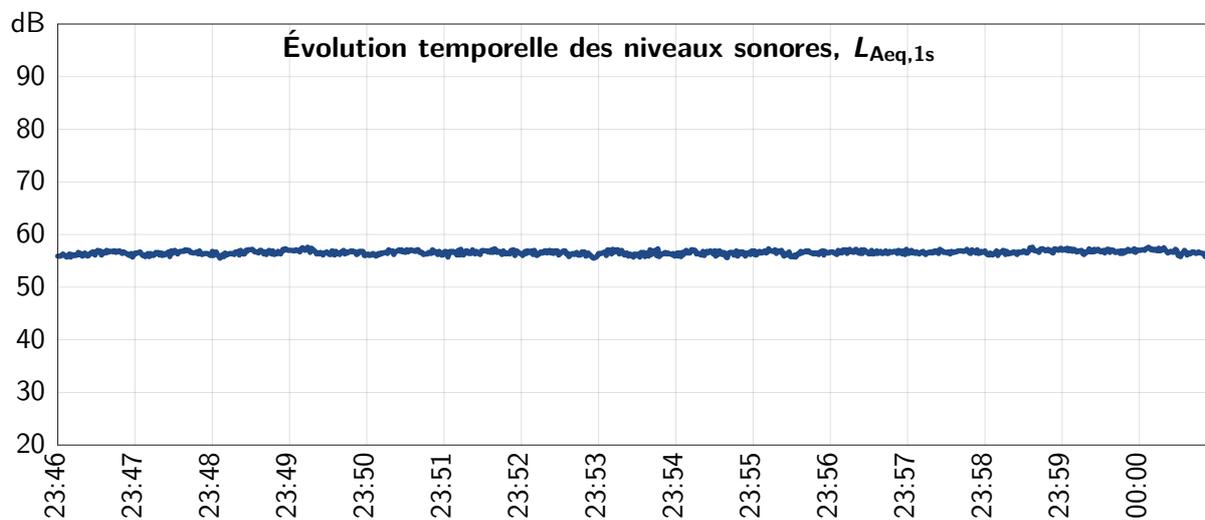
3.24.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



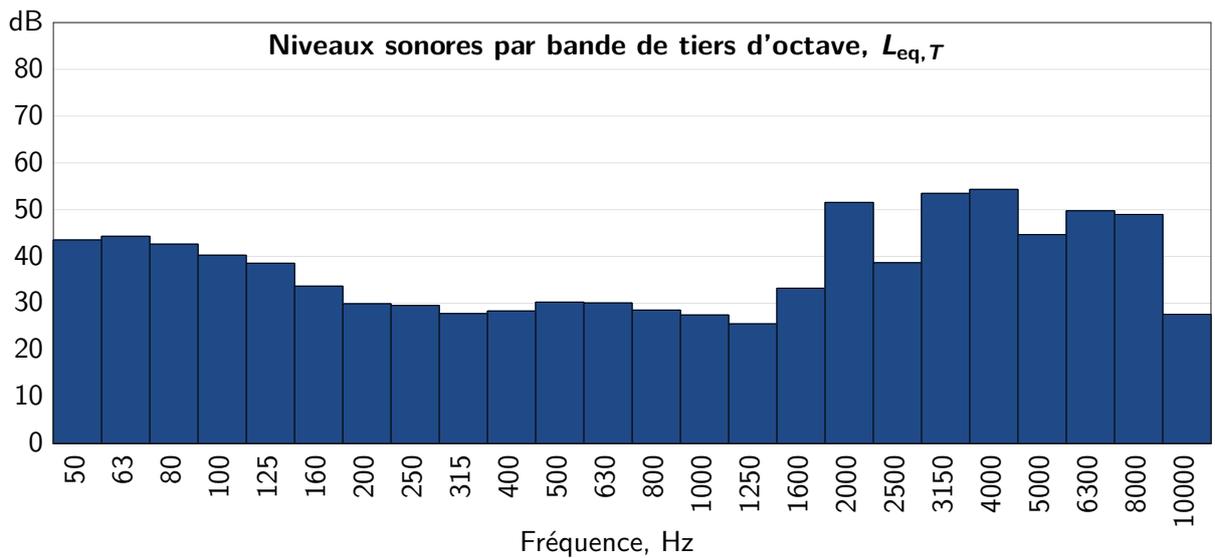
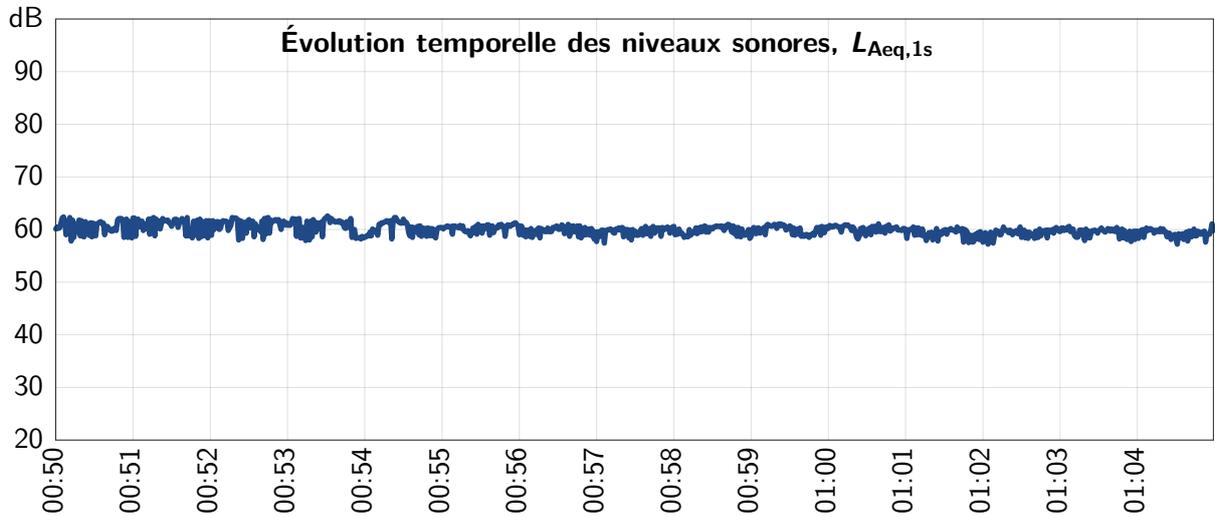
3.24.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.24.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 29 octobre 2018



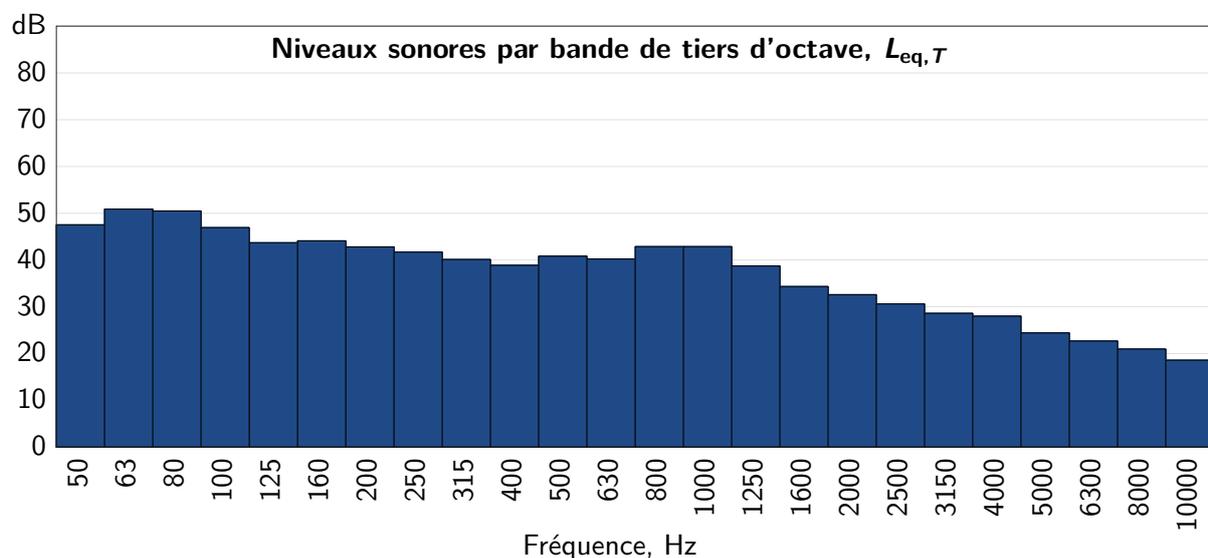
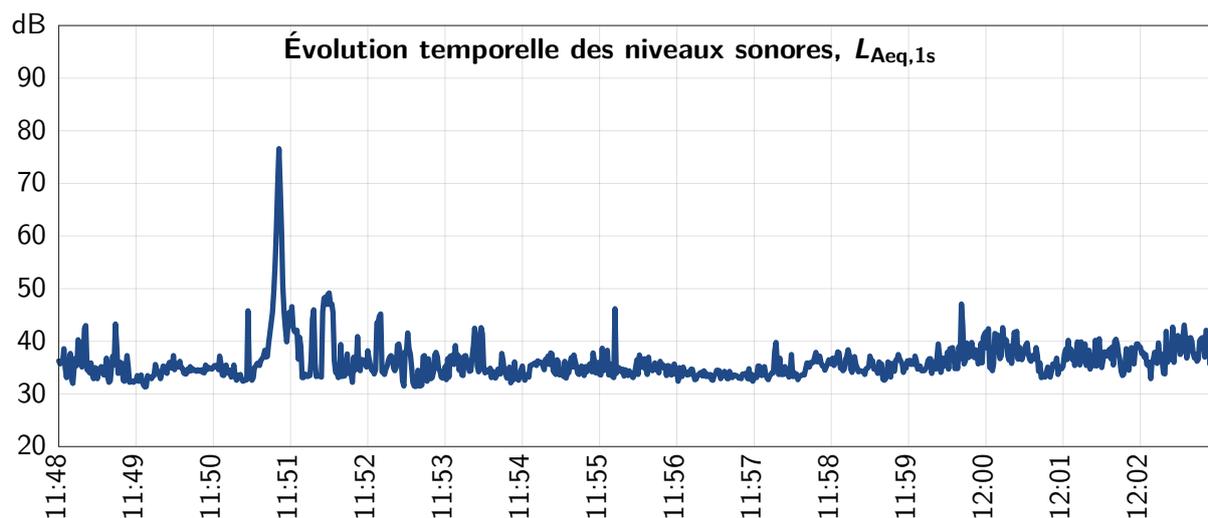
3.24.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



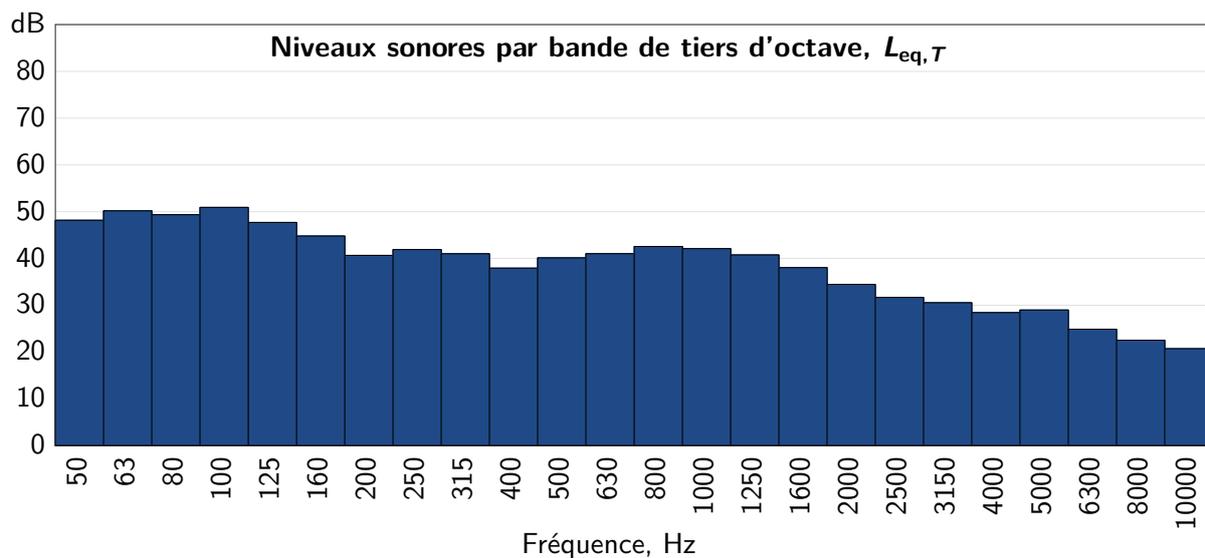
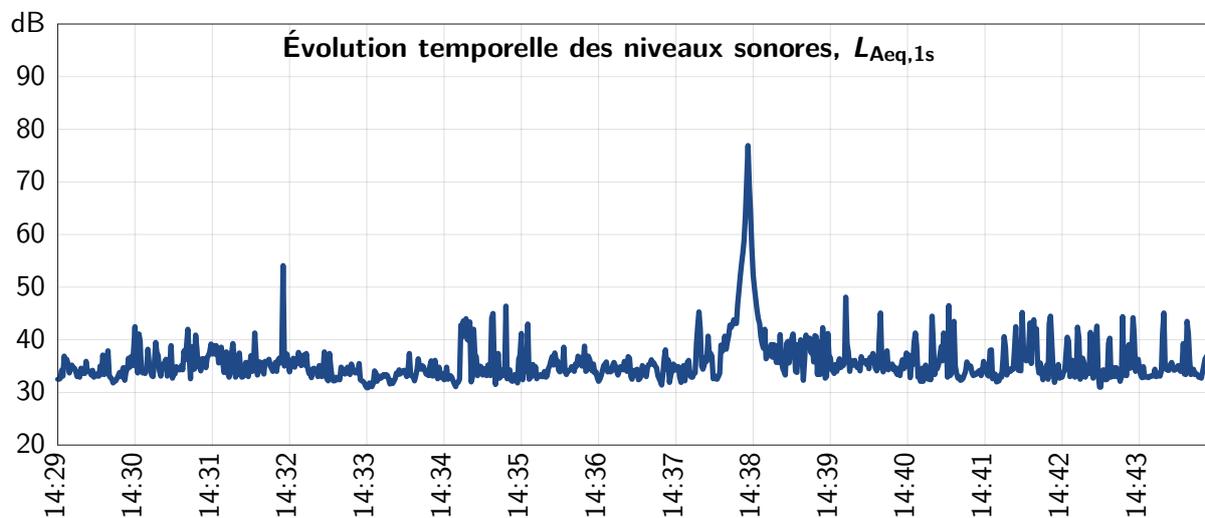
3.25 BO12 – Point 10 : Sur le chemin Descoudes au niveau entrée maison Lefort



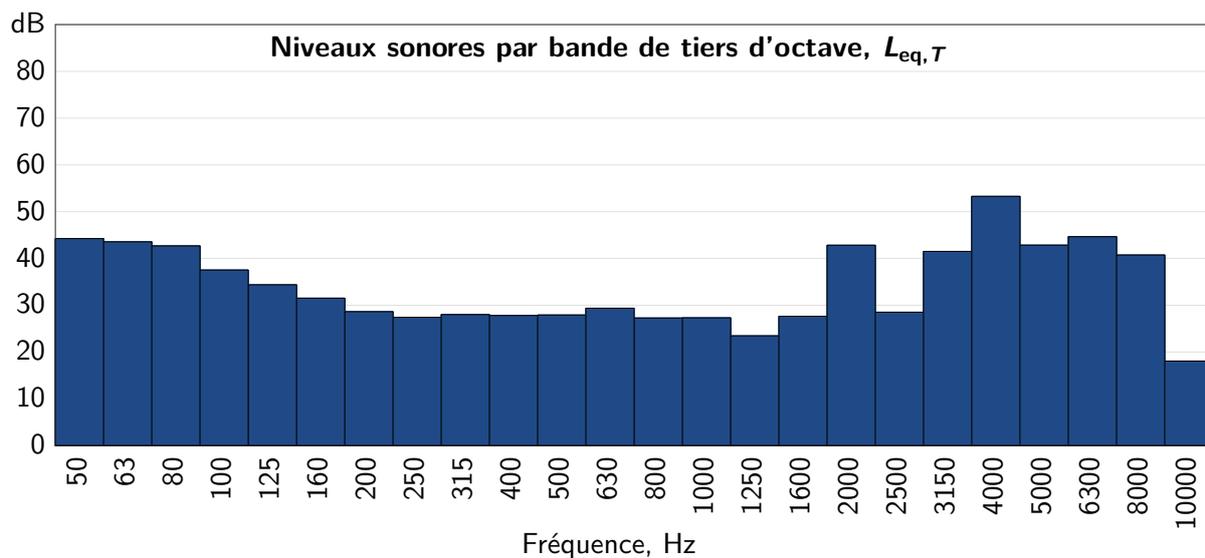
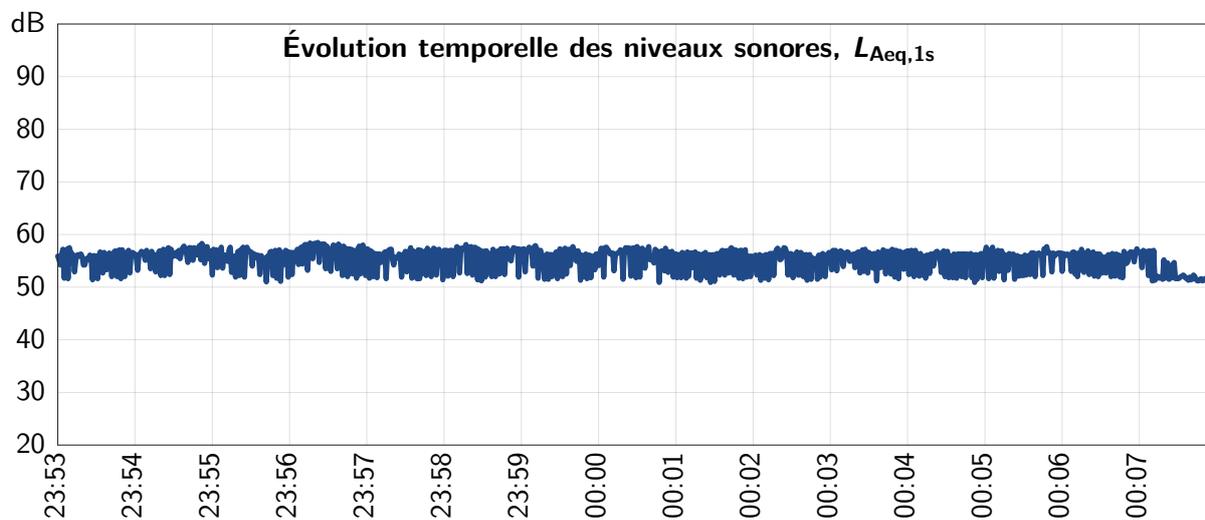
3.25.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



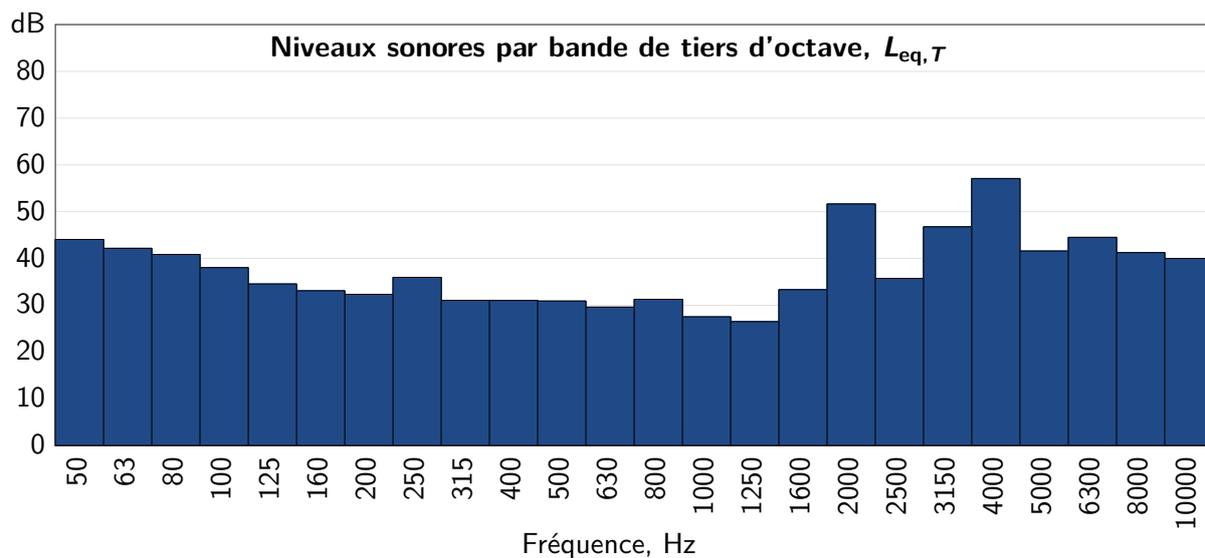
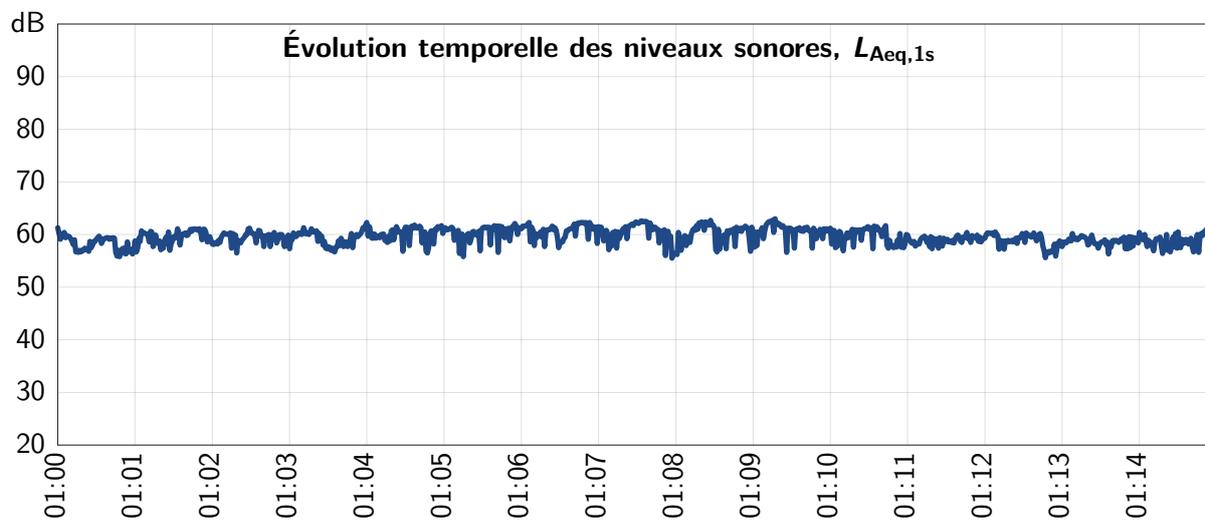
3.25.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.25.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 29 octobre 2018



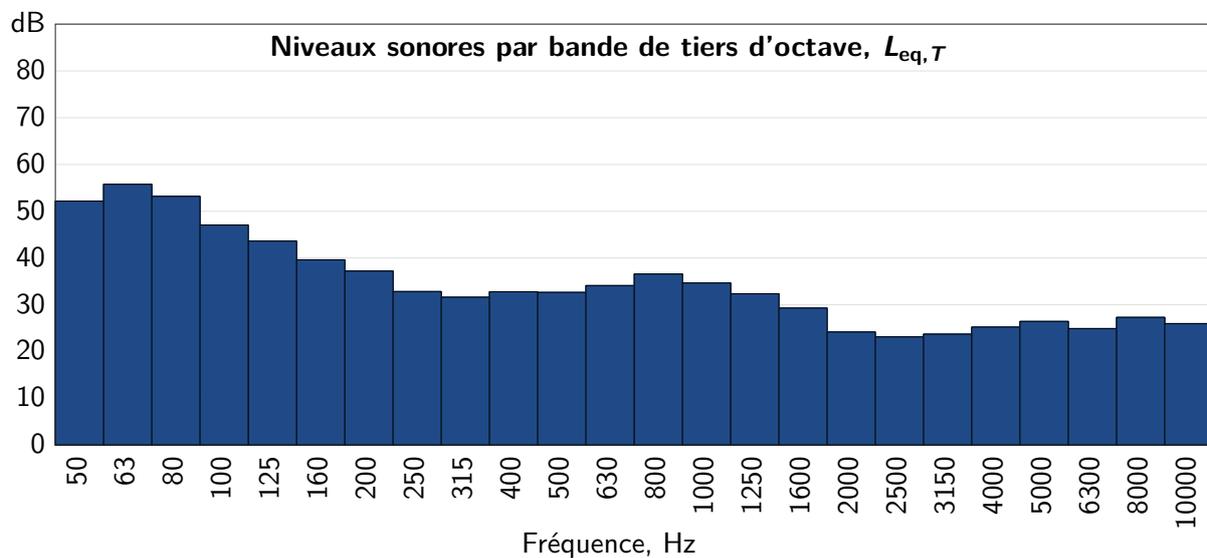
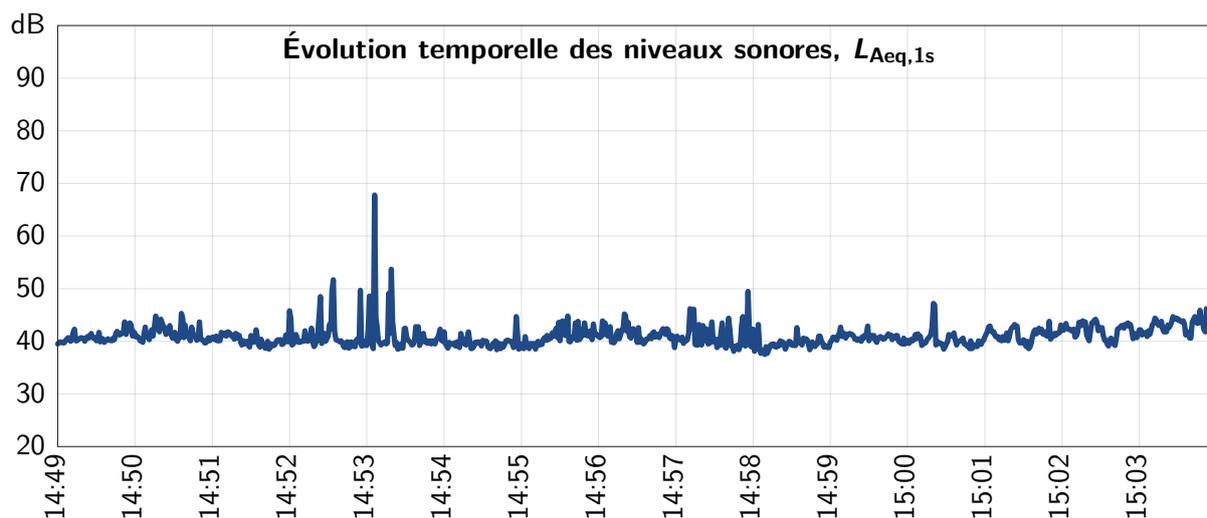
3.25.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



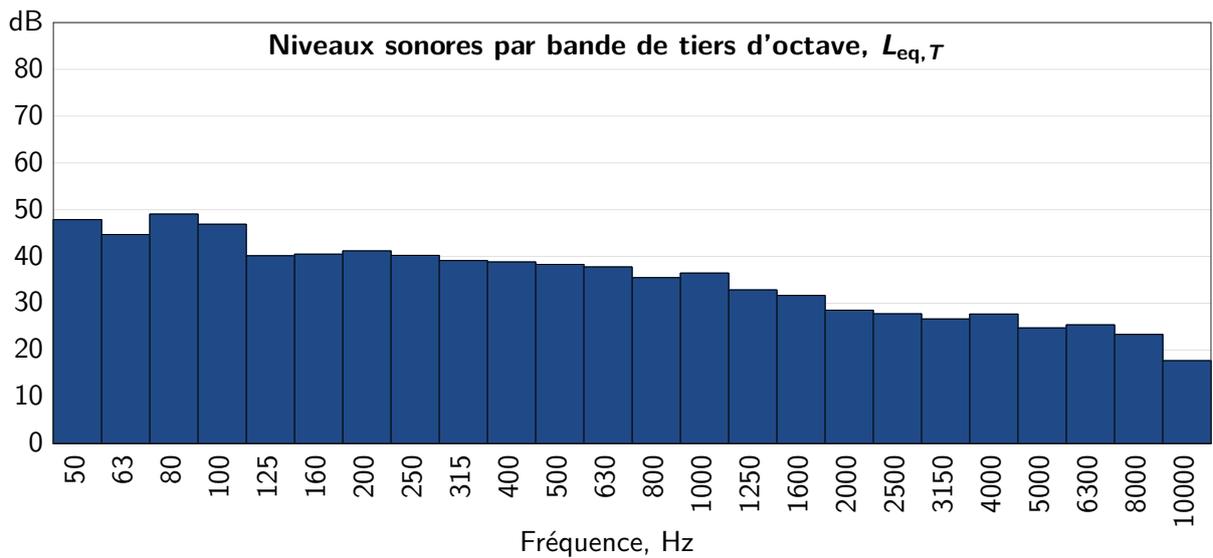
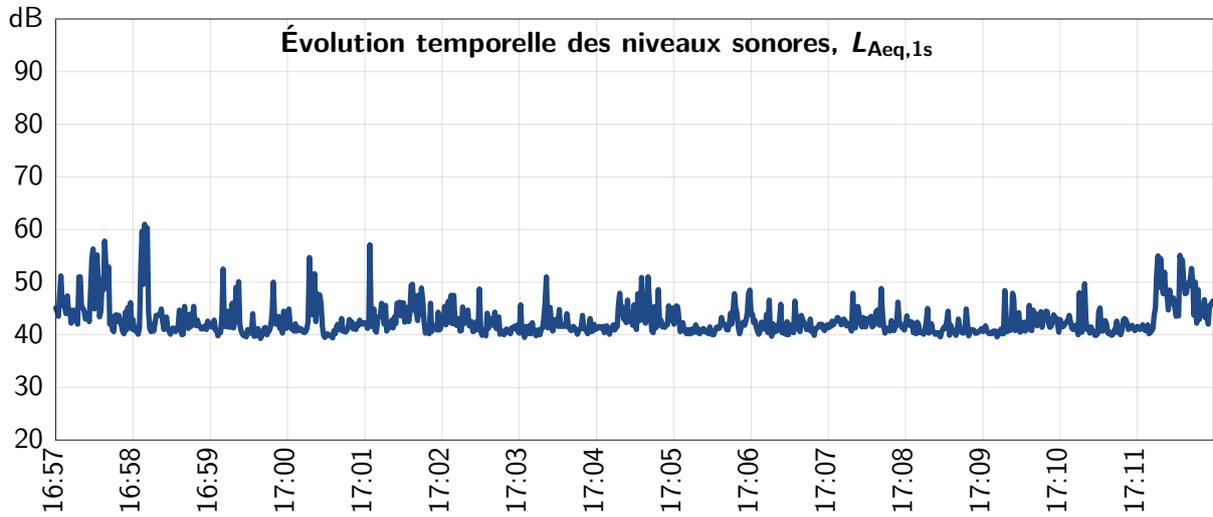
3.26 BO12 – Point 11 : Chemin de Fifi maison Felsina



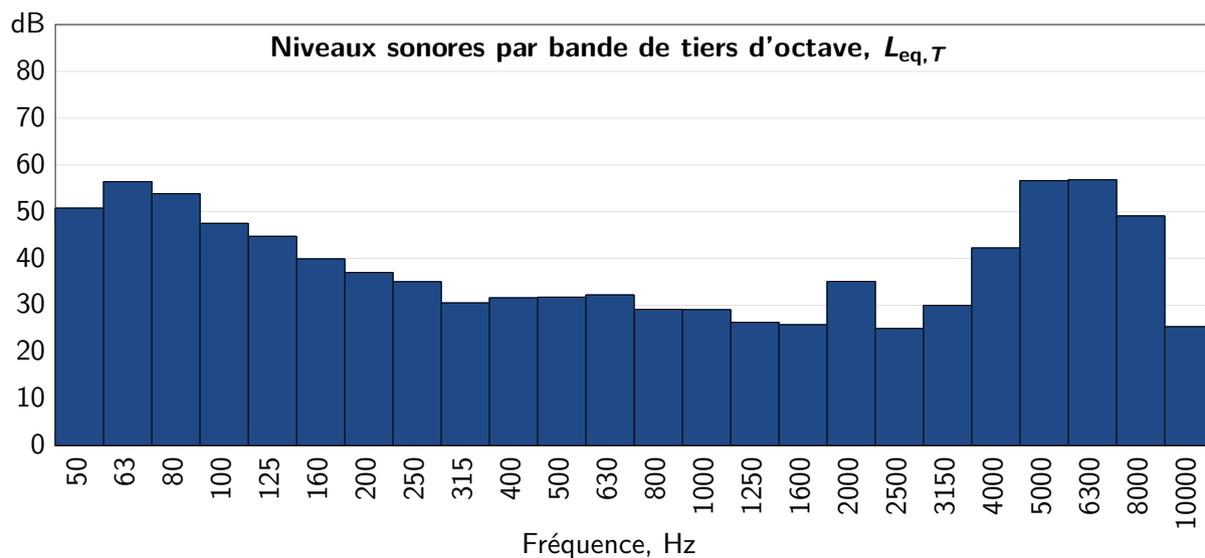
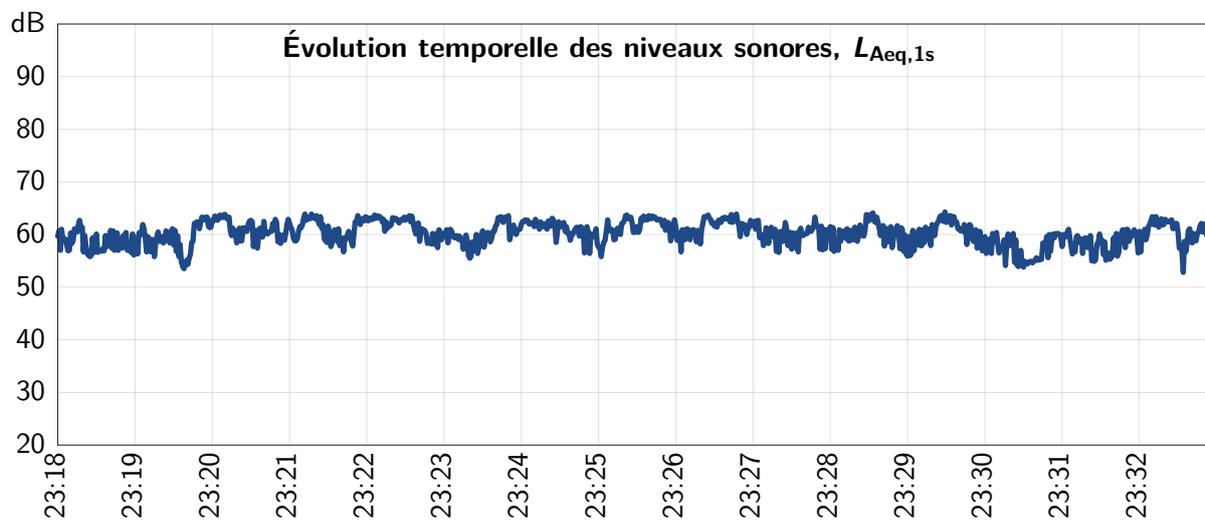
3.26.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



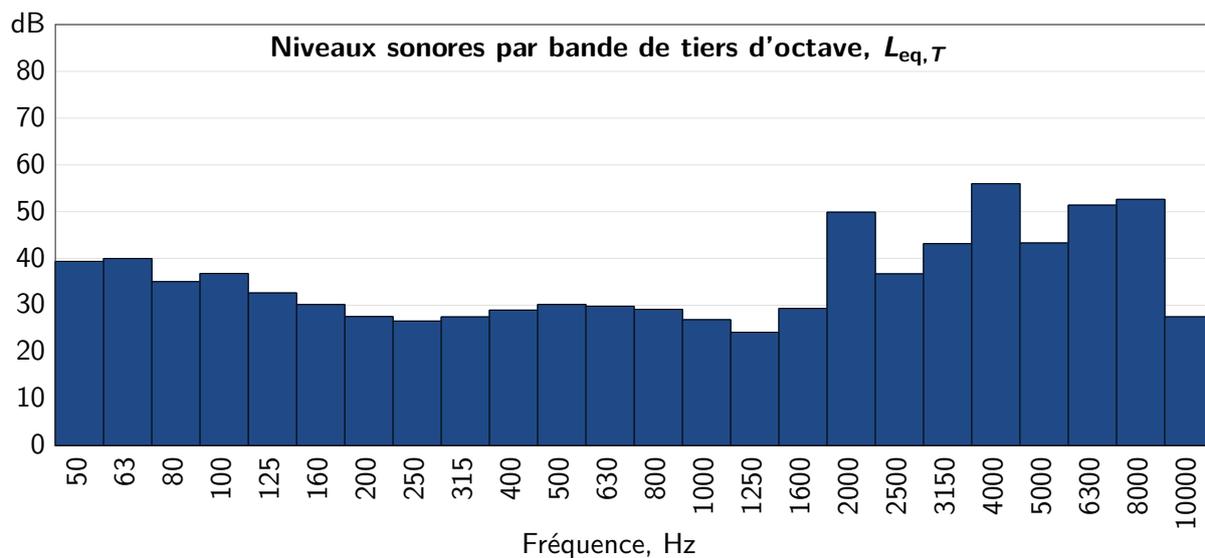
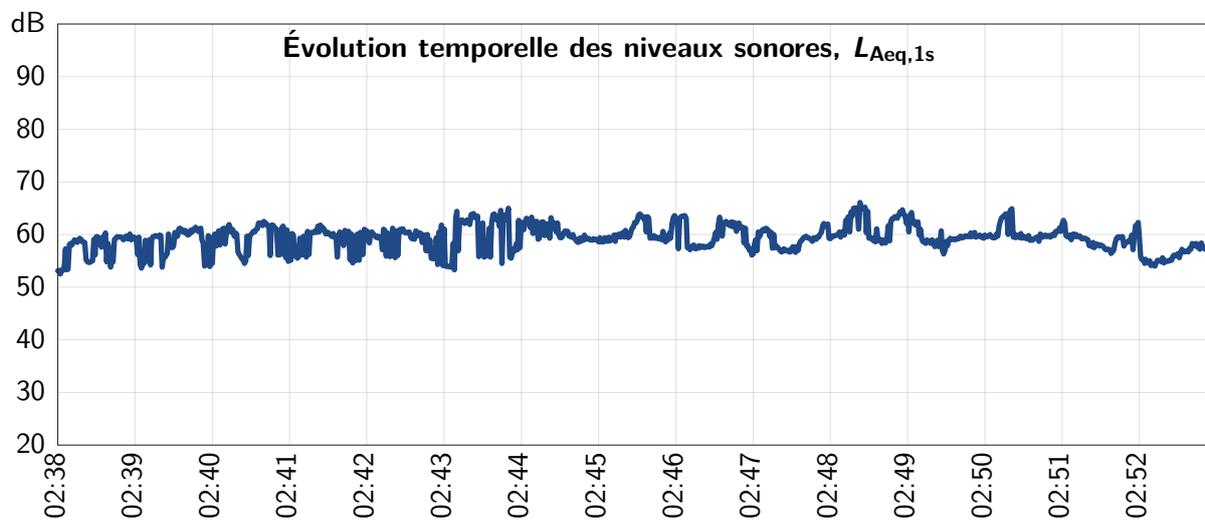
3.26.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.26.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 29 octobre 2018



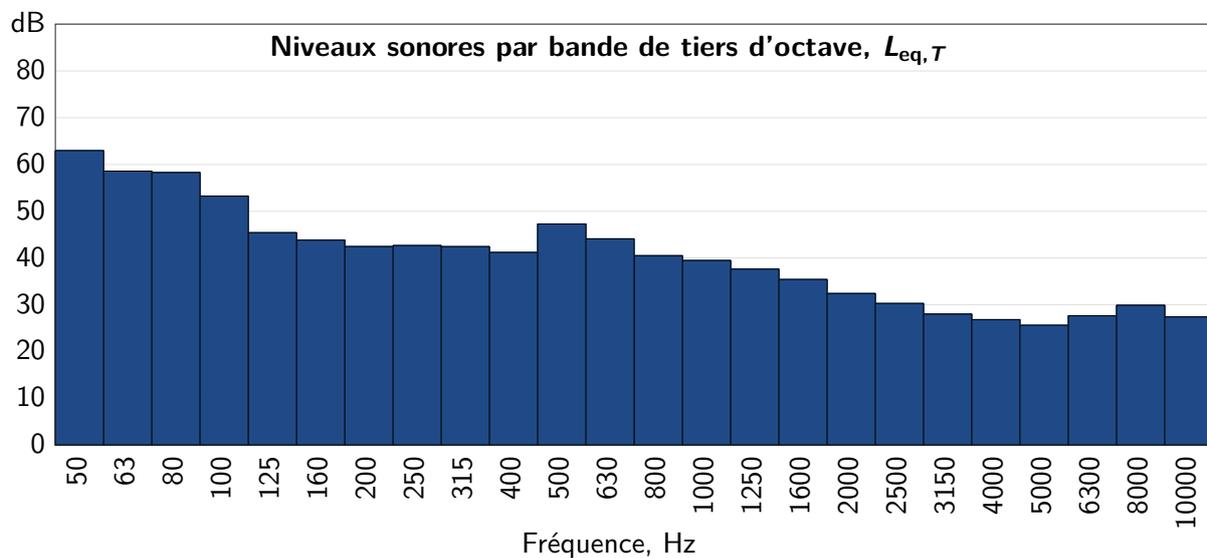
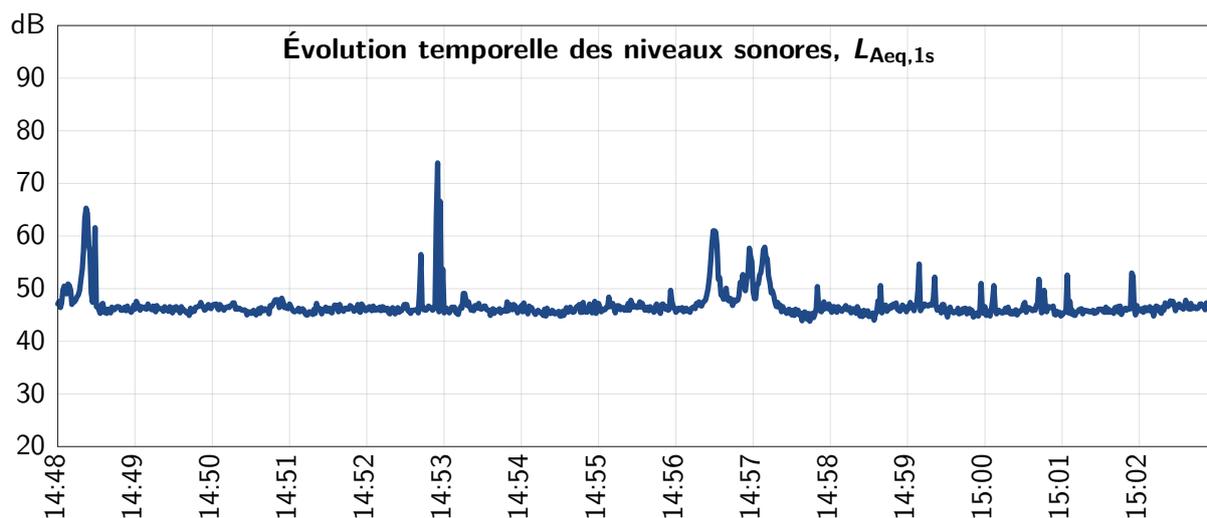
3.26.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



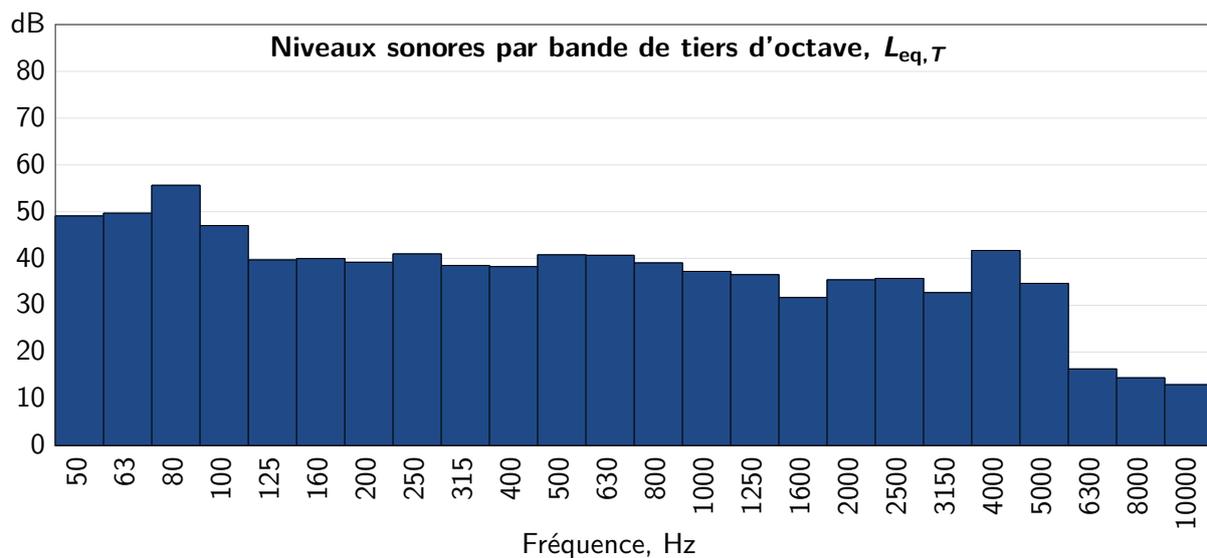
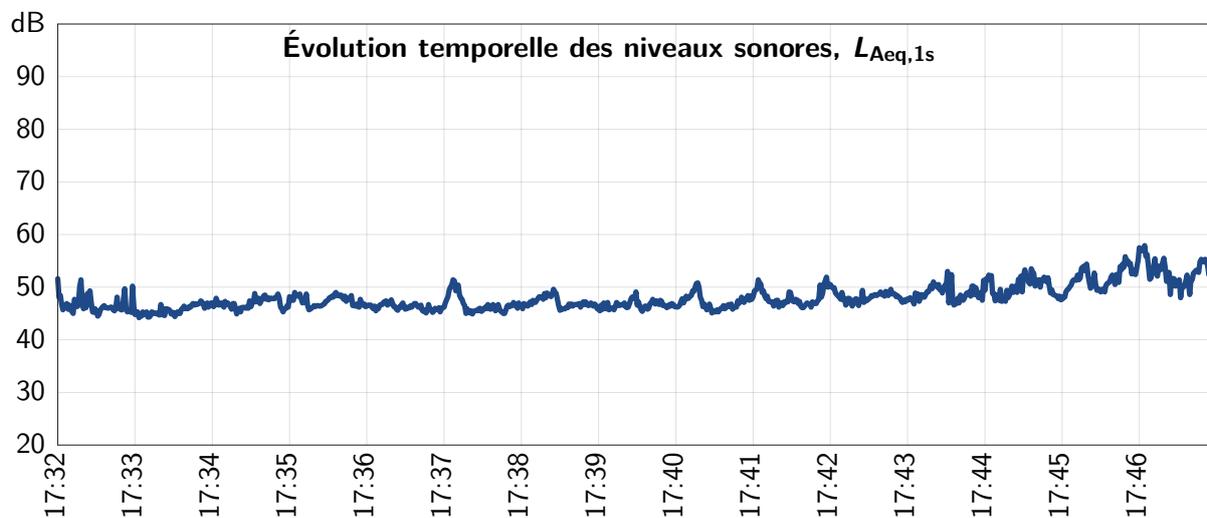
3.27 BO12 – Point 12 : Chemin de Fifi maison X



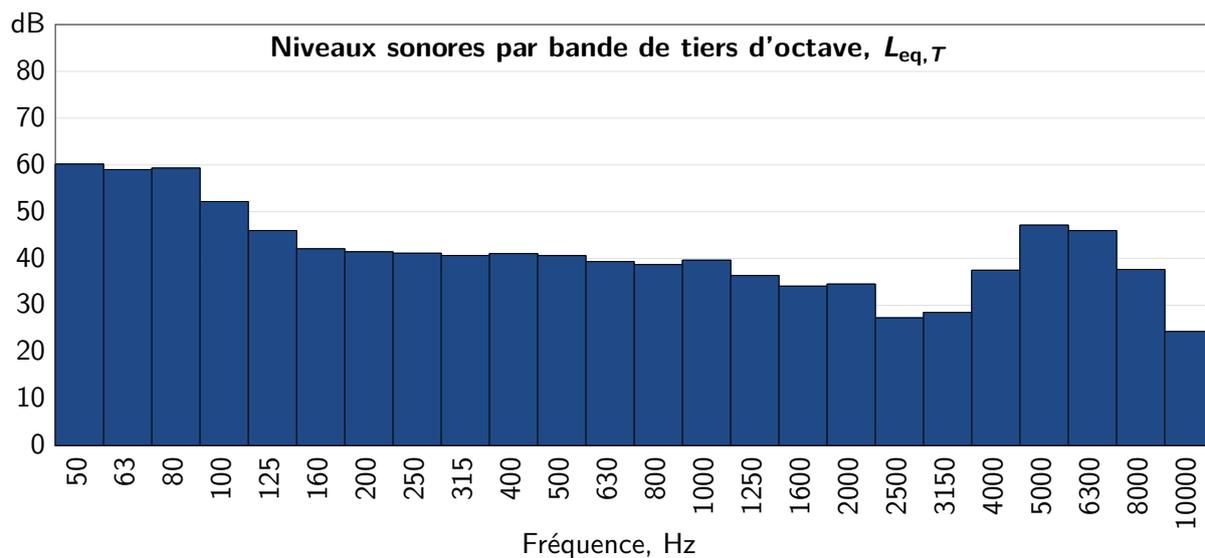
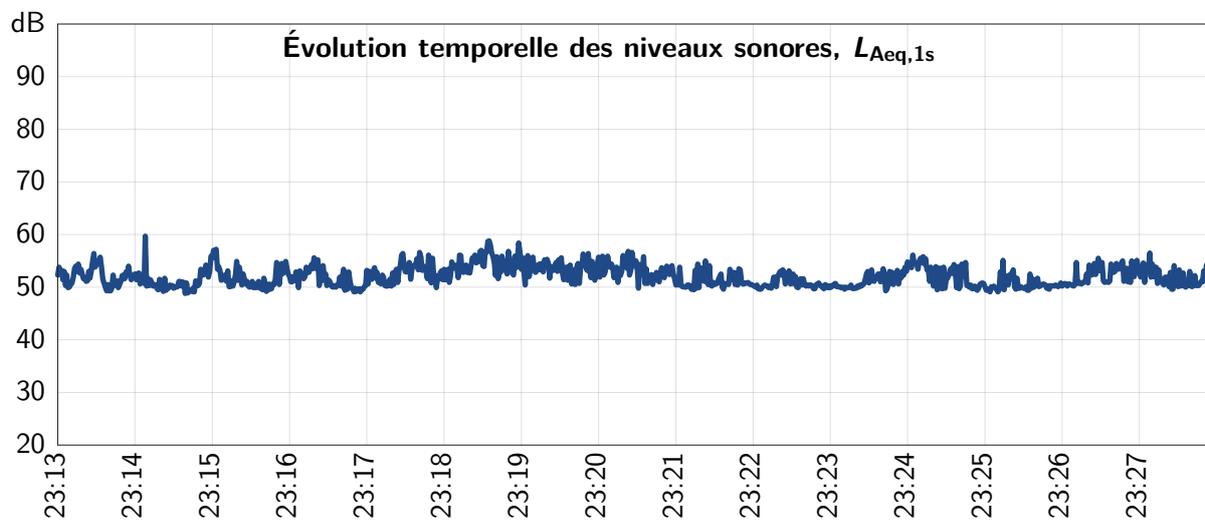
3.27.1 Niveaux sonores diurnes en fonctionnement, mesurés le 11 octobre 2018



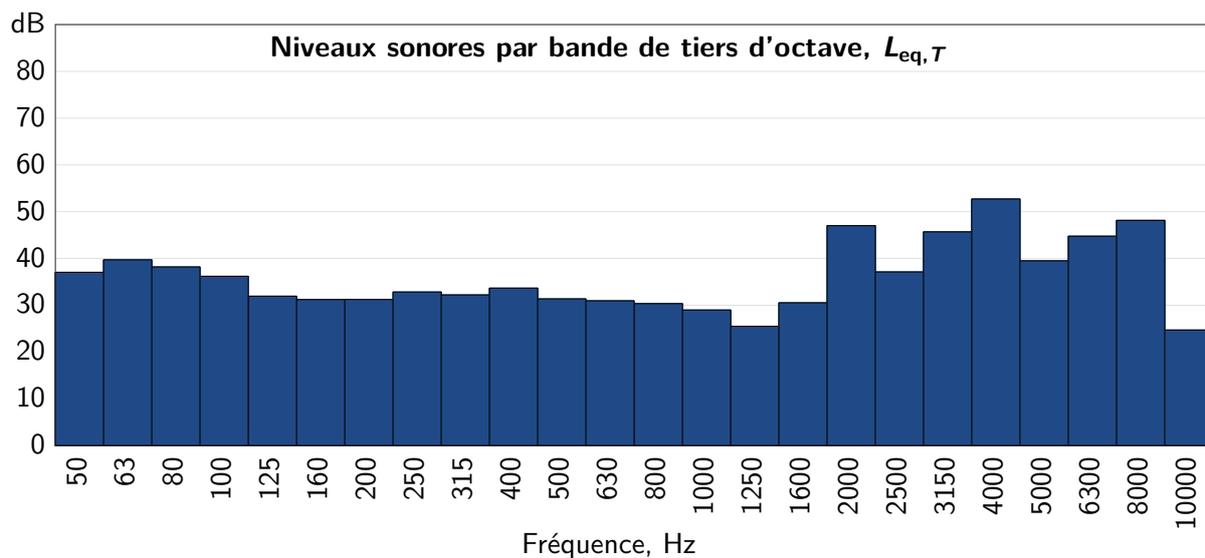
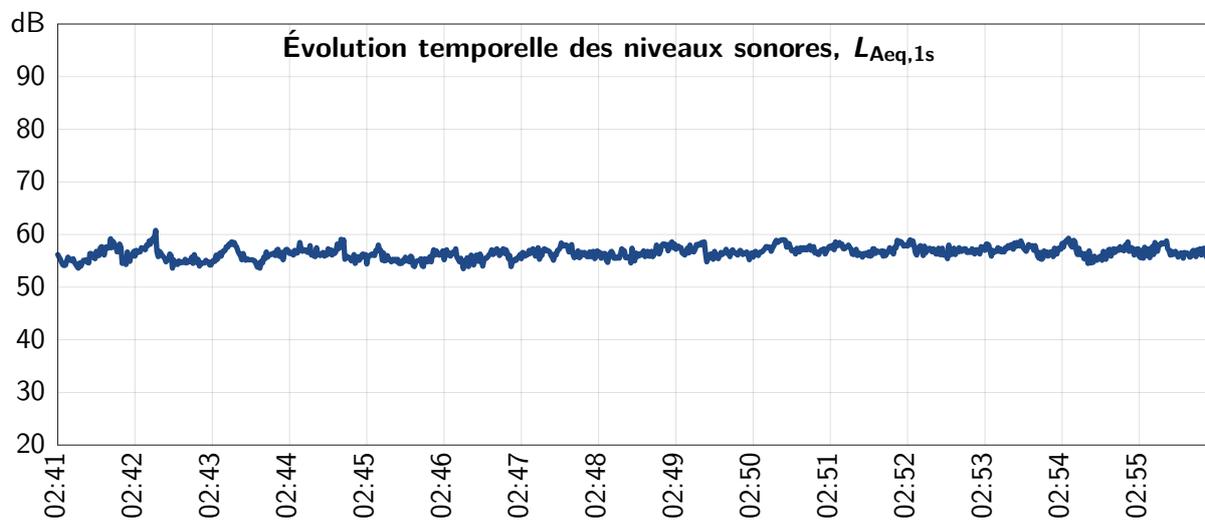
3.27.2 Niveaux sonores diurnes à l'arrêt, mesurés le 3 octobre 2018



3.27.3 Niveaux sonores nocturnes en fonctionnement, mesurés le 29 octobre 2018



3.27.4 Niveaux sonores nocturnes à l'arrêt, mesurés le 6 octobre 2018



Acoustic Environment Consulting

2 Rue Blondel, ZI Jarry

97122 Baie-Mahault

 0590 57 01 20 – contact@aec-sarl.com





ANNEXE 6 :
Fiches de Données Sécurité des principaux produits utilisés dans la fabrication de la boue de forage

- ✓ Bentonite ;
- ✓ Baryte ;
- ✓ Carbonate de Calcium ;
- ✓ IDOS 130A.



FICHE DE DONNÉES DE SECURITÉ CHEM BAR / BARYTE

SECTION 1 : IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE / MÉLANGE ET DE LA SOCIÉTÉ / ENTREPRISE

1.1 Identification de la substance ou mélange :

Nom commercial CHEMBAR / BARYTE

Nom produit : Baryte

1.2 Usage de la substance ou mélange :

Agent alourdissant

1.3 Identification de la société où entreprise

Chemfor

12 Chemin Salié

Lot n°7

64000 Pau

Tel: 05 59 30 36 39

Fax: 05 59 04 63 11

Mail : direction@chemfor.com

1.4 Numéro d'appel en cas d'urgence :

Numéro Orfila (INRS) : +33(0)1 45 42 59 59

Ce numéro permet d'obtenir les coordonnées de tous les centres Anti-poison français. Ces centres Anti-poison et de toxicovigilance fournissent une aide médicale gratuite (hors coût d'appel), 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

SECTION 2 : IDENTIFICATION DES DANGERS

2.1 Classification de la substance ou du mélange :

Conformément au règlement (CE) n°1272/2008 et ses adaptations.

Risques Physiques et Chimiques Non classé.

Pour l'homme Non classé.

Pour l'environnement Non classé.

Pour l'homme

Ce produit contient une petite quantité de quartz, silice cristalline. Les IARC Monographes, Vol 68, 1997, concluent que l'évidence est suffisante pour témoigner que la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite issue de sources industrielles provoque le cancer chez l'homme. IARC Groupe de classification 1. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles.

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquette Conforme A La Norme (CE) N° 1272/2008

Aucun pictogramme requis.

2.3 Autres dangers

Non classifié dans la catégorie PBT/vPvB selon les critères actuels de l'UE.



CHEMBAR

SECTION 3 : COMPOSITION / INFORMATION SUR LES COMPOSANTS

No CAS	No CE	Nom du composant	%	Classification (CE 1272/2008)	Classification (67/548/CEE)	Phrase de risque
13462-86-7	236-664-5	BARITE	60-100	NC	NA	NA
14909-60-7	238-878-4	Silices Cristallines (Quartz)	5 – 10%	H373	Xn; R48/20	R48/20

L'intégralité du texte des phrases de risque et des mentions de danger figure à la Section 16.

Commentaires Sur La Composition

Les données stipulées sur ce document sont en accord avec les dernières Directives de l'Union Européenne. La baryte est un minéral naturel. Ce produit contient une petite quantité de quartz, silice cristalline. Une exposition prolongée et répétée à des concentrations de silice cristalline dépassant le seuil toléré peut provoquer une maladie chronique des poumons telle que la silicose. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles.

SECTION 4 : PREMIERS SECOURS

4.1 Description des premiers secours :

Inhalation :

Emmener immédiatement à l'air frais la personne exposée. En cas de problèmes respiratoires : pratiquer la respiration artificielle et/ou donner de l'oxygène. Consulter un médecin si les troubles persistent.

Ingestion :

Ne pas faire vomir. Donner immédiatement quelques verres d'eau ou de lait à boire, à condition que la victime soit totalement consciente.

Contact avec la peau :

Enlever immédiatement les vêtements souillés et laver la peau avec de l'eau et du savon. Consulter rapidement un médecin si les symptômes surviennent après le lavage.

Contact avec les yeux :

Prendre soin d'enlever les lentilles de contact des yeux avant de rincer. Laver rapidement les yeux avec beaucoup d'eau en soulevant les paupières ; Continuer à rincer pendant au moins 15 minutes et consulter un médecin.

4.2 Principaux symptômes et effets, aigus et différés :

Inhalation

Irritation du nez, de la gorge et des voies aériennes.

Ingestion

Peut causer des gênes en cas d'ingestion.

Contact avec la peau

Un contact prolongé avec la peau peut entraîner des rougeurs et de l'irritation.

Contact avec les yeux

Peut entraîner une irritation passagère des yeux.

4.3 Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires :

Consulter un médecin si les troubles persistent.

SECTION 5 : MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

5.1 Moyens d'extinction :

Choisir le moyen d'extinction d'incendie en tenant compte d'autres produits chimiques éventuels.



CHEMBAR

5.2 Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange :

Produits de combustion dangereux :

En cas d'échauffement, des vapeurs/gaz nocifs peuvent se produire.

Risques d'incendie/d'explosion rares :

De fortes concentrations de poussière peuvent former un mélange explosif avec l'air.

5.3 Conseils aux pompiers :

Procédures de lutte contre l'incendie :

Les récipients proches à l'incendie doivent être éloignés immédiatement ou refroidis avec de l'eau.

Équipement de protection pour le personnel de lutte contre le feu :

Porter un appareil respiratoire autonome et un vêtement de protection complet en cas d'incendie.

SECTION 6 : MESURES A PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE

6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence :

Porter des vêtements de protection comme décrit dans la rubrique 8 de cette fiche de données de sécurité. Éviter la formation excessive de poussières.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement :

Ne pas laisser le produit pénétrer dans les canalisations, les égouts ou les cours d'eau.

6.3 Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage :

Éviter de générer et disperser la poussière. Pelleter et placer dans des récipients secs, les recouvrir et les déplacer. Rincer la zone avec de l'eau. Informer les autorités s'il s'agit de grandes quantités.

6.4 Référence à d'autres sections :

Porter des vêtements de protection comme décrit dans la rubrique 8 de cette fiche de données de sécurité.

SECTION 7 : MANIPULATION ET STOCKAGE

7.1 Précautions à prendre pour une manipulation sans danger :

Éviter l'inhalation de poussières et le contact avec la peau et les yeux ; Éviter les manipulations qui conduisent à la formation de poussière.

7.2 Conditions de stockage, y compris d'éventuelles incompatibilités :

Entreposer dans un endroit frais, sec et aéré, dans des récipients d'origine bien fermés. Éviter le contact avec les acides, Eau et humidité.

Critères de stockage : Entreposage des produits chimiques.

7.3 Utilisation(s) finale(s) particulière(s) :

Les utilisations identifiées pour ce produit sont indiquées en détail à la section 1.2.

SECTION 8 : CONTRÔLES DE L'EXPOSITION / PROTECTION INDIVIDUELLE

8.1. Paramètres de contrôle

Appellation : SILICES CRISTALLINES (QUARTZ)

Norme : VLEP

VME – 8Hrs : 0.11 mg/m³



CHEMBAR

Equipement de protection :



Conditions de procédé

Tous les équipements de protection individuelle (EPI) chimique doivent être choisis après évaluation du danger chimique présent et du risque d'exposition à ce danger. Les recommandations d'EPI ci-après se basent sur une évaluation des dangers chimiques associés à ce produit. Lorsque ce produit est mélangé avec d'autres produits ou fluides, d'autres dangers peuvent apparaître et une évaluation supplémentaire des risques peut être nécessaire. Le risque d'exposition et la nécessité d'une protection respiratoire varient en fonction du lieu de travail et doivent être évalués par l'utilisateur dans chaque situation.

Mesures d'ingénierie

Assurer une ventilation générale et localisée appropriée.

Protection des mains :

Porter des gants de protection (Nitril) appropriés en cas de contact prolongé ou répété avec la peau.

Protection des yeux :

Porter des lunettes de protection bien ajustées et étanches ou un masque facial.

Protection respiratoire :

Une protection respiratoire doit être utilisée si la contamination dans l'air dépasse le niveau acceptable. Filtre à poussières P3 (pour poussière/poudre particulièrement fine).

Autres mesures de protection :

Porter des vêtements appropriés pour éviter tout contact avec la peau. Assurer l'accès à une douche oculaire.

SECTION 9 : PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles :

Aspect	Poudre, poussière
Couleur	Brun roux à Gris
Odeur	Inodore
Solubilité	Insoluble dans l'eau
Point de fusion (°C)	1580°C
Densité relative	4.2 – 4.25 @ 20°C

9.2 Autres informations :

Sans objet

SECTION 10 : STABILITÉ ET REACTIVITÉ

10.1 Réactivité

Aucun risque connu de réactivité n'est associé à ce produit.

10.2 Stabilité chimique

Stable à température normale et l'emploi recommandé.

10.3 Possibilité de réactions dangereuses

Pas connu.



CHEMBAR

10.4 Conditions à éviter

Évitez les conditions mouillées et l'humidité

10.5 Matières incompatibles

Pas connu

10.6 Produits de décomposition dangereux

En cas d'échauffement, des vapeurs/gaz nocifs peuvent se produire.

SECTION 11 : INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

11.1 Informations sur les effets toxicologiques

Danger par aspiration

Non anticipé comme présentant un risque d'aspiration selon la structure chimique.

Inhalation

Les poussières peuvent irriter l'appareil respiratoire ou les poumons.

Ingestion

Peut causer des gênes en cas d'ingestion.

Contact avec la peau

Le contact prolongé et fréquent peut entraîner des rougeurs et de l'irritation.

Contact avec les yeux

Les particules dans les yeux peuvent causer une irritation et une douleur cuisante.

Mises En Garde Sur La Santé

Une exposition prolongée et répétée à des concentrations de silice cristalline dépassant le seuil toléré peut provoquer une maladie chronique des poumons telle que la silicose. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles.

Voie D'Exposition

Inhalation. Ingestion.

Organes Cibles

Appareil respiratoire, poumons.

SECTION 12 : INFORMATIONS ÉCOLOGIQUES

12.1 Toxicité

Ne pas considérer comme toxique pour les poissons.

12.2 Persistance et dégradabilité

Ce produit contient seulement des composés inorganiques qui ne sont pas biodégradables.

12.3 Potentiel de bioaccumulation

Inorganique.

12.4 Mobilité dans le sol

Mobilité :

Ce produit est insoluble dans l'eau.

12.5 Résultats des évaluations PBT et vPvB

Non classifié dans la catégorie PBT/vPvB selon les critères actuels de l'UE.



CHEMBAR

12.6 Autres effets néfastes

Pas connu.

SECTION 13 : CONSIDÉRATIONS RELATIVES A L'ÉLIMINATION

13.1 Méthodes de traitement des déchets

Récupérer et régénérer ou recycler si possible. Éliminer les déchets et résidus conformément aux règlements municipaux.

SECTION 14 : INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Généralités

Le produit n'est pas soumis à la réglementation internationale sur le transport des marchandises dangereuses (IMDG, ICAO/IATA, ADR/RID).

14.1 Numéro ONU

Non applicable.

14.2 Nom d'expédition des Nations unies

Non applicable.

14.3 Classe(s) de danger pour le transport

Non applicable.

14.4 Groupe d'emballage

Non applicable.

14.5 Dangers pour l'environnement

Substance Dangereuse Pour L'Environnement/Polluant Marin
Non.

14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur

Non applicable.

14.7 Transport en vrac conformément à l'annexe II de la convention Marpol 73/78 et au recueil IBC

Non applicable.

SECTION 15 : INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

Législation UE

Règlement (CE) n o 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n o 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission, avec modifications.

SECTION 16 : AUTRES INFORMATIONS

Références bibliographiques

Les informations sur le produit sont fournies par le(s) vendeur(s). Fiche de données de sécurité, divers fabricants. LOLI. BCE Bureau Chimique Européen - SIES Système d'Information chimique Européen des Substances.



CHEMBAR

Définitions

VLNEP : Valeurs limites nationales d'exposition professionnelle.

VLBN : Valeurs limites biologiques nationales.

PBT : Persistent, Bio accumulative and Toxic.

vPvB : Very Persistent, Very Bio accumulative.

Divers

L'information donnée correspond à l'état actuel de notre connaissance et de notre expérience du produit et n'est pas exhaustive. Elle s'applique au produit en l'état, conforme aux spécifications, sauf mention contraire. En cas de combinaisons ou de mélanges, s'assurer qu'aucun danger nouveau ne puisse apparaître. Elle n'exonère, en aucun cas, l'utilisateur du produit de respecter l'ensemble des textes législatifs, réglementaires et administratifs relatifs au produit, à la sécurité, à l'hygiène et à la protection de la santé humaine et de l'environnement, ni de dispenser l'information et la formation nécessaire aux salariés concernés. Une attention particulière sera apportée à la formation des nouveaux utilisateurs



FICHE DE DONNÉES DE SECURITÉ CHEMGEL MR

SECTION 1 : IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE / MÉLANGE ET DE LA SOCIÉTÉ / ENTREPRISE

1.1 Identification de la substance ou mélange :

Nom commercial CHEMGEL MR
Nom produits : Bentonite MR

1.2 Usage de la substance ou mélange :

Additif fluide de forage
Viscosifiant

1.3 Identification de la société ou entreprise

Chemfor
12 chemin Salié
Lot n°7
64000 Pau
Tel: 05 59 30 36 39
Fax: 05 59 04 63 11
Mail : direction@chemfor.com

1.4 Numéro d'appel en cas d'urgence :

Numéro Orfila (INRS) : +33(0)1 45 42 59 59
Ce numéro permet d'obtenir les coordonnées de tous les centres Anti-poison français. Ces centres anti-poison et de toxicovigilance fournissent une aide médicale gratuite (hors coût d'appel), 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

SECTION 2 : IDENTIFICATION DES DANGERS

2.1 Classification de la substance ou du mélange :

Conformément au règlement (CE) n°1272/2008 et ses adaptations.

Risques Physiques et Chimiques Non classé.
Pour l'homme Non classé.
Pour l'environnement Non classé.

Pour l'homme

Ce produit contient une petite quantité de quartz, silice cristalline. Les IARC Monographes, Vol 68, 1997, concluent que l'évidence est suffisante pour témoigner que la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite issue de sources industrielles provoque le cancer chez l'homme. IARC Groupe de classification 1. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles.

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquette Conforme A La Norme (CE) N° 1272/2008
Aucun pictogramme requis.

2.3 Autres dangers

Non classifié dans la catégorie PBT/vPvB selon les critères actuels de l'UE.



CHEMGEL MR

SECTION 3 : COMPOSITION / INFORMATION SUR LES COMPOSANTS

No CAS	No CE	Nom du composant	%	Classification (CE 1272/2008)	Classification (67/548/CEE)	Phrase de risque
14909-60-7	238-878-4	Silices Cristallines (Quartz)	5 – 10%	H373	Xn; R48/20	R48/20

L'intégralité du texte des phrases de risque et des mentions de danger figure à la Section 16.

Notes d'enregistrement REACH. En ce qui concerne les minéraux, l'article 2 § 7 (b) et annexe V, point 7 explicitement en exemptés d'enregistrement et d'évaluation "minéraux présents dans la nature, si elles ne sont pas chimiquement modifiées." Ce produit est exempté de l'inscription.

Commentaires Sur La Composition

Les données stipulées sur ce document sont en accord avec les dernières Directives de l'Union Européenne. Ce produit contient une petite quantité de quartz, silice cristalline. Une exposition prolongée et répétée à des concentrations de silice cristalline dépassant le seuil toléré peut provoquer une maladie chronique des poumons telle que la silicose. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles. Ce minéral est naturel et issu d'un gisement.

SECTION 4 : PREMIERS SECOURS

4.1 Description des premiers secours :

Inhalation :

Emmener immédiatement à l'air frais la personne exposée. En cas de problèmes respiratoires : pratiquer la respiration artificielle et/ou donner de l'oxygène. Consulter un médecin si les troubles persistent.

Ingestion :

Ne pas faire vomir. Donner immédiatement quelques verres d'eau où de lait à boire, à conditions que la victime soit totalement consciente, consulter un médecin si les troubles persistent.

Contact avec la peau :

Enlever immédiatement les vêtements souillés et laver la peau avec de l'eau et du savon. Consulter rapidement un médecin si les symptômes surviennent après le lavage.

Contact avec les yeux :

Prendre soin d'enlever les lentilles de contact des yeux avant de rincer. Laver rapidement les yeux avec beaucoup d'eau en soulevant les paupières. Continuer à rincer pendant au moins 15 minutes et consulter un médecin

4.2 Principaux symptômes et effets, aigus et différés :

Informations générales

La gravité des symptômes décrits varie en fonction de la concentration et de la durée d'exposition. En cas de développement de symptômes indésirables tels que indiqués, le blessé doit être admis dans un établissement hospitalier dans les meilleurs délais. Pour de plus amples informations, consulter la rubrique 11.

4.3 Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires :

Traiter de manière symptomatique.

SECTION 5 : MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

5.1 Moyens d'extinction :

Choisir le moyen d'extinction d'incendie en tenant compte d'autres produits chimiques éventuels

5.2 Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange :

Produits de combustion dangereux :

En cas d'échauffement, des vapeurs/gaz nocifs peuvent se produire.



CHEMGEL MR

Risques d'incendie/d'explosion rares :

De fortes concentrations de poussière peuvent former un mélange explosif avec l'air.

5.3 Conseils aux pompiers :

Procédures de lutte contre l'incendie :

Les récipients proches à l'incendie doivent être éloignés immédiatement ou refroidis avec de l'eau.

Équipement de protection pour le personnel de lutte contre le feu :

Porter un appareil respiratoire autonome et un vêtement de protection complet en cas d'incendie.

SECTION 6 : MESURES A PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE

6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence :

Porter des vêtements de protection comme décrit dans la rubrique 8 de cette fiche de données de sécurité.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement :

Ne pas laisser le produit pénétrer dans les canalisations, les égouts ou les cours d'eau.

6.3 Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage :

Éviter de générer et disperser la poussière. Pelleter et placer dans des récipients secs, les recouvrir et les déplacer. Rincer la zone avec de l'eau. En cas de déversement accidentel : faire attention aux surfaces et sols glissants.

6.4 Référence à d'autres sections :

Pour obtenir des informations sur l'élimination, voir la rubrique 13.

SECTION 7 : MANIPULATION ET STOCKAGE

7.1 Précautions à prendre pour une manipulation sans danger :

Éviter l'inhalation de poussières et le contact avec la peau et les yeux ; Éviter les manipulations qui conduisent à la formation de poussière. Il est nécessaire de veiller à la bonne hygiène personnelle. Se laver les mains et les parties souillées à l'eau et au savon avant de quitter le lieu de travail. Enlever les vêtements contaminés. Ne pas manger, boire ou fumer pendant l'utilisation.

7.2 Conditions de stockage, y compris d'éventuelles incompatibilités :

Entreposer dans un endroit frais, sec et aéré, dans des récipients d'origine bien fermés. Évitez les conditions mouillées et l'humidité.

Critères De Stockage

Entreposage non spécifié.

7.3 Utilisation(s) finale(s) particulière(s) :

Les utilisations identifiées pour ce produit sont indiquées en détail à la section 1.2.

SECTION 8 : CONTRÔLES DE L'EXPOSITION / PROTECTION INDIVIDUELLE

8.1 Paramètres de contrôle :

Appellation	NORME	VME – 8 Hrs
Silices Cristallines (Quartz)	VLEP	0,1 mg/m ³

VLEP = Valeurs limites d'exposition professionnelle.

SILICES CRISTALLINES (QUARTZ) (CAS: 14808-60-7)

DDSE

Inhalation. Court terme Effets locaux 4 mg/m³

Inhalation. Long terme Effets locaux 1 mg/m³



CHEMGEL MR

8.2 Contrôles de l'exposition :

Equipement de protection :



Conditions de procédé

Tous les équipements de protection individuelle (EPI) chimique doivent être choisis après évaluation du danger chimique présent et du risque d'exposition à ce danger. Les recommandations d'EPI ci-après se basent sur une évaluation des dangers chimiques associés à ce produit. Lorsque ce produit est mélangé avec d'autres produits ou fluides, d'autres dangers peuvent apparaître et une évaluation supplémentaire des risques peut être nécessaire. Le risque d'exposition et la nécessité d'une protection respiratoire varient en fonction du lieu de travail et doivent être évalués par l'utilisateur dans chaque situation.

Protection respiratoire :

Pas de recommandation spécifiques, mais une protection respiratoire peut néanmoins être requise dans des circonstances exceptionnelles lors d'une contamination importante de l'air. Utiliser un masque à filtre à poussières P2 (pour poussière fine).

Protection des mains :

Porter des gants de protection appropriés en cas de contact prolongé ou répété avec la peau. Butyl-caoutchouc, Polychlorure de vinyle (PVC).

Protection des yeux :

Porter des lunettes de sécurité approuvées.

Autres mesures de protection :

Porter des vêtements appropriés pour éviter tout contact avec la peau. Assurer l'accès à une douche oculaire.

Mesures d'hygiène :

Se laver après le travail et avant de manger, de fumer et avant d'aller aux toilettes. Se laver les mains après l'usage. Enlever promptement tout vêtement mouillé ou contaminé.

SECTION 9 : PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles :

Aspect	Solide
Couleur	Crème au gris
Odeur	Inodore
Solubilité	Insoluble dans l'eau
Point de fusion (°C)	>450°C (842°F)
Densité relative	2,3 - 2,6 s.g @ 20°C
Densité Volumique	750 – 950 kg/m ³
Valeur pH, Solution diluée	9 - 10
Solubilité (G/100G H ₂ O @ 20°C)	< 0,9mg/l
Température de décomposition (°C)	> 500°C (932°F)

9.2 Autres informations :

Sans objet



CHEMGEL MR

SECTION 10 : STABILITÉ ET REACTIVITÉ

10.1 Réactivité

Aucun risque connu de réactivité n'est associé à ce produit.

10.2 Stabilité chimique

Stable à température normale et l'emploi recommandé.

10.3 Possibilité de réactions dangereuses

Pas connu.

10.4 Conditions à éviter

Évitez les conditions mouillées et l'humidité.

10.5 Matières incompatibles

Matières À Éviter

Pas connu.

10.6 Produits de décomposition dangereux

En cas d'échauffement, des vapeurs/gaz nocifs peuvent se produire.

SECTION 11 : INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

11.1 Informations sur les effets toxicologiques

Danger par aspiration

Non anticipé comme présentant un risque d'aspiration selon la structure chimique.

Inhalation

Les poussières peuvent irriter l'appareil respiratoire ou les poumons.

Ingestion

Peut causer des gênes en cas d'ingestion.

Contact avec la peau

Le contact prolongé et fréquent peut entraîner des rougeurs et de l'irritation.

Contact avec les yeux

Irritant pour les yeux. Les particules dans les yeux peuvent causer une irritation et une douleur cuisante.

Voie D'Exposition

Pas d'organe-cible spécifique noté

SECTION 12 : INFORMATIONS ÉCOLOGIQUES

12.1 Toxicité

CL 50, 96 H > 10000 mg/l Onchorhynchus mykiss (Truite arc-en-ciel)

12.2 Persistance et dégradabilité

Ce produit contient seulement des composés inorganiques qui ne sont pas biodégradables.

12.3 Potentiel de bioaccumulation

Ce produit ne provoque pas de bio-accumulation.



CHEMGEL MR

12.4 Mobilité dans le sol

Mobilité :

Ce produit est insoluble dans l'eau.

12.5 Résultats des évaluations PBT et vPvB

Ce produit ne contient aucune substance PBT ni vPvB selon les critères actuels de l'UE.

12.6 Autres effets néfastes

Pas connu.

SECTION 13 : CONSIDÉRATIONS RELATIVES A L'ÉLIMINATION

13.1 Méthodes de traitement des déchets

Récupérer et régénérer ou recycler si possible. Éliminer les déchets et résidus conformément aux règlements municipaux.

Classification Déchets

Le code de rebut Européen appliqué pour ce produit dépendra de l'utilisation finale qui en sera faite. EWC-code: 01 04 09

SECTION 14 : INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Généralités

Le produit n'est pas soumis à la réglementation internationale sur le transport des marchandises dangereuses (IMDG, ICAO/IATA, ADR/RID).

14.1 Numéro ONU

Non applicable.

14.2 Nom d'expédition des Nations unies

Non applicable.

14.3 Classe(s) de danger pour le transport

Non applicable.

14.4 Groupe d'emballage

Non applicable.

14.5 Dangers pour l'environnement

Substance Dangereuse Pour L'Environnement/Polluant Marin : Non

14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur

Non applicable.

14.7 Transport en vrac conformément à l'annexe II de la convention Marpol 73/78 et au recueil IBC

Non applicable.

SECTION 15 : INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

15.1 Réglementations/législation particulières à la substance ou au mélange en matière de sécurité, de santé et d'environnement

Législation UE

Règlement (CE) n o 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement



CHEMGEL MR

(CEE) n o 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n o 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission, avec modifications.

SECTION 16 : AUTRES INFORMATIONS

Références bibliographiques

Les informations sur le produit sont fournies par le(s) vendeur(s). Fiche de données de sécurité, divers fabricants. LOLI. BCE Bureau Chimique Européen - SIES Système d'Information chimique Européen des Substances.

Définitions

VLNEP : Valeurs limites nationales d'exposition professionnelle.

VLBN : Valeurs limites biologiques nationales.

PBT : Persistent, Bioaccumulative and Toxic.

vPvB : Very Persistent, Very Bioaccumulative.

Divers

L'information donnée correspond à l'état actuel de notre connaissance et de notre expérience du produit et n'est pas exhaustive. Elle s'applique au produit en l'état, conforme aux spécifications, sauf mention contraire. En cas de combinaisons ou de mélanges, s'assurer qu'aucun danger nouveau ne puisse apparaître. Elle n'exonère, en aucun cas, l'utilisateur du produit de respecter l'ensemble des textes législatifs, réglementaires et administratifs relatifs au produit, à la sécurité, à l'hygiène et à la protection de la santé humaine et de l'environnement, ni de dispenser l'information et la formation nécessaire aux salariés concernés. Une attention particulière sera apportée à la formation des nouveaux utilisateurs.



CHEMGEL MR

Avis De Non-Responsabilité

Fiche technique de sécurité fournie indépendamment de la vente du produit. Malgré tous les efforts pour décrire ce produit, certaines données nous parviennent de source en dehors de notre contrôle direct. Nous ne sommes donc pas en mesure de garantir la fiabilité ni l'état complet de ce produit et ne pouvons être responsables de l'usage qui en est fait. Aucun effort de censure ou d'oubli de quelque aspect nuisible que ce soit n'a été tenté. Étant donné que nous ne pouvons ni anticiper ni contrôler les conditions dans lesquelles les présentes informations et le produit seront utilisés, nous ne sommes pas en mesure de garantir que les précautions suggérées seront suffisantes pour toutes personnes et/ou situations. Il importe donc à chaque personne utilisant ce produit d'observer les exigences de tous les règlements en vigueur concernant l'usage et l'enlèvement de ce produit. Des enseignements supplémentaires seront fournis sur demande pour assister l'utilisateur, mais aucune garantie.



FICHE DE DONNÉES DE SECURITÉ MIKHART (tous grades)

SECTION 1 : IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE / MÉLANGE ET DE LA SOCIÉTÉ / ENTREPRISE

1.1 Identification de la substance ou mélange :

Nom commercial MIKHART
Carbonate de calcium

1.2 Usage de la substance ou mélange :

Additif fluide de forage
Agent alourdissant, colmatant utilisé en cas de pertes de fluide.

1.3 Identification de la société ou entreprise

Chemfor
12 chemin Salié
Lot n°7
64000 Pau
Tel: 05 59 30 36 39
Fax: 05 59 04 63 11
Mail : direction@chemfor.com

1.4 Numéro d'appel en cas d'urgence :

Numéro Orfila (INRS) : +33(0)1 45 42 59 59
Ce numéro permet d'obtenir les coordonnées de tous les centres Anti-poison français. Ces centres anti-poison et de toxicovigilance fournissent une aide médicale gratuite (hors coût d'appel), 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

SECTION 2 : IDENTIFICATION DES DANGERS

2.1 Classification de la substance ou du mélange :

Conformément au règlement (CE) n°1272/2008 et ses adaptations.

Risques Physiques et Chimiques Non classé.
Pour l'homme Non classé.
Pour l'environnement Non classé.

Pour l'homme

Ce produit contient une petite quantité de quartz, silice cristalline. Les IARC Monographes, Vol 68, 1997, concluent que l'évidence est suffisante pour témoigner que la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite issue de sources industrielles provoque le cancer chez l'homme. IARC Groupe de classification 1. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles.

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquette Conforme A La Norme (CE) N° 1272/2008
Aucun pictogramme requis.

2.3 Autres dangers

Non classifié dans la catégorie PBT/vPvB selon les critères actuels de l'UE.



MIKHART (tous grades)

SECTION 3 : COMPOSITION / INFORMATION SUR LES COMPOSANTS

No CAS	No CE	Nom du composant	%	Classification (CE 1272/2008)	Classification (67/548/CEE)	Phrase de risque
14808-60-7	238-878-4	Silices Cristallines (Quartz)	<1%	H373	Xn; R48/20	R48/20
471-34-1	207-439-9	Carbonate de calcium	60 – 100%	Non classé	Non classé	Non classé

L'intégralité du texte des phrases de risque et des mentions de danger figure à la Section 16.

Notes d'enregistrement REACH En ce qui concerne les minéraux, l'article 2 § 7 (b) et annexe V, point 7 explicitement en exemptés d'enregistrement et d'évaluation "minéraux présents dans la nature, si elles ne sont pas chimiquement modifiées." Ce produit est exempté de l'inscription.

Commentaires Sur La Composition

Les données stipulées sur ce document sont en accord avec les dernières Directives de l'Union Européenne. Ce produit contient une petite quantité de quartz, silice cristalline. Une exposition prolongée et répétée à des concentrations de silice cristalline dépassant le seuil toléré peut provoquer une maladie chronique des poumons telle que la silicose. Au regard de la quantité et de la composition, les dangers pour la santé sont considérés comme faibles. Ce minéral est naturel et issu d'un gisement.

SECTION 4 : PREMIERS SECOURS

4.1 Description des premiers secours :

Inhalation :

Emmener immédiatement à l'air frais la personne exposée. En cas de problèmes respiratoires : pratiquer la respiration artificielle et/ou donner de l'oxygène. Consulter un médecin si les troubles persistent.

Ingestion :

Ne pas faire vomir. Donner immédiatement quelques verres d'eau où de lait à boire, à conditions que la victime soit totalement consciente, consulter un médecin si les troubles persistent.

Contact avec la peau :

Enlever immédiatement les vêtements souillés et laver la peau avec de l'eau et du savon. Consulter rapidement un médecin si les symptômes surviennent après le lavage.

Contact avec les yeux :

Prendre soin d'enlever les lentilles de contact des yeux avant de rincer. Laver rapidement les yeux avec beaucoup d'eau en soulevant les paupières ; Continuer à rincer pendant au moins 15 minutes et consulter un médecin ;

4.2 Principaux symptômes et effets, aigus et différés :

Informations générales

La gravité des symptômes décrits varie en fonction de la concentration et de la durée d'exposition ; En cas de développement de symptômes indésirables tels que indiqués, le blessé doit être admis dans un établissement hospitalier dans les meilleurs délais. Pour de plus amples informations, consulter la rubrique 11.

4.3 Indication des éventuels soins médicaux immédiats et traitements particuliers nécessaires :

Traiter de manière symptomatique.



MIKHART (tous grades)

SECTION 5 : MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

5.1 Moyens d'extinction :

Choisir le moyen d'extinction d'incendie en tenant compte d'autres produits chimiques éventuels

5.2 Dangers particuliers résultant de la substance ou du mélange :

Produits de combustion dangereux :

En cas d'échauffement, des vapeurs/gaz nocifs peuvent se produire.

Risques d'incendie/d'explosion rares :

De fortes concentrations de poussière peuvent former un mélange explosif avec l'air.

5.3 Conseils aux pompiers :

Procédures de lutte contre l'incendie :

Les récipients proches à l'incendie doivent être éloignés immédiatement ou refroidis avec de l'eau.

Équipement de protection pour le personnel de lutte contre le feu :

Porter un appareil respiratoire autonome et un vêtement de protection complet en cas d'incendie.

SECTION 6 : MESURES A PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE

6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence :

Porter des vêtements de protection comme décrit dans la rubrique 8 de cette fiche de données de sécurité.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement :

Ne pas laisser le produit pénétrer dans les canalisations, les égouts ou les cours d'eau.

6.3 Méthodes et matériel de confinement et de nettoyage :

Éviter de générer et disperser la poussière. Pelleter et placer dans des récipients secs, les recouvrir et les déplacer. Rincer la zone avec de l'eau. En cas de déversement accidentel : faire attention aux surfaces et sols glissants.

6.4 Référence à d'autres sections :

Pour obtenir des informations sur l'élimination, voir la rubrique 13.

SECTION 7 : MANIPULATION ET STOCKAGE

7.1 Précautions à prendre pour une manipulation sans danger :

Éviter l'inhalation de poussières et le contact avec la peau et les yeux ; Éviter les manipulations qui conduisent à la formation de poussière. Il est nécessaire de veiller à la bonne hygiène personnelle. Se laver les mains et les parties souillées à l'eau et au savon avant de quitter le lieu de travail. Enlever les vêtements contaminés. Ne pas manger, boire ou fumer pendant l'utilisation.

7.2 Conditions de stockage, y compris d'éventuelles incompatibilités :

Entreposer dans un endroit frais, sec et aéré, dans des récipients d'origine bien fermés. Évitez les conditions mouillées et l'humidité.

Critères De Stockage

Entreposage non spécifié.

7.3 Utilisation(s) finale(s) particulière(s) :

Les utilisations identifiées pour ce produit sont indiquées en détail à la section 1.2.

SECTION 8 : CONTRÔLES DE L'EXPOSITION / PROTECTION INDIVIDUELLE

8.1 Paramètres de contrôle :

Appellation	NORME	VME – 8 Hrs
Silices Cristallines (Quartz)	VLEP	0,1 mg/m ³
Carbonate de calcium	VLEP	10 mg/m ³

VLEP = Valeurs limites d'exposition professionnelle.



MIKHART (tous grades)

8.2 Contrôles de l'exposition :

Equipement de protection :



Conditions de procédé

Tous les équipements de protection individuelle (EPI) chimique doivent être choisis après évaluation du danger chimique présent et du risque d'exposition à ce danger. Les recommandations d'EPI ci-après se basent sur une évaluation des dangers chimiques associés à ce produit. Lorsque ce produit est mélangé avec d'autres produits ou fluides, d'autres dangers peuvent apparaître et une évaluation supplémentaire des risques peut être nécessaire. Le risque d'exposition et la nécessité d'une protection respiratoire varient en fonction du lieu de travail et doivent être évalués par l'utilisateur dans chaque situation.

Protection respiratoire :

Pas de recommandation spécifiques, mais une protection respiratoire peut néanmoins être requise dans des circonstances exceptionnelles lors d'une contamination importante de l'air. Utiliser un masque à filtre à poussières P2 (pour poussière fine).

Protection des mains :

Porter des gants de protection appropriés en cas de contact prolongé ou répété avec la peau. Butyl-caoutchouc, Polychlorure de vinyle (PVC).

Protection des yeux :

Porter des lunettes de sécurité approuvées.

Autres mesures de protection :

Porter des vêtements appropriés pour éviter tout contact avec la peau. Assurer l'accès à une douche oculaire.

Mesures d'hygiène :

Se laver après le travail et avant de manger, de fumer et avant d'aller aux toilettes. Se laver les mains après l'usage. Enlever promptement tout vêtement mouillé ou contaminé.

SECTION 9 : PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles :

Aspect	Poudre
Couleur	blanc / blanc cassé
Odeur	Inodore
Solubilité	Insoluble dans l'eau
Point de fusion (°C)	>700°C
Densité relative	2,7 - 2,8 s.g @ 20°C
Valeur pH, Solution diluée	8 – 10

9.2 Autres informations :

Sans objet

SECTION 10 : STABILITÉ ET REACTIVITÉ

10.1 Réactivité

Aucun risque connu de réactivité n'est associé à ce produit.



MIKHART (tous grades)

10.2 Stabilité chimique

Stable à température normale et l'emploi recommandé.

10.3 Possibilité de réactions dangereuses

Pas connu.

10.4 Conditions à éviter

Évitez les conditions mouillées et l'humidité.

10.5 Matières incompatibles

Matières À Éviter

Pas connu.

10.6 Produits de décomposition dangereux

En cas d'échauffement, des vapeurs/gaz nocifs peuvent se produire.

SECTION 11 : INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

11.1 Informations sur les effets toxicologiques

Danger par aspiration

Non anticipé comme présentant un risque d'aspiration selon la structure chimique.

Inhalation

Les poussières peuvent irriter l'appareil respiratoire ou les poumons.

Ingestion

Peut causer des gênes en cas d'ingestion.

Contact avec la peau

Le contact prolongé et fréquent peut entraîner des rougeurs et de l'irritation.

Contact avec les yeux

Irritant pour les yeux. Les particules dans les yeux peuvent causer une irritation et une douleur cuisante.

Voie D'Exposition

Pas d'organe-cible spécifique noté

SECTION 12 : INFORMATIONS ÉCOLOGIQUES

CLASSE DE DANGER POUR L'EAU

WGK 0

SECTION 13 : CONSIDÉRATIONS RELATIVES A L'ÉLIMINATION

13.1 Méthodes de traitement des déchets

Récupérer et régénérer ou recycler si possible. Éliminer les déchets et résidus conformément aux règlements municipaux.

SECTION 14 : INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Généralités

Le produit n'est pas soumis à la réglementation internationale sur le transport des marchandises dangereuses (IMDG, ICAO/IATA, ADR/RID).



MIKHART (tous grades)

14.1 Numéro ONU

Non applicable.

14.2 Nom d'expédition des Nations unies

Non applicable.

14.3 Classe(s) de danger pour le transport

Non applicable.

14.4 Groupe d'emballage

Non applicable.

14.5 Dangers pour l'environnement

Substance Dangereuse Pour L'Environnement/Polluant Marin : Non

14.6 Précautions particulières à prendre par l'utilisateur

Non applicable.

14.7 Transport en vrac conformément à l'annexe II de la convention Marpol 73/78 et au recueil IBC

Non applicable.

SECTION 15 : INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

15.1 Réglementations/législation particulières à la substance ou au mélange en matière de sécurité, de santé et d'environnement

Législation UE

Règlement (CE) n o 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n o 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n o 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission, avec modifications.

Classification de danger pour l'eau

WGK 0

SECTION 16 : AUTRES INFORMATIONS

Références bibliographiques

Les informations sur le produit sont fournies par le(s) vendeur(s). Fiche de données de sécurité, divers fabricants. LOLI. BCE Bureau Chimique Européen - SIES Système d'Information chimique Européen des Substances.

Définitions

VLNEP : Valeurs limites nationales d'exposition professionnelle.

VLBN : Valeurs limites biologiques nationales.

PBT : Persistent, Bioaccumulative and Toxic.

vPvB : Very Persistent, Very Bioaccumulative.



MIKHART (tous grades)

Divers

L'information donnée correspond à l'état actuel de notre connaissance et de notre expérience du produit et n'est pas exhaustive. Elle s'applique au produit en l'état, conforme aux spécifications, sauf mention contraire. En cas de combinaisons ou de mélanges, s'assurer qu'aucun danger nouveau ne puisse apparaître. Elle n'exonère, en aucun cas, l'utilisateur du produit de respecter l'ensemble des textes législatifs, réglementaires et administratifs relatifs au produit,

à la sécurité, à l'hygiène et à la protection de la santé humaine et de l'environnement, ni de dispenser l'information et la formation nécessaire aux salariés concernés. Une attention particulière sera apportée à la formation des nouveaux utilisateurs.

Avis De Non-Responsabilité

Fiche technique de sécurité fournie indépendamment de la vente du produit. Malgré tous les efforts pour décrire ce produit, certaines données nous parviennent de source en dehors de notre contrôle direct. Nous ne sommes donc pas en mesure de garantir la fiabilité ni l'état complet de ce produit et ne pouvons être responsables de l'usage qui en est fait. Aucun effort de censure ou d'oubli de quelque aspect nuisible que ce soit n'a été tenté. Étant donné que nous ne pouvons ni anticiper ni contrôler les conditions dans lesquelles les présentes informations et le produit seront utilisés, nous ne sommes pas en mesure de garantir que les précautions suggérées seront suffisantes pour toutes personnes et/ou situations. Il importe donc à chaque personne utilisant ce produit d'observer les exigences de tous les règlements en vigueur concernant l'usage et l'enlèvement de ce produit. Des enseignements supplémentaires seront fournis sur demande pour assister l'utilisateur, mais aucune garantie.

Fiche de données de sécurité selon 91/155/CEE

Date d'impression : 02.05.2006

Version 1

revue le : 02.05.2006

1 Identification de la substance/préparation et de la société/entreprise

- **Identification de la substance ou de la préparation**
- **Nom du produit:** **IDOS 130A**
- **Emploi de la substance / de la préparation** Inhibiteur de dépôts
- **Producteur/fournisseur:**
R.E.P.
Recherche Exploitation Produits
40 Avenue Jean Jaurès
ZI Pétrolière
78440 GARGENVILLE - FRANCE
T : 00.33.(0)1.30.98.80.00
F : 00.33.(0)1.30.98.82.01
Mail : info@re.p.fr
www.re.p.fr
- **Renseignements en cas d'urgence:** Orfila : 00.33.(0)1.45.42.59.59

2 Composition/informations sur les composants

- **Caractérisation chimique**
- **Description:** Solution aqueuse d'acide carboxylique neutralisée.

· **Composants dangereux:**

Soude 30%	C, R.35	10-25%
-----------	---------	--------

· **Indications complémentaires:** Pour le libellé des phrases de risque citées, se référer au chapitre 16.

3 Identification des dangers

- **Principaux dangers:** Néant.
- **Indications particulières concernant les dangers pour l'homme et l'environnement:**
Le produit n'est pas à étiqueter, conformément au procédé de calcul de la "Directive générale de classification pour les préparations de la CE", dans la dernière version valable.
- **Système de classification:**
La classification correspond aux listes CEE actuelles et est complétée par des indications tirées de publications spécialisées et des indications fournies par l'entreprise.

4 Premiers secours

- **Remarques générales:** Aucune mesure particulière n'est requise.
- **Après inhalation:** Donner de l'air frais, consulter un médecin en cas de troubles.
- **Après contact avec la peau:**
Laver immédiatement à l'eau et au savon et bien rincer.
En règle générale, le produit n'irrite pas la peau.
- **Après contact avec les yeux:**
Rincer les yeux, pendant plusieurs minutes, sous l'eau courante en écartant bien les paupières. Si les troubles persistent, consulter un médecin.
- **Après ingestion:** Ne pas faire vomir. Rincer soigneusement la bouche à l'eau. Consulter un médecin.

5 Mesures de lutte contre l'incendie

- **Moyens d'extinction:**
CO₂, poudre d'extinction ou eau pulvérisée. Combattre les foyers importants avec de l'eau pulvérisée.

(suite page 2)



Fiche de données de sécurité selon 91/155/CEE

Date d'impression : 02.05.2006

Version 1

revue le : 02.05.2006

Nom du produit: IDOS 130A**Équipement spécial de sécurité:** Porter un vêtement de protection totale.

(suite de la page 1)

6 Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle

Les précautions individuelles:

Porter un équipement de sécurité. Eloigner les personnes non protégées.
Éviter tout contact avec la peau, les yeux et les vêtements.

Mesures pour la protection de l'environnement:

Ne pas rejeter dans les canalisations, dans les eaux de surface et dans les nappes d'eau souterraines.
En cas de pénétration dans les eaux ou les égouts, avertir les autorités compétentes.

Méthodes de nettoyage/récupération:

Recueillir les liquides à l'aide d'un produit absorbant (sable, kieselguhr, neutralisant d'acide, liant universel, sciure).

Indications supplémentaires: Aucune substance dangereuse n'est dégagée.

7 Manipulation et stockage

Manipulation:**Précautions à prendre pour la manipulation:** Éviter le contact avec la peau, les yeux et les vêtements.**Préventions des incendies et des explosions:** Aucune mesure particulière n'est requise.**Stockage:****Exigences concernant les lieux et conteneurs de stockage:** Aucune exigence particulière.**Indications concernant le stockage commun:** Entreposer à l'écart des nitrites et des sulfites.**Autres indications sur les conditions de stockage:** Tenir les emballages hermétiquement fermés.

8 Contrôle de l'exposition/protection individuelle

Indications complémentaires pour l'agencement des installations techniques: Sans autre indication, voir point 7**Composants présentant des valeurs-seuil à surveiller par poste de travail:****Soude 30% (10-25%)**VME | 2 mg/m³**Remarques supplémentaires:** Le présent document s'appuie sur les listes en vigueur au moment de son élaboration.**Équipement de protection individuel:****Mesures générales de protection et d'hygiène:**

Respecter les mesures de sécurité usuelles pour l'utilisation de produits chimiques.

Protection respiratoire: N'est pas nécessaire.**Protection des mains:**

Le matériau des gants doit être imperméable et résistant au produit / à la substance / à la préparation.

À cause du manque de tests, aucune recommandation pour un matériau de gants pour le produit / la préparation / le mélange de produits chimiques ne peut être donnée.

Choix du matériau des gants en fonction des temps de pénétration, du taux de perméabilité et de la dégradation.

Matériau des gants

Le choix de gants appropriés dépend non seulement du matériau, mais aussi d'autres critères de qualité qui peuvent varier d'un fabricant à l'autre. Puisque le produit représente une préparation composée de plusieurs substances, la résistance des matériaux des gants ne peut pas être calculée à l'avance et doit, alors, être contrôlée avant l'utilisation.

Temps de pénétration du matériau des gants

Le temps de pénétration exact est à déterminer par le fabricant des gants de protection et à respecter.

Protection des yeux: Lunettes de protection recommandées pour le transvasement.

(suite page 3)

**Fiche de données de sécurité
selon 91/155/CEE**

Date d'impression : 02.05.2006

Version 1

revue le : 02.05.2006

Nom du produit: IDOS 130A

(suite de la page 2)

9 Propriétés physiques et chimiques

Indications générales

Forme:	Liquide
Couleur:	Incolore
Odeur:	Légère

Changement d'état

Point de fusion:	Non déterminé.
Point d'ébullition:	Non déterminé.

Point d'inflammation: Non applicable.

Auto-inflammation: Le produit ne s'enflamme pas spontanément.

Danger d'explosion: Le produit n'est pas explosif.

Densité à 20°C: 1,220 g/cm³

Solubilité dans/miscibilité avec l'eau: Soluble

valeur du pH à 20°C: 7

Indications complémentaires: Point de congélation: -5°C.

10 Stabilité et réactivité

Décomposition thermique/conditions à éviter:

Pas de décomposition en cas de stockage et de manipulation conformes.

Substances à éviter: Eviter les sulfites (dégagement de SO₂) et les nitrites (dégagement de CO₂).

Réactions dangereuses: Aucune réaction dangereuse connue.

Produits de décomposition dangereux: Pas de produits de décomposition dangereux connus

11 Informations toxicologiques

Toxicité aiguë:

Valeurs LD/LC50 déterminantes pour la classification:

Soude 30%

Oral LD50 2000 mg/kg (rat)

Effet primaire d'irritation:

de la peau: Pas d'effet d'irritation.

des yeux: Pas d'effet d'irritation.

Sensibilisation: Aucun effet de sensibilisation connu.

Indications toxicologiques complémentaires:

Selon le procédé de calcul de la dernière version en vigueur de la directive générale CEE de classification des préparations, le produit n'est soumis à aucune obligation de marquage.

En cas de manipulation et d'utilisation conformes, le produit n'a aucun effet nocif pour la santé selon notre expérience et les informations dont nous disposons.

12 Informations écologiques

Indications sur l'élimination (persistance et dégradabilité): Pas facilement biodégradable.

Indications générales:

Catégorie de pollution des eaux 1 (D) (Classification propre): peu polluant

(suite page 4)

**Fiche de données de sécurité
selon 91/155/CEE**

Date d'impression : 02.05.2006

Version 1

revue le : 02.05.2006

Nom du produit: IDOS 130A

(suite de la page 3)
Ne pas laisser le produit, non dilué ou en grande quantité, pénétrer la nappe phréatique, les eaux ou les canalisations.

13 Considérations relatives à l'élimination

- **Produit:**
- **Recommandation:** Doit faire l'objet d'un traitement spécial conformément aux prescriptions légales.
- **Emballages non nettoyés:**
- **Recommandation:** Evacuation conformément aux prescriptions légales.

14 Informations relatives au transport

- **Transport maritime IMDG (ordonnance sur le transport de produits dangereux):**
- **Marine Pollutant:** Non

15 Informations réglementaires

- **Marquage selon les directives CEE:**
Les mesures de prudence habituelles doivent être observées en cas de manipulation de produits chimiques.
Le produit n'est pas tenu d'être identifié suivant les directives de la Communauté Européenne/la "GefStoffV" = la Réglementation sur les Produits dangereux.
- **Identification particulière de certaines préparations:**
Fiche de donnée de sécurité disponible sur demande pour les professionnels.

16 Autres informations

- Ces indications sont fondées sur l'état actuel de nos connaissances, mais ne constituent pas une garantie quant aux propriétés du produit et ne donnent pas lieu à un rapport juridique contractuel.
- **Phrases R importantes:**
35 Provoque de graves brûlures.

40 avenue Jean-Jaurès
Z.I. Pétrolière – Issou
78440 GARGENVILLE
France
Tél. : 33 (0)1 30 98 80 00
FAX : 33 (0)1 30 98 82 01
e-mail : info@rep.fr
www.rep.fr



IDOS 130A

Inhibiteur de dépôts

CARACTERISTIQUES

- Liquide incolore.
- pH : ≈ 7 .
- Densité : 1,22
- Point de gel : -5°C .
- Point d'ébullition : 100°C .
- Ininflammable.
- Soluble dans l'eau en toutes proportions.

APPLICATIONS

L'**IDOS 130 A** est spécialement conçu pour contrôler la formation des dépôts de carbonate.

L'**IDOS 130 A** est un copolymère qui donne d'excellents résultats en application par squeezees.

MODE D'EMPLOI

L'**IDOS 130 A** a une très bonne stabilité pour une application à haute température ($>150^{\circ}\text{C}$).

L'**IDOS 130 A** s'utilise à des concentrations qui vont de 5 à 30 ppm.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Fûts plastique 215 L / 262 kg.

Cuves plastique de 1000 L / 1220 kg.

Durée de vie : 2 ans minimum dans des conditions normales de stockage. A retester ensuite.

SECURITE

L'**IDOS 130 A** n'est pas un produit dangereux mais il est tout de même préférable lors de sa manipulation de porter des gants et des lunettes.

Ces informations ne peuvent en aucun cas constituer une garantie. Elles découlent d'expériences connues et sont données à titre indicatif pour guider l'utilisateur dans ses premières applications.

IDOS 130A / 0 / 08.04.03

DOC-73-03 / A / 08-07-02

ANNEXE 2 :

Données toxicologiques et écotoxicologiques de l'IDOS 130A

TOXICOLOGICAL DATA

Study type	Result
Acute data	
Acute oral LD50 (rat)	>5000 mg/kg
Acute eye irritation/corrosivity	Non-irritant (EEC Guidelines)
Acute skin irritation/corrosivity	Non-irritant (EEC Guidelines)
Skin sensitisation (Guinea pig)	Not sensitising
Mutagenicity data	
Ames test	No mutagenic effects
Micronucleus test in Chinese hamster	No mutagenic effects
Repeat dose data	
28 day oral study (rat)	NOEL 200 mg/kg/day
90 day oral study (rat)	NOEL 100 mg/kg/day male NOEL 500 mg/kg/day female

ECOTOXICOLOGICAL DATA

Study type	Result
Freshwater organisms	
96h LC50 (Rainbow trout)	>1000 mg/l
96h LC50 (Zebra fish)	>1000 mg/l
48h EC50 (Daphnia)	>320 mg/l
72 hr EC50 (Scenedesmus subspicatus)	130 mg/l
Marine Organisms	
96h LC50 (Juvenile turbot)	>1000 mg/l
96 hr LC50 (Crangon crangon)	>1000 mg/l
48 hr EC50 (Arcatia tonsa)	>186 mg/l
72 hr EC50 (Skeletonema costatum)	>1000 mg/l
Biodegradability test	
OECD 301D - % degradation in days	2% in 28 days
OECD 306 - % degradation in days	1% in 28 days
Bioaccumulation test	
OECD 117 - Log Pow	<0



ANNEXE 7 :

INERIS – Fiche de données toxicologiques et environnementales de l'Hydrogène sulfuré. Mise à jour : 29/09/2011.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Dernière mise à jour : 29/09/2011

RESPONSABLE DU PROGRAMME

M. BISSON : michele.bisson@ineris.fr

EXPERTS AYANT PARTICIPÉ À LA RÉDACTION

K. ADAM - M. BISSON - L. DUCHÊNE - F. GHILLEBAERT- D. GUILLARD - K. TACK - I. ZDANÉVITCH.

Historique des révisions et addendums

Version	objet	commentaires	Date
V1	Rédaction de la fiche		2007
V2	Mise à jour		2009
V2.2	Insertion Résumé et addendum 1		2011

DOCUMENTATION

D. GUILLARD

Document révisé avec la collaboration des Docteur Baert et Flüry-Herard, de Monsieur le Professeur Haguenoer et de Monsieur Benoit Hervé- Bazin

Afin d'avoir une meilleure compréhension de cette fiche, les lecteurs sont invités à se référer à la méthodologie de renseignements.

SULFURE D'HYDROGÈNE

SOMMAIRE

RESUME	5
1. GÉNÉRALITÉS	10
1.1 Identification/caractérisation	10
1.2 Principes de production	10
1.3 Utilisations	11
1.4 Principales sources d'exposition	12
2. PARAMÈTRES D'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION	16
2.1 Paramètres physico-chimiques	16
2.2 Comportement	18
2.2.1 Dans l'eau	18
2.2.2 Dans les sols	18
2.2.3 Dans l'air	19
2.3 Persistance	19
2.3.1 Dégradation abiotique	19
2.3.2 Biodégradation	20
2.4 Bio-accumulation et métabolisme	20
2.4.1 Organismes aquatiques	22
2.4.2 Organismes terrestres y compris les végétaux	22
3. DONNÉES TOXICOLOGIQUES	22
3.1 Devenir dans l'organisme	23
3.2 Toxicologie aiguë	28
3.3 Toxicologie chronique	31
3.3.1 Effets généraux (non génotoxiques - non reprotoxiques)	31
3.3.2 Effets cancérigènes	33

SULFURE D'HYDROGÈNE

3.3.3 Effets sur la reproduction et le développement	34
3.4 Valeurs toxicologiques de référence	36
3.4.1 Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS	36
3.4.2 Valeurs toxicologiques de référence de Santé Canada, du RIVM et de l'OEHHA	39
4. DONNÉES ÉCOTOXICOLOGIQUES	40
4.1 Paramètres d'écotoxicité aiguë	41
4.1.1 Organismes aquatiques	41
4.1.2 Organismes terrestres	66
4.2 Paramètres d'écotoxicité chronique	66
4.2.1 Organismes aquatiques	66
4.2.2 Organismes terrestres	77
5. VALEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES	77
5.1 Classification - Milieu de travail	77
5.2 Nomenclature Installations classées (IC)	78
5.3 Valeurs utilisées en milieu de travail	78
5.4 Valeurs utilisées pour la population générale	78
5.4.1 Qualité des eaux de consommation	78
5.4.2 Qualité de l'air	79
5.4.3 Valeurs moyennes dans les milieux biologiques	80
5.5 Concentrations sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC).	80
Propositions de l'INERIS	80
5.5.1 Compartiment aquatique	80
5.5.2 Compartiment sédimentaire	82
5.5.3 Compartiment sol	82
5.5.4 Compartiment terrestre	83
6. MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE QUANTIFICATION DANS L'ENVIRONNEMENT	83
6.1 Familles de substances	83
6.2 Principes généraux	83
6.2.1 Eau	83

SULFURE D'HYDROGÈNE

6.2.2 Air	83
6.2.3 Sols	85
6.2.4 Autres compartiments	85
6.3 Principales méthodes	85
6.3.1 Présentation des méthodes	85
6.3.2 Autres méthodes	86
6.3.3 Tableau de synthèse	87
7. BIBLIOGRAPHIE	88
8. ADDENDUM	100
ADDENDUM 1 (2011 / VTR)	100
1. Introduction	100
2. Nouvelle version du paragraphe 3.4.	100
3.4 Valeurs toxicologiques de référence	100
3.4.1. Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'OEHHA, l'OMS, le RIVM, Santé Canada et l'US EPA	100
4.2. Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS	105

SULFURE D'HYDROGÈNE

RESUME

► Généralités - Principales Utilisations - Concentrations ubiquitaires

L'hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène (H₂S) est un gaz incolore. C'est un sous produit de différentes opérations de l'industrie. Il est utilisé dans la fabrication de sulfures métalliques, notamment sulfure de sodium et hydrosulfure de sodium pour l'industrie du papier, dans la fabrication de mercaptans, dans l'industrie des colorants, du caoutchouc, du cuir, des pesticides, chimique (polymères et additifs des plastiques), pharmaceutique, nucléaire (fabrication de l'eau lourde) et en métallurgie extractive de l'or. Le H₂S peut aussi produit naturellement par dégradation anaérobie par les microorganismes.

La présence du sulfure d'hydrogène, dans l'air ambiant, serait inférieure à 1.10⁻³ mg.m⁻³.

Classification :

Adaptation n° 28 de la directive 67/548/CEE : F+, R12 - T+, R26 - N, R50.

Règlement CLP (CE) n° 1272/2008 : Flam. Gas 1, H220 - Press. Gas - Acute Tox. 2 , H330 - Aquatic Acute 1, H400

► Données toxicologiques

▪ Toxicocinétique

Chez l'homme, l'inhalation est la voie essentielle d'exposition à l'H₂S. Par cette voie, l'H₂S est absorbé rapidement à travers les alvéoles. A fortes concentrations, l'absorption d'H₂S est rapide et ses effets létaux peuvent survenir en quelques secondes/minutes. Il peut également être absorbé par le tractus gastro-intestinal et la peau. L'H₂S se distribue dans les différents organes notamment le cerveau, le foie et les reins. La métabolisation du sulfure d'hydrogène peut s'effectuer selon 3 voies, la voie principale est l'oxydation dans le foie par action de l'enzyme sulfure oxydase conduisant à la formation de thiosulfate et son élimination dans les urines. La méthylation conduisant à la formation de méthane-thiol et de sulfure de diméthyl est une voie mineure de même que la liaison avec les métalloprotéines ou protéines contenant un groupement disulfure. L'élimination est majoritairement urinaire sous forme de sulfate, de thiosulfate, de sulfite et sous forme non oxydée.

Les données chez l'animal confirment celles chez l'homme et permettent d'identifier le principal mécanisme d'action : l'inhibition directe par liaison au fer de l'enzyme cytochrome oxydase est à l'origine d'un blocage de la chaîne respiratoire mitochondriale et d'un métabolisme anaérobie avec production d'acide lactique. Le cerveau ou le cœur sont les tissus les plus sensibles à cette altération du métabolisme oxydatif. Une inhibition de l'anhydrase carbonique, des perturbations directes des potentiels de membranes ou une augmentation des concentrations cérébrales de neuromédiateurs comme l'alanine, la sérotonine, le glutamate, la glycine pourraient également survenir.

SULFURE D'HYDROGÈNE

▪ Toxicité aiguë

Chez l'homme, l'intoxication suraiguë s'observe pour de fortes concentrations (environ 1 390 mg.m⁻³) et de courtes durées d'exposition (quelques secondes à quelques minutes). Elle se traduit par une atteinte du système nerveux central (perte de conscience surnommée « coup de plomb des vidangeurs ou des égoutiers ») et une détresse respiratoire parapnée. Si l'exposition n'est pas instantanément fatale, l'apparition d'un œdème pulmonaire retardé peut être observée. Une amnésie rétrograde avec une diminution des facultés intellectuelles est également possible.

Les signes systémiques en rapport avec l'anoxie cellulaire peuvent apparaître dès 250 ppm : toux, douleur thoracique, dyspnée, hypotension, tachycardie, troubles du rythme, ischémie sous endothéliale. Les signes neurologiques peuvent se manifester dès 200 ppm et sont sévères dès 500 ppm. Ils comportent : des céphalées, des vertiges, des troubles de la coordination, des nausées, des vomissements, une asthénie intense, une désorientation, un nystagmus, une perte de connaissance et un coma.

Suite à des intoxications aiguës, des séquelles neurologiques ont pu être observées sous la forme de troubles mnésiques, de tremblements, d'ataxie, d'altération de la vision, de l'audition et une démence.

Chez le rat, les CL₅₀ sont comprises entre 466 et 816 mg.m⁻³, en fonction de la souche et de la durée d'exposition, de 2 à 6 heures. Les principaux effets sont des irritations oculaires et pulmonaires et des effets systémiques sévères. Les effets neurotoxiques sont liés à une inhibition des activités monoamine oxydase (MAO) et une augmentation des niveaux de neurotransmetteurs du tronc cérébral.

▪ Toxicité chronique

- Effets systémiques

Chez l'homme, l'H₂S est associé à une augmentation de la mortalité par pathologies pulmonaires et de l'incidence des pathologies cardiovasculaires et du système nerveux (central et périphérique, mais il existe des co expositions). Des atteintes oculaires (conjonctivite et kératite) sont également rapportées.

Chez l'animal, pour des expositions sub-aiguës des lésions bilatérales au niveau de la muqueuse olfactive avec perte des neurones olfactifs et hyperplasie des cellules basales affectent les régions médianes et dorsales de la cavité de l'éthmoïde. Des inflammations de la muqueuse nasale ou des hyperplasies bronchiolaires sont aussi décrites. Les effets neurologiques ne sont pas retrouvés pour expositions sub-chroniques.

- Effets cancérogènes

Une seule étude chez l'homme est disponible. Elle rapporte des excès de risque de cancer nasal et un excès de risque de cancer de la trachée, des bronches et des poumons mais son interprétation reste délicate et ne permet pas de conclure.

SULFURE D'HYDROGÈNE

La seule étude de génotoxicité ne permet pas de conclure.

- Effets sur la reproduction et le développement

Chez l'homme, une augmentation du taux d'avortement spontanés a été décrite mais les résultats sont difficilement interprétables du fait de co-expositions. Les différentes études chez l'animal ne permettent pas d'identifier d'effet sur la reproduction ou le développement.

▪ Choix de VTR

Substances chimiques	Effets	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Source	Année de révision
Sulfure d'hydrogène (7783-06-4)	A seuil	Inhalation (chronique)	300	RfC = 0,002 mg.m ⁻³	US EPA IRIS, 2003	2011
		Inhalation (sub-chronique)	30	MRL= 0,03 mg.m ⁻³	ATSDR, 2006	2011
		Inhalation (aiguë)	27	MRL= 0,1 mg.m ⁻³	ATSDR, 2006	2011

► Devenir environnemental et données écotoxicologiques

▪ Devenir environnemental

- Persistance

La concentration d'H₂S dans l'eau diminue avec l'augmentation du pH et de la salinité et son taux d'oxydation augmente avec la température. En s'oxydant, il forme des thiosulfates, des sulfites et du sulfate. Cette oxydation du sulfure aqueux par l'oxygène s'effectue en quelques jours, mais peut être accélérée par la présence de catalyseurs (en présence de nickel par exemple, l'oxydation du sulfure s'effectue en quelques minutes).

Dans l'air, le sulfure d'hydrogène est insensible à la photolyse. Sa durée de vie dans l'atmosphère est comprise entre 18 heures et 42 jours en fonction du taux d'humidité, du rayonnement solaire, des concentrations en ozone et en radicaux OH.

En aérobiose, le sulfure d'hydrogène est oxydé en sulfates ou en soufre élémentaire par des micro-organismes et quelques bactéries photosynthétiques. La réduction du sulfate en sulfure a lieu en anaérobiose en présence de bactéries sulfato-réductrices et d'une source de carbone organique. Les interactions avec ces organismes font partie du cycle global de soufre.

SULFURE D'HYDROGÈNE

- Comportement

Le sulfure d'hydrogène est gazeux à température ambiante, en fonction de conditions telles que la température ou le pH, il peut passer du compartiment air vers les compartiments eaux de surface, eaux souterraines ou sols humides. En effet, le sulfure d'hydrogène est modérément soluble dans l'eau et il s'adsorbe facilement dans les sols. Le sulfure d'hydrogène est également adsorbé par les argiles, et par certains végétaux au niveau des racines.

Dans l'air, H₂S, oxydé par l'oxygène ou les radicaux hydroxydes, forme du dioxyde de soufre puis des sulfates qui peuvent être éliminés de ce compartiment par absorption par les plantes, le sol, ou les précipitations.

- Bioaccumulation

Le sulfure d'hydrogène n'a pas de potentiel de bioaccumulation. Il appartient au cycle géochimique du soufre.

▪ Ecotoxicité pour les organismes aquatiques

○ de la colonne d'eau

- Ecotoxicité aiguë

L'étude des résultats montre, indépendamment de la qualité des données, une grande variabilité de la toxicité aiguë du sulfure d'hydrogène en fonction de l'espèce étudiée et des conditions physico-chimiques du milieu (température, pH). Les résultats des essais réalisés sur les algues n'ont pas été validés. La CL₅₀ la plus faible est égale à 7 µg.L⁻¹ et a été observée lors de plusieurs essais chez différents poissons.

- Ecotoxicité chronique

La toxicité du sulfure d'hydrogène semble similaire pour les invertébrés et les poissons. Les NOEC les plus faibles de 2,0 et 2,2 µg.L⁻¹ sont obtenues respectivement sur le crustacé *Gammarus pseudolimnaeus* et le poisson *Lepomis macrochirus*.

○ benthiques

- Ecotoxicité aiguë

Vis-à-vis des organismes sédimentaires, la CL₅₀ 96 heures est comprise entre 165 et 312 µg.L⁻¹ pour *Hexagenia limbata* et a une valeur de 3 400 µg.L⁻¹ pour *Neanthes arenaceodentata*. Le grand écart de sensibilité est attribué à des différences de sensibilité inter-spécifiques.

- Ecotoxicité chronique

Un essai d'écotoxicité chronique valide sur la nymphe de l'insecte *Hexagenia limbata* est disponible et conduit à une NOEC 138 jours de 15,2 µg.L⁻¹.

SULFURE D'HYDROGÈNE

▪ Ecotoxicité pour les organismes terrestres, y compris faune terrestre

- Ecotoxicité aiguë

Aucune donnée de toxicité aiguë valide du H₂S sur les organismes terrestres n'a été répertoriée.

- Ecotoxicité chronique

Aucune donnée de toxicité chronique valide du H₂S sur les organismes terrestres n'a été répertoriée.

▪ PNEC

Substances chimiques (n° CAS)	Compartiment	Facteur d'extrapolation	Valeur de PNEC	Unité	Source (Année)
Sulfure d'hydrogène (7783-06-4)	PNEC _{eau douce}	50	0,04	µg.L ⁻¹	(INERIS, 2007)
	PNEC _{eau marine}	500	0,004	µg.L ⁻¹	(INERIS, 2007)
	PNEC _{sed}	100	0,152	µg.L ⁻¹	(INERIS, 2007)
	PNEC _{sol}	Coefficient de partage	0,445	µg.kg ⁻¹ sol sec	(INERIS, 2007)
	PNEC _{orale} *	AF	-	-	-

*= Aucune donnée de toxicité aiguë ou chronique valide du sulfure d'hydrogène sur les oiseaux ou mammifères n'a été répertoriée, une PNEC ne peut donc pas être dérivée.

SULFURE D'HYDROGÈNE

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 Identification/caractérisation

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
Sulfure d'hydrogène H ₂ S	7783-06-4	231-977-3	Hydrogen sulfide Hydrosulfuric acid Sulfureted hydrogen	Gaz incolore
				

(*) dans les conditions ambiantes habituelles

Le sulfure d'hydrogène est communément dénommé : gaz d'égoûts, sulfure de dihydrogène, gaz d'explosion, de grisou, hydrure de soufre, hydrogène sulfuré, gaz de marécages, gaz d'œuf pourri, acide sulhydrique, sulfure d'hydrogène...

Le sulfure d'hydrogène technique est pur à 98,5 %. Après purification, le sulfure d'hydrogène atteint un degré de pureté au moins égal à 99,5 % (HSDB, 2005).

Impuretés

Aucune donnée n'a été trouvée sur les impuretés du sulfure d'hydrogène.

1.2 Principes de production

Les principes de production du sulfure d'hydrogène dépendent du domaine dans lequel il est commercialisé. D'une manière générale, l'obtention du sulfure d'hydrogène repose sur deux principes : utilisation de mélanges gazeux et utilisation de substances solides ou liquides (ATSDR, 2006). Le choix du principe dépend notamment des quantités à produire.

Pour la commercialisation de petites quantités, la synthèse du sulfure d'hydrogène se fait :

- par action de l'acide sulfurique dilué ou de l'acide chlorhydrique sur du sulfure de fer, du sulfure de calcium, du sulfure de zinc ou de l'hydrosulfure de sodium. La réaction est conduite dans des réacteurs de Kipp qui permettent de réguler l'ajout d'acide et de maintenir la génération du sulfure d'hydrogène à pression constante (Kirk Othmer, 2004).

SULFURE D'HYDROGÈNE

- par mélange du soufre sous forme vapeur avec de l'hydrogène ou un composé riche en élément hydrogène comme les hydrocarbures aliphatiques (paraffines). La réaction se fait sous pression à la température de 280-320°C en présence d'amiante. Le sulfure d'hydrogène est stocké dans des petits cylindres (Kirk Othmer, 2004). Cette méthode est souvent retenue dans les laboratoires.

À l'échelle industrielle, le sulfure d'hydrogène est un sous produit formé au cours du traitement de ressources naturelles :

À partir du pétrole

Le raffinage du pétrole implique des opérations de distillation dont certaines conduisent à la formation du sulfure d'hydrogène :

- l'hydrotraitement de la fraction naphta et de la coupe kérosène du pétrole : les composés sulfurés sont transformés en sulfure d'hydrogène qui donnera du soufre liquide par application du procédé Claus.
- l'hydrosulfurisation des coupes "gas-oil" issues de pétrole à moyenne ou haute teneur en soufre : après un traitement des coupes "gas-oil" dans une « unité d'adsorption aux amines » et distillation du mélange, le sulfure d'hydrogène produit est envoyé dans une « unité Claus » pour l'obtention du soufre liquide.

Remarque : Plus de 90 % du soufre présent dans le pétrole brut sont récupérés au cours du raffinage (Kirk Othmer, 2004 ; ATSDR, 2006).

À partir de gaz

Le traitement du gaz naturel et les gaz associés au pétrole donnent du sulfure d'hydrogène (ATSDR, 2006). En France, notamment, le gaz naturel de Lacq produit, au cours d'opérations de distillations, du sulfure d'hydrogène (HSDB, 2005).

Le sulfure d'hydrogène est également un sous-produit de la production du disulfure de carbone (HSDB, 2005).

À partir de charbons et bitume

L'industrie du traitement des charbons et du bitume durant les opérations de carbonisation est une source importante de sulfure d'hydrogène (Kirk Othmer, 2004).

Les données consultées ne donnent aucune information sur le tonnage de production du sulfure d'hydrogène. En Europe, onze sociétés industrielles produisent ou importent de grands volumes du sulfure d'hydrogène : 3 sont situées en France, 3 en Allemagne, 2 en Italie, 2 au Royaume Uni, 1 en Belgique.

1.3 Utilisations

Le sulfure d'hydrogène, sous-produit de différentes opérations de l'industrie, est traité pour l'obtention du soufre élémentaire (procédé Claus) ou converti en acide sulfurique.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Il est également utilisé dans les domaines suivants (Kirk Othmer, 2004) :

- fabrication de sulfures métalliques, notamment sulfure de sodium et hydrosulfure de sodium pour l'industrie du papier,
- fabrication de mercaptans par réaction avec l'alcool ou des oléfines,
- industrie des colorants,
- industrie du caoutchouc,
- industrie du cuir,
- industrie des pesticides,
- industrie chimique : polymères et additifs des plastiques,
- industrie pharmaceutique,
- métallurgie extractive de l'or (Moa Bay à Cuba),
- industrie nucléaire pour la fabrication de l'eau lourde.

1.4 Principales sources d'exposition

Le sulfure d'hydrogène a été identifié dans tous les milieux environnementaux : air, eau de surface, eaux souterraines, sols et sédiments (ATSDR, 2006).

Air

Le sulfure d'hydrogène est émis facilement dans l'air, car c'est un gaz dont la température d'ébullition est de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ. Il est naturellement présent dans le pétrole, le gaz naturel, les gaz volcaniques et certaines sources chaudes (geysers). Il peut résulter de décompositions bactériennes de la matière organique, de marécages, de la surface des eaux des océans. Il est également produit par les déchets humains et animaux. Le sulfure d'hydrogène peut également provenir des activités industrielles, telles que la transformation des produits alimentaires, le traitement des eaux usées, les hauts fourneaux, les papeteries, les tanneries et les raffineries de pétrole.

N'ayant pas obligation réglementaire, les industriels ne fournissent aucune donnée sur leurs émissions de sulfure d'hydrogène dans l'atmosphère (ATSDR, 2006). Toutefois, l'OMS IPCS (1981) et l'HSDB (2005) mentionnent une pollution accidentelle à Poza Rica (Mexique) en 1950 avec un pic d'émission de sulfure d'hydrogène probablement supérieur à $1\ 500\text{-}3\ 000\text{ mg/m}^3$. En Californie, dans une usine de pâte à papier, près du point d'émission, $0,20\text{ mg}$ de sulfure d'hydrogène/ m^3 d'air a été mesuré.

Par ailleurs, les études mesurant la concentration du sulfure d'hydrogène dans l'air ambiant sont peu nombreuses et les études rapportées par les différents organismes montrent que les concentrations ubiquitaires d'hydrogène sulfuré ne sont pas homogènes.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Dans le milieu naturel, 90 % du sulfure d'hydrogène émis dans l'atmosphère proviennent essentiellement des marécages et des volcans (ATSDR, 2006). Pouliquen *et al.* (1989) évaluaient l'émission naturelle du sulfure d'hydrogène, sur une année, entre 100 et 324 millions de tonnes.

L'ATSDR (2006) rapporte des concentrations moyennes pour le sulfure d'hydrogène dans l'air en fonction du lieu de prélèvement :

- air ambiant 15.10^{-5} à 45.10^{-5} mg/m³
- sites urbains généralement inférieures à 14.10^{-4} mg/m³,
- sources naturelles génératrices de sulfure d'hydrogène comme le pourrissement de plantes aquatiques ou la décomposition d'animaux morts, signalé en août 2003 dans la baie de Narragansett (Rhod Island, USA), ou air ambiant d'industries relarguant du sulfure d'hydrogène, souvent supérieures à 0,125 mg/m³.

HSDB (2005) estime la présence du sulfure d'hydrogène, dans l'air ambiant, inférieure à 0,001 mg/m³.

L'administration nationale des USA pour le contrôle de la pollution de l'air, citée par l'OMS IPCS (1981), évalue la concentration du sulfure d'hydrogène dans l'air entre 1.10^{-3} et 6.10^{-3} mg/m³. Cette estimation provient d'une étude faite pendant les années 1951-1964 sur différents types de sites urbains. Toutefois, il est difficile de porter un jugement sur les résultats, puisque les données ne sont pas disponibles et sont anciennes.

L'OMS IPCS (1981) a estimé que la concentration du sulfure d'hydrogène dans l'air ambiant est inférieure ou égale à 15.10^{-3} mg/m³ avec des pics en sites urbains à 50.10^{-3} mg/m³, voire 0,20 mg/m³ près de sources émettrices.

En Nouvelle Zélande, à Roturua, près d'un site géothermique utilisé pour le chauffage des habitations, la teneur en sulfure d'hydrogène est restée stable pendant 1 heure à 2 mg/m³. La concentration moyenne calculée sur 5 mois était de 0,08 mg/m³, cette valeur étant dépassée pendant environ un tiers du temps. Des intoxications mortelles ont été parfois enregistrées jusqu'en 1962, même si la gêne la plus importante, pour la population, était seulement l'odeur du sulfure d'hydrogène (OMS IPCS, 1981).

Robinson et Robbins (1970), cités par l'OMS (1981), estiment la concentration ubiquitaire du sulfure d'hydrogène à 3.10^{-4} mg/m³, cette valeur étant basée sur l'étude de Minster (1963). En 1963 des prélèvements effectués au nord ouest de Londres (Grande Bretagne) ont été réalisés pendant une période de brouillard intense (le 6 décembre) et une période de temps clair et froid. Les concentrations en sulfure d'hydrogène étaient respectivement de 45.10^{-3} mg/m³ par temps de brouillard et inférieure à 15.10^{-5} mg/m³ (limite de détection non précisée) par temps clair et froid.

Des formations accidentelles d'hydrogène sulfuré se sont produites dans des bassins de décantation de l'industrie des pigments ou au cours des procédés d'extraction du sucre dans l'industrie betteravière suite à la présence de bactéries sulfate et sulfito-réductrices.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Tableau récapitulatif des concentrations en hydrogène sulfuré :

Concentration moyenne dans l'air (mg/m ³)	Sites urbains (mg/m ³)	Sources émettrices importantes (mg/m ³)	Référence
15 à 45.10 ⁻⁵	< 14.10 ⁻⁴	> 0,125.	ATSDR (2006)
< 0,001	0,5		HSDB (2005)
1 à 6.10 ⁻³ (3)			Administration nationale des USA pour le contrôle de la pollution de l'air (1951-64)
≤ 15.10 ⁻⁵	50.10 ⁻³ (4)	0,20 80.10 ⁻³ > 2 (4)	OMS IPCS (1981) OMS IPCS (1981), à Roturua
3.10 ⁻⁴	0,046 (1) ≤ 15.10 ⁻⁵ (2)		Robinson et Robbin (1970)

(1) valeur maximale mesurée par temps de brouillard.

(2) valeur minimale par temps clair et froid, limite de détection non précisée.

(3) données de l'étude non disponibles.

(4) valeur maximale mesurée

Sols et sédiments

Le sulfure d'hydrogène peut prendre naissance dans les sols à partir de la décomposition de matières organiques de marécages ou des volcans... Il y a alors émission de sulfure d'hydrogène dans l'air. Toutefois, le sulfure d'hydrogène contenu dans les sols réagit aussi par rapport au milieu, notamment en milieu humide. Des sulfures peuvent se former et des réactions d'oxydation peuvent engendrer la formation de soufre. C'est probablement la raison pour laquelle il n'y a pratiquement pas d'étude rapportée dans les bases de données consultées.

Les terres humides d'un champ de riz en Louisiane (USA) contenaient 6,3 mg/L de sulfure d'hydrogène (ATSDR, 2006).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Eau

Le sulfure d'hydrogène en milieu aqueux acide, et en présence de composés sulfurés, est significativement dissocié, ce qui rend parfois difficile de connaître l'origine de l'ion sulfure.

Le sulfure d'hydrogène s'évapore facilement à partir des eaux de surface (ATSDR, 2006).

Dans le Colorado (USA), des échantillons d'eaux, provenant de mines souterraines, ont révélé la présence de 0,9 mg de sulfure d'hydrogène/L, alors que sur le même site, les échantillons d'eau de surface d'une centrale électrique en contenaient 0,04 mg /L (ATSDR, 2006).

Des prélèvements d'eaux ont été effectués à différentes profondeurs en bordure des côtes atlantiques de Namibie, en 2001-2002, suite à des émanations de sulfure d'hydrogène. Les teneurs en sulfure d'hydrogène les plus faibles étaient inférieures à 0,02 mg/L (limite de détection non précisée) mais pouvaient atteindre 3,39 mg/L pour les points éruptifs les plus importants (ATSDR, 2006). En 2004, des contrôles des points de la côte namibienne, où les teneurs étaient initialement élevées ont confirmé que la présence de sulfure d'hydrogène n'est pas sédimentaire. En réalité, ce sont des bactéries présentes dans les colonnes d'eau qui sont responsables de cette formation de sulfure d'hydrogène (Futura Sciences, 2004).

SULFURE D'HYDROGÈNE

2. PARAMÈTRES D'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

2.1 Paramètres physico-chimiques

Paramètre	Nom des substances	Valeur	Étendue	Référence
Facteur de conversion (dans l'air à 25 °C)	Sulfure d'hydrogène	1 ppm = 1,39 mg/m ³ 1 mg/m ³ = 0,72 ppm		
Seuil olfactif (ppm)		0,5-10.10 ⁻³		ATSDR (2006) HSDB (2005)
Masse molaire (g/mol)		34,08		ATSDR (2006) Kirk Othmer (2004) CCOHS (2007)
Point de fusion (°C) (à pression normale)		- 85,49 - 85,53		ATSDR (2006) HSDB(2005) CCOH (2007) Kirk Othmer (2004) CCOHS (2007)
Point d'ébullition (°C) (à pression normale)		- 60,33 - 60,31		ATSDR (2006) HSDB (2005) Kirk Othmer (2004)
Pression de vapeur (Pa)		15 600 mm Hg à 25 °C		ATSDR (2006) HSDB (2005)
Densité -vapeur (par rapport à l'air) -liquide		1,19 0,97 à - 62 °C 0,95 à - 60 °C		ATSDR (2006) HSDB (2005) CCOHS (2007) Guide de la chimie (2006)Kirk Othmer (2004)
Tension superficielle		Non applicable		

SULFURE D'HYDROGÈNE

Paramètre	Nom des substances	Valeur	Étendue	Référence
(N/m)				
Viscosité dynamique (Pa.s)		Non applicable		
Solubilité (mg/L) dans l'eau		5 300 à 10 °C		ATSDR (2006) Kirk Othmer (2004)
		4 100 à 20 °C 3 980 à 20 °C		ATSDR (2006) Kirk Othmer (2004) CCOHS (2007)
		3 200 à 30 °C 3 980 à 20 °C		ATSDR (2006) HSDB (2005)
Log Kow		-1,38 (2) 1,20 (2)		CCOHS (2007) Gerling et Holz (2006)
Koc (L/kg)		Non disponible		
Coefficient de partage sol-eau : Kd (L/kg)		Non disponible		
Coefficient de partage sédiments-eau : Kd (L/kg)		Non disponible		
Coefficient de partage Matière en Suspension-eau : Kd (L/kg)		Non disponible		
Constante de Henry (Pa.m³/mol)		Non applicable (1)		
Coefficient de diffusion dans l'air (cm²/s)		Non disponible		
Coefficient de diffusion dans l'eau		Non disponible		

SULFURE D'HYDROGÈNE

Paramètre	Nom des substances	Valeur	Étendue	Référence
(cm ² /s)				
Coefficient de diffusion à travers le PEHD (m ² /j)		Non disponible		
Perméabilité cutanée à une solution aqueuse (cm/h)		Non disponible		

Choix des valeurs :

- (1) La loi de Henry stricte ne s'applique pas à la solubilité de l'H₂S dans l'eau : la solubilité du sulfure d'hydrogène n'est pas directement proportionnelle à sa pression de vapeur partielle, même pour des pressions faibles. Une modification de la loi de Henry permet cependant de l'utiliser pour des pressions modérées (Carroll et Mather, 1989).
- (2) Valeurs vérifiées dans les références du CCOHS (2007) et Gerling et Holz (2006).

2.2 Comportement

2.2.1 Dans l'eau

Le sulfure d'hydrogène est modérément soluble dans l'eau. Dans ce compartiment, l'H₂S ne reste sous sa forme qu'en l'absence d'oxygène. Il peut s'oxyder rapidement en présence d'oxygène dans les eaux de surface, et en présence de peroxyde d'hydrogène dans les eaux de pluie et les aérosols.

Le sulfure d'hydrogène est naturellement présent dans l'air. Du fait de sa solubilité dans l'eau et l'huile, il peut passer du compartiment air vers les compartiments eaux de surface, eaux souterraines ou sols humides, et ainsi être transporté sur de grandes distances (OMS IPCS, 2003).

Depuis le compartiment eau, le sulfure d'hydrogène peut s'évaporer rapidement dans l'air en fonction de conditions telles que la température ou le pH.

2.2.2 Dans les sols

Le sulfure d'hydrogène s'adsorbe facilement dans les sols à partir de l'air, où il est oxydé, sous forme de soufre élémentaire. De nombreux micro-organismes ont la propriété d'adsorber et de dégrader le sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire et en sulfates. Le sulfure d'hydrogène est également adsorbé par les argiles, et par certains végétaux au niveau des racines.

SULFURE D'HYDROGÈNE

2.2.3 Dans l'air

Le sulfure d'hydrogène est gazeux à température ambiante ; il peut donc se retrouver dans l'air à partir d'autres milieux (eaux, sols).

Dans l'air, il est oxydé par l'oxygène moléculaire ou les radicaux hydroxydes, pour former du dioxyde de soufre puis des sulfates, qui peuvent être éliminés de ce compartiment par absorption par les plantes, le sol, ou les précipitations.

2.3 Persistance

2.3.1 Dégradation abiotique

Eaux

Une revue bibliographique réalisée par Santé Canada (1987) indique que le sulfure d'hydrogène et les sulfures de métaux alcalins et alcalino-terreux sont solubles dans l'eau. Les sels de sulfures solubles se dissocient en ions sulfure qui réagissent avec les ions hydrogène de l'eau pour former l'ion hydrogénosulfure (HS^-) ou le sulfure d'hydrogène (H_2S). Les concentrations relatives de ces espèces dépendent des conditions physico-chimiques du milieu notamment du pH, de la température, de la salinité, de la force ionique et de la concentration en oxygène dissous. Ainsi, Broderius et Smith (1977), cités par Broderius *et al.*, (1977) indiquent la relation :

$$\text{pK}_{\text{H}_2\text{S}} = 3,122 + 1132/\text{T} \quad \text{avec T en degré Kelvin.}$$

À un pH de 9, environ 1 % du sulfure d'hydrogène est sous forme non dissociée, alors qu'au pH de 6,7 et de 5, 50 % et environ 99 % respectivement sont sous la forme non dissociée (Smith et Oseid, 1975). C'est pourquoi, selon Santé Canada (1987), les concentrations en sulfure d'hydrogène augmentent avec la diminution du pH et la diminution de la salinité. De même, le taux d'oxydation du sulfure d'hydrogène augmente avec la température. Les sulfures peuvent aussi réagir chimiquement avec l'oxygène dissous. L'oxydation génère divers produits comme le thiosulfate, le sulfite et le sulfate. L'oxydation du sulfure aqueux par l'oxygène s'effectue en quelques jours, mais peut être accélérée par la présence de catalyseurs comme, par ordre décroissant de réactivité, Mn^{2+} , CO_2^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} et Cu^{2+} . Ainsi, en présence de nickel, l'oxydation du sulfure s'effectue en quelques minutes. C'est pourquoi, dans les stations d'épuration, le sulfure d'hydrogène est ordinairement éliminé de l'eau par aération ou par oxydation chimique. L'élimination du sulfure d'hydrogène par aération est optimale à un pH inférieur à 6.

Air

Selon l'HSDB (2005), le sulfure d'hydrogène n'absorbe pas les radiations solaires. De ce fait, il ne subit pas de photolyse et ne réagit pas photochimiquement avec l'oxygène. La durée de vie du sulfure d'hydrogène dans l'atmosphère dépend de la température et de divers paramètres comme le taux d'humidité, le rayonnement solaire, les concentrations en ozone

SULFURE D'HYDROGÈNE

et en radicaux OH[·] ainsi que de la présence d'autres polluants (Bowyer, 2003 ; HSDB, 2005). Dans les régions nordiques, la diminution de la température et de la concentration en hydroxyde durant l'hiver augmentent la durée de vie de l'H₂S (Bottenheim et Strausz, 1980, cités par HSDB, 2005). La durée de vie du sulfure d'hydrogène dans l'atmosphère est comprise entre 18 heures et 42 jours en fonction de la saison, de la latitude et des conditions atmosphériques (Bowyer, 2003 ; National Research Council Canada, 1981, cité par HSDB, 2005). L'IUCLID (2000) indique qu'à la concentration en OH[·] de 500 000 molécules/cm³ la constante de réaction est de 4,8 10⁻¹² cm³ (mole x sec) soit une demi-vie de 80,2 heures.

2.3.2 Biodégradation

Eaux de surface

En aérobiose, le sulfure d'hydrogène est oxydé en sulfates ou en soufre élémentaire par les systèmes biologiques naturels (HSDB, 2005 ; Santé Canada, 1987). Il s'agit notamment de micro-organismes de genres *Beggiatoa*, *Thioploca* et *Thiotrix* vivant dans des zones de transition aérobies et anaérobies, où l'oxygène moléculaire et le sulfure d'hydrogène sont présents (HSDB, 2005). De même, selon HSDB (2005), quelques bactéries photosynthétiques oxydent le sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire. Notamment, des *Chlorobiaceae* et *Chromatiaceae* (bactéries pourpres) sont trouvées dans des eaux ayant des concentrations élevées en H₂S. Les interactions avec ces organismes font partie du cycle global de soufre.

La réduction du sulfate en sulfure survient dans la nature en milieu anaérobie en présence de bactéries sulfato-réductrices et d'une source de carbone organique (Santé Canada, 1987). Ainsi, dans des puits d'eau profonde à Elgin, dans l'Illinois, la concentration en sulfure d'hydrogène est de 6,4 mg/L alors que la concentration en sulfate n'est que de 2,0 mg/L.

Sol

Dans son rapport, l'HSDB (2005) indique que des micro-organismes du sol et de l'eau sont impliqués dans les réactions d'oxydation/réduction qui oxydent le sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire. Il s'agit notamment de micro-organismes des genres *Beggiatoa*, *Thioploca* et *Thiotrix* vivants dans des zones de transition aérobies et anaérobies, où l'oxygène moléculaire et le sulfure d'hydrogène sont présents.

2.4 Bio-accumulation et métabolisme

Selon l'HSDB (2005), le sulfure d'hydrogène n'est pas potentiellement bioaccumulable.

Le sulfure d'hydrogène présent dans les organismes peut être d'origine endogène ou exogène. Dans le règne animal, le sulfure d'hydrogène endogène a un rôle vasoactif (relaxation-contraction) ou un rôle multiphasique (contraction-relaxation-contraction) pour l'ensemble

SULFURE D'HYDROGÈNE

des vertébrés (agnathes, chondrichthyens, amphibiens, reptiles, aviaires, mammifères ; Dombkowski *et al.*, 2005). Chez les mammifères, le sulfure d'hydrogène est un gaz endogène synthétisé directement dans les tissus artériels et veineux et qui peut être produit dans les tissus par deux enzymes pyridoxal-S-dépendantes, la cystathionine β -synthétase et la cystathionine γ -lyase (Dombkowski *et al.*, 2004, 2005 ; HSDB, 2005). Il a une action sur de nombreux tissus incluant le cerveau, le système vasculaire, gastro-intestinal, reproducteur, pulmonaire et cardiaque. L' H_2S agit sur une cible spécifique du muscle lisse, le canal potassium ATP-sensible (K_{ATP}). Chez les poissons, son rôle est encore peu connu. Toutefois, Dombkowski *et al.* (2004) montrent que, chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), le sulfure d'hydrogène a une activité vaso-régulatrice comme décrit chez les mammifères. C'est l'une des premières molécules vasodilatatrices mesurée dans le plasma des poissons à une concentration physiologique significative, et l'étude bibliographique indique qu'il a vraisemblablement un rôle prépondérant dans l'homéostasie cardiovasculaire piscicole. De même, chez les invertébrés, Julian *et al.* (2002, 2005) rapportent que l' H_2S est synthétisé par des homogénats de tissus de bivalves (*Tapes philippinarum*) ou de ver marin (*Urechis caupo*) à partir de la L-cystéine via une voie « L-sérine sulphydrase » formant de l' H_2S et un thioéther. Chez le ver marin *Urechis caupo*, l' H_2S induit la contraction de fragment de muscle circulaire. De même, Gainey et Greeberg, (2005) montrent que chez *Mercenaria mercenaria*, le sulfure d'hydrogène est synthétisé dans les branchies et agit sur la contraction des muscles branchiaux. Le taux de synthèse varie avec la saison, vraisemblablement en relation avec la concentration naturelle en H_2S de l'environnement. Ces auteurs indiquent que certains bivalves comme *Geukensia demissa* utilisent directement l' H_2S comme source d'énergie. Dans ce cas, les cils latéraux sont stimulés par l' H_2S . Enfin, des symbioses se sont développées entre des invertébrés marins et des bactéries métabolisant les sulfures, dans de nombreux habitats riches en H_2S , incluant les sources hydrothermales marines et beaucoup d'habitats riches en matières organiques en décomposition (Gainey et Greeberg, 2005 ; Powell et Somero, 1986). Les animaux exploitent alors l'énergie de l' H_2S en évitant son effet toxique sur la respiration aérobie (Powell et Somero, 1986). Ainsi, Powell et Somero (1986) montrent que les homogénats de tissus d'invertébrés ont une activité sulfure oxydante liée à une enzyme spécifique parfois en association avec des bactéries endosymbiotiques. Dans ce cas, les bactéries ont un rôle de détoxification pour les invertébrés.

Selon Santé Canada (1987) et l'HSDB (2005), le sulfure d'hydrogène exogène est rapidement absorbé par l'organisme. Au pH physiologique moyen (environ 7), la moitié du sulfure d'hydrogène se trouve sous forme non dissociée et l'autre moitié sous forme d'ion hydrosulfure. Le sulfure d'hydrogène non dissocié est une molécule lipophile capable de diffuser au travers des membranes et de la peau. Les sulfures solubles sont rapidement et complètement hydrolysés dans les fluides organiques pour produire du sulfure d'hydrogène. Il n'est donc pas possible de différencier l'effet toxique des sulfures solubles et du sulfure d'hydrogène. Chez les mammifères, après inhalation, le sulfure d'hydrogène est distribué dans le plasma sanguin, (principalement lié à l'albumine), le cerveau, le foie, les reins, le pancréas, la rate, les poumons, l'intestin grêle et les os. Le métabolisme du sulfure d'hydrogène s'effectue par (i) l'oxydation en sulfate et en thiosulfate, la principale voie

SULFURE D'HYDROGÈNE

métabolique, (ii) la méthylation et (iii) la réaction avec des métalloprotéines ou des protéines disulfurées. Les deux premières voies métaboliques peuvent être considérées comme des voies de détoxification, alors que la réaction du sulfure d'hydrogène avec des protéines essentielles est largement responsable de l'effet toxique. Des mécanismes similaires ont été montrés notamment chez des poissons (*Fundulus parvipinnis*, Bagarinao et Vetter, 1993) ou des invertébrés comme les vers polychètes *Hediste diversicolor* et *Neanthes virens* (Vismann, 1990) ou la langoustine (*Nephrops norvegicus*, Butterworth *et al.*, 2004). Pour ces organismes, le sulfure, oxydé en thiosulfate, s'accumule respectivement dans le sang ou l'hémolymphe et les tissus. Chez les mammifères, l'oxydation du sulfure en sulfate et son excrétion subséquente par le rein constituent la principale voie d'excrétion métabolique (Santé Canada, 1987). Chez le rat, après administration de sulfure de sodium radiomarqué par voie orale, intrapéritonéale ou intraveineuse, l'excrétion se fait par voie urinaire sous forme de sulfate pendant les 6 à 12 heures qui suivent l'administration. Les principaux effets toxiques sont liés à l'inactivation d'enzymes, soit par la rupture des ponts disulfures, soit par la liaison du sulfure avec des co-facteurs métalliques comme le Fe^{2+} , le Mg^{2+} ou le Cu^{2+} . De cette manière, des enzymes clés comme la cytochrome oxydase, la phosphatase alcaline et l'anhydrase carbonique peuvent subir une dénaturation irréversible. C'est pourquoi, Ip *et al.* (2004) indiquent que la meilleure caractérisation de l'effet toxique du sulfure est l'inhibition irréversible de la cytochrome c oxydase, l'élément terminal de la chaîne mitochondriale transporteuse d'électron, bloquant la production d'ATP via la phosphorylation oxydative dans le système de transport des électrons. La liaison de l' H_2S à la cytochrome c oxydase se fait au niveau du site ferrique (Fe III) de l'hème du cytochrome aa₃. Il en résulte une inhibition immédiate et irréversible de la respiration cellulaire aérobie. Cette action sur la respiration cellulaire explique notamment la sensibilité des cellules spermatiques de l'oursin au sulfure d'hydrogène (Losso *et al.*, 2004).

2.4.1 Organismes aquatiques

Selon l'HSDB (2005), le sulfure d'hydrogène n'est pas potentiellement bioaccumulable dans les organismes aquatiques.

2.4.2 Organismes terrestres y compris les végétaux

Selon l'HSDB (2005), le sulfure d'hydrogène n'est pas potentiellement bioaccumulable dans les organismes terrestres, y compris les végétaux.

3. DONNÉES TOXICOLOGIQUES

L'ensemble des informations et des données toxicologiques provient de diverses monographies publiées par des organismes reconnus pour la qualité scientifique de leurs documents (ATSDR, 2006 ; INERIS, 2000 ; Baars, 2001 ; INRS, 1997 ; US EPA, 2003). Les références

SULFURE D'HYDROGÈNE

bibliographiques sont citées pour permettre un accès direct à l'information scientifique mais n'ont pas fait l'objet d'un nouvel examen critique par les rédacteurs de la fiche.

3.1 Devenir dans l'organisme

Études chez l'homme

Après une exposition par inhalation, le sulfure d'hydrogène est absorbé rapidement à travers les alvéoles (Adelson et Sunshine, 1966 ; Allyn, 1931 ; Breyse, 1961 ; Deng et Chang, 1987 ; Hagley et South, 1983 ; Kimura *et al.*, 1994 ; NIOSH, 1989 ; Osbern et Crapo, 1981 ; Parra *et al.*, 1991). L'absorption d'une concentration de sulfure d'hydrogène létale pour l'homme est rapide et ses effets peuvent survenir en quelques secondes/minutes. Le sulfure d'hydrogène est dissocié à pH physiologique en anion (hydrogénosulfure), qui est probablement la forme absorbée (OMS, 1987). Aucune donnée quantitative n'est disponible sur l'absorption du sulfure d'hydrogène chez l'homme.

Bien que le sulfure d'hydrogène soit principalement absorbé à travers les alvéoles, il peut également être absorbé par le tractus gastro-intestinal et la peau (Laug et Draize, 1942 ; Wetterau *et al.*, 1964). Le sulfure d'hydrogène étant un gaz, l'exposition orale est uniquement accidentelle lors de l'ingestion d'un liquide contenant entre autre du sulfure d'hydrogène (Freireich, 1946 ; Imamura, 1996 ; Kimura *et al.*, 1994 ; Osbern et Crapo, 1981).

Aucune étude relative à l'absorption du sulfure d'hydrogène après absorption par voie cutanée n'est disponible.

Plusieurs études menées chez l'homme ont mesuré la distribution du sulfure d'hydrogène **après inhalation**.

Une exposition accidentelle et mortelle au sulfure d'hydrogène révèle des concentrations inhalées estimées entre 550 et 650 ppm (764,5 et 930,5 mg/m³) (Kimura *et al.*, 1994 ; Nagata *et al.*, 1990). L'autopsie a révélé, chez les hommes intoxiqués, des concentrations de sulfure d'hydrogène de 1,30 à 1,56 µg/g dans le foie ; de 0,32 à 0,64 µg/g dans la rate ; de 0,47 à 1,50 µg/g dans les reins (Kimura *et al.*, 1994). Vingt quatre heures après leur mort, des concentrations de 0,2 à 1,06 µg/g dans le cerveau et de 0,21 à 0,68 µg/g dans les poumons ont été retrouvées (Nagata *et al.*, 1990).

La présence de sulfure d'hydrogène dans le sang, dans le cerveau, dans les reins, dans le foie a également été retrouvée chez un homme après une intoxication mortelle au sulfure d'hydrogène dans un tank (Winek *et al.*, 1968).

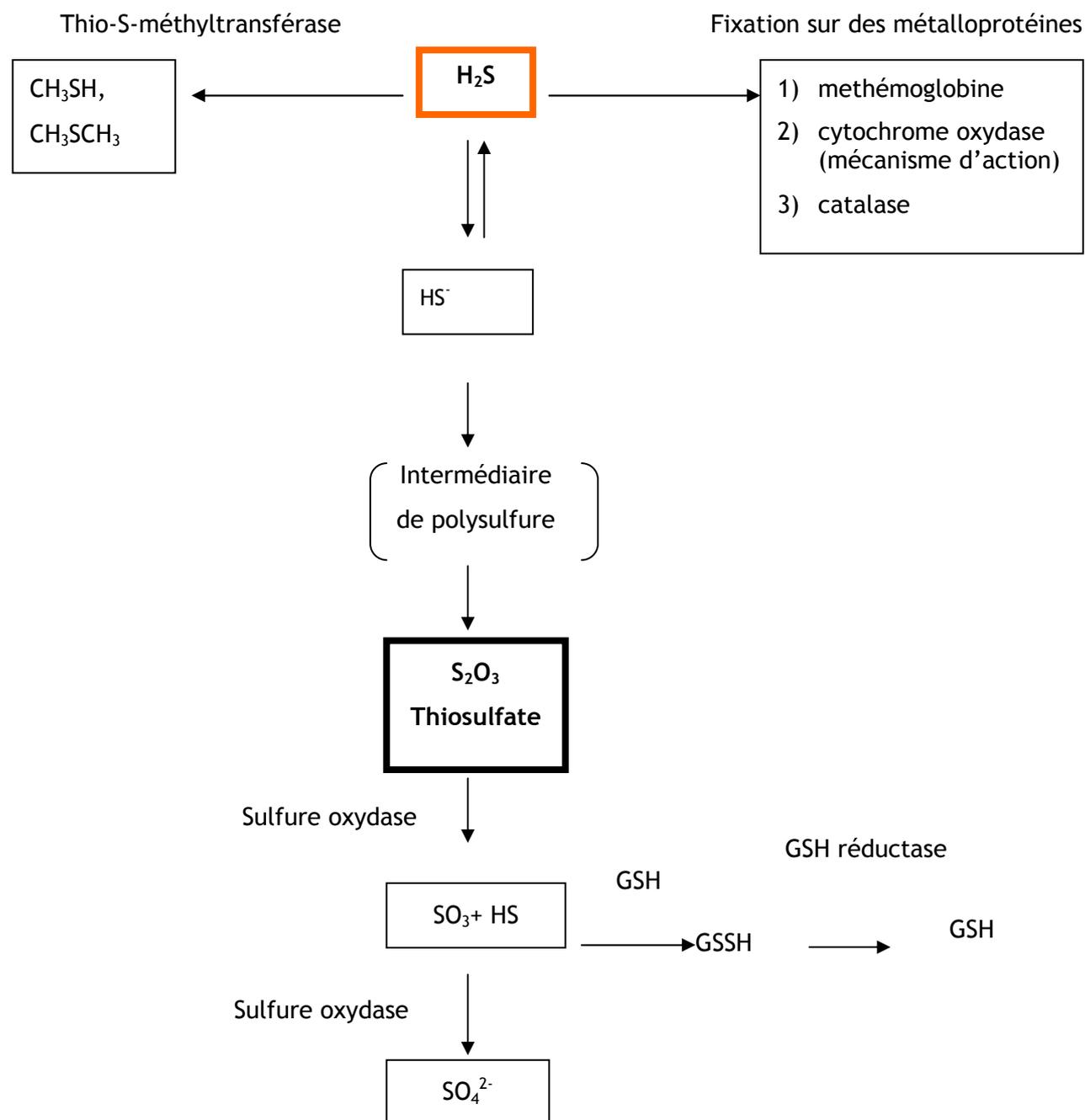
En revanche, aucune étude n'est disponible après administration par voie orale ou cutanée chez l'homme.

La métabolisation du sulfure d'hydrogène peut s'effectuer selon 3 voies :

SULFURE D'HYDROGÈNE

- oxydation (voie principale) dans le foie par action de l'enzyme sulfure oxydase conduisant à la formation de thiosulfate ainsi que l'élimination de ceux-ci dans les urines (Kangas et Savolainen, 1987),
- méthylation conduisant à la formation de méthanethiol et de diméthylsulfure, c'est une voie mineure
- liaison avec les métalloprotéines ou protéines contenant un groupement disulfure (Beauchamp *et al.*, 1984 ; US EPA, 1987a). Le schéma ci-après, adapté de Beauchamps *et al.*, 1984), donne les étapes de cette métabolisation.

SULFURE D'HYDROGÈNE



SULFURE D'HYDROGÈNE

Aucune étude du métabolisme de l'hydrogène sulfuré chez l'homme n'est disponible après exposition par voie orale ou cutanée.

L'élimination est à 90 % urinaire sous forme de sulfate, de thiosulfate, de sulfite et sous forme non oxydée. Moins de 10 % sont éliminés par voie biliaire et la voie pulmonaire est négligeable.

Études chez l'animal

Plusieurs études ont exploré l'absorption du sulfure d'hydrogène chez l'animal.

Par voie respiratoire, l'absorption du sulfure d'hydrogène au niveau des alvéoles s'effectue rapidement, mais aucune donnée quantitative ne permet de déterminer la proportion de la dose inhalée qui est absorbée (Beck *et al.*, 1979 ; Kage *et al.*, 1992 ; Khan *et al.*, 1990 ; Lopez *et al.*, 1989 ; Nagata et Kimura, 1990 ; Prior *et al.*, 1988 ; Smith et Gosselin, 1964 ; Tansy *et al.*, 1981). Aucun modèle physiologique pharmacocinétique n'a été développé pour estimer l'absorption du sulfure d'hydrogène.

Pour la voie orale, une seule étude animale suggère que le sulfure d'hydrogène peut être absorbé par le tractus gastro-intestinal. Dans cette étude, des cochons sont nourris avec de l'herbe contenant une concentration élevée en sulfure d'hydrogène (1,5 - 3,1 ou 6,7 mg/kg/j) pendant 105 jours (Wetterau *et al.*, 1964).

Enfin, des données animales ont montré que l'absorption du sulfure d'hydrogène **par voie cutanée** était possible lorsque la surface de peau exposée était grande. Ainsi, après rasage, des lapins ont été exposés à des concentrations (non précisées) de sulfure d'hydrogène pendant 1 à 2 heures. Une relation évidente entre la mort des animaux et l'exposition cutanée au sulfure d'hydrogène est alors mise en évidence (Laug et Draize, 1942). En revanche, aucune absorption à travers la peau n'a été observée chez 2 cobayes après exposition à des concentrations (non précisées) de sulfure d'hydrogène pendant une heure, sur une petite surface de l'abdomen (Walton et Witherspoon, 1925). Des chiens dont les corps entiers ont été exposés à des concentrations non précisées de sulfure d'hydrogène n'ont montré aucun signe de toxicité (Walton et Witherspoon, 1925)

Après inhalation, les données chez l'animal suggèrent que le sulfure d'hydrogène est rapidement distribué. Des rats mâles adultes exposés à 550 ou 660 ppm (764,5 ou 917,5 mg/m³) de sulfure d'hydrogène présentent une concentration de 0,48 µg/g de sulfure d'hydrogène dans le sang, juste après leur mort (Nagata *et al.*, 1990). Le sulfure d'hydrogène s'est rapidement distribué dans les poumons, le cerveau et les tissus musculaires et abdominaux. Toutefois, la concentration diminue rapidement dans tous ces organes quelques heures après la mort.

Dans une autre étude, des rats Wistar mâles ont été exposés à 75 ppm (104 mg/m³) de sulfure d'hydrogène par inhalation pendant 20, 40 ou 60 minutes (Kohno *et al.*, 1991). Les concentrations de sulfure d'hydrogène mesurées sont de 10 µg/mL dans le sang ; 20 µg/g dans les poumons, 20 µg/g dans le foie, 25 µg/g dans le cerveau, 25 µg/g dans la rate, 30 µg/g

SULFURE D'HYDROGÈNE

dans le rein et 37 µg/g dans le cœur. Les concentrations dans le cerveau, les poumons, le cœur, le foie, la rate et les reins sont significativement supérieures aux concentrations dans le sang.

Aucune étude chez l'animal n'est disponible après administration par voie orale ou cutanée.

Comme chez l'homme, la métabolisation du sulfure d'hydrogène chez l'animal s'effectue selon 3 voies dont la voie principale est l'oxydation en thiosulfate, métabolite majeur. Une étude réalisée sur des lapins blancs japonais, exposés à 500 - 1 000 ppm (695 - 1 390 mg/m³) de sulfure d'hydrogène **par inhalation**, rapporte des concentrations de thiosulfate dans le sang de 0,08 µmol/mL, de 0,095 µmol/g dans les poumons et de 0,023 µmol/g dans le cerveau (Kage *et al.*, 1992). Dans la même étude, le taux de thiosulfate dans le sang a atteint un pic de 0,061 µmol/mL immédiatement après exposition (lapins exposés à 100-200 ppm soit 139-278 mg/m³ pour une exposition de 60 minutes) et était devenu indétectable 4 heures après (Kage *et al.*, 1992).

Dans une étude *in vitro*, réalisée sur une muqueuse intestinale de rat, Weisiger *et al.* (1980) ont mis en évidence la métabolisation du sulfure d'hydrogène par méthylation (voir schéma ci-avant).

Le principal mécanisme d'action toxique est l'inhibition directe par liaison directe au fer de l'enzyme cytochrome oxydase aa3. Il en résulte un blocage de la chaîne respiratoire mitochondriale, un métabolisme anaérobie avec production d'acide lactique. Les tissus à forte demande en oxygène (cerveau ou cœur) sont les tissus les plus sensibles à cette altération du métabolisme oxydatif (Ammann, 1986). Il n'y a pas de production de sulfhémoglobine.

Il est aussi proposé (Nicholson *et al.*, 1998) une inhibition de l'anhydrase carbonique, des perturbations directes des potentiels de membranes ou une augmentation des concentrations cérébrales de neuromédiateurs comme l'alanine, la sérotonine, le glutamate, la glycine (Reiffenstein *et al.*, 1992).

Chez l'animal, aucune étude relative au métabolisme du sulfure d'hydrogène n'est disponible pour des expositions par voie orale ou cutanée.

L'élimination du sulfure d'hydrogène est essentiellement urinaire sous forme de son principal métabolite le thiosulfate. Le taux de thiosulfate dans les urines chez des lapins blancs exposés à 100-200 ppm (139-278 mg/m³) par inhalation pendant 60 minutes était au maximum de 1,2 µmol/mL 1 à 2 heures après exposition et était encore détectable 24 heures après l'exposition à des taux supérieurs témoin (Kage *et al.*, 1992).

L'excrétion de sulfure d'hydrogène par exhalaison a été rapportée **après une exposition cutanée** chez des lapins pendant 1,5 - 2 heures (doses non précisées)(Laug et Draize, 1942).

Aucune étude n'est disponible chez l'animal concernant l'élimination du sulfure d'hydrogène après exposition par voie orale.

SULFURE D'HYDROGÈNE

3.2 Toxicologie aiguë

Études chez l'homme

L'exposition par inhalation est l'exposition la plus courante lors d'une intoxication aiguë au sulfure d'hydrogène.

EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

L'exposition par inhalation à des concentrations élevées de sulfure d'hydrogène (≥ 500 ppm soit 695 mg/m^3) est mortelle (Beauchamps *et al.*, 1984). En 1997, les statistiques du NIOSH indiquent que le sulfure d'hydrogène serait la première cause de mortalité par accident professionnel. Ainsi, 29 morts et 5 563 expositions ont été attribués au sulfure d'hydrogène durant la période de 1983 à 1992 (Snyder *et al.*, 1995) majoritairement en espace confiné (Adelson et Sunshine, 1966 ; Breysse, 1961 ; Allyn, 1931 ; NIOSH, 1985 ; Campanya *et al.*, 1989 ; Freireich, 1946 ; Hagley et South, 1983 ; Morse *et al.*, 1981 ; Osbern et Crapo, 1981 ; Deng et Chang, 1987 ; Parra *et al.*, 1991). Les individus perdent très rapidement conscience parfois même après seulement quelques inspirations (Adelson et Sunshine, 1966 ; Deng et Chang, 1987 ; INERIS, 2000 ; NIOSH, 1989 ; Osbern et Crapo, 1981).

De manière générale, deux formes d'intoxication sont distinguées en fonction du niveau d'exposition : la forme suraiguë et la forme subaiguë.

L'intoxication suraiguë s'observe pour de fortes concentrations (environ 1 000 ppm soit $1\,390 \text{ mg/m}^3$) et de courtes durées d'exposition (quelques secondes à quelques minutes). Elle se traduit par une atteinte du système nerveux central (perte de conscience surnommée « coup de plomb des vidangeurs ou coup de plomb des égoutiers ») et des symptômes de détresse respiratoire et d'apnée. Si l'exposition n'est pas instantanément fatale (réanimation pendant la phase d'apnée), l'apparition d'un œdème pulmonaire retardé est fréquemment observée. Une amnésie rétrograde avec une diminution des facultés intellectuelles est également possible (INERIS, 2000).

Les signes systémiques en rapport avec l'anoxie cellulaire peuvent apparaître dès 250 ppm : toux, douleur thoracique, dyspnée (hémoptysie très rare mais l'œdème pulmonaire est observé dans 4 à 16 % des cas), hypotension, tachycardie, troubles du rythme, ischémie sous endothéliale (Leikin, 2001). Les signes neurologiques qui peuvent se manifester dès 200 ppm et sont constants et sévères dès 500 ppm comportent : des céphalées, des vertiges, des troubles de la coordination, des nausées, des vomissements, une asthénie intense, une désorientation, un nystagmus, une perte de connaissance et un coma.

A distance des intoxications aiguës, des séquelles neurologiques ont pu être observées sous la forme de troubles amnésiques, de tremblements, d'ataxie, d'altération de la vision, de l'audition et une démence.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Les niveaux de perception olfactive du sulfure d'hydrogène ont été évalués chez 16 individus (0,012 - 0,069 ppm) avec une moyenne géométrique de 0,029 ppm. Cette valeur a été retenue comme seuil de détection olfactif pour le sulfure d'hydrogène (California State Department of Public Health, 1969). D'autres auteurs considèrent que ce seuil est de 0,03 ppm soit 0,042 mg/m³ (Amoore, 1985). Enfin, certains considèrent que ce seuil ne protège pas entièrement la population et devrait être reconsidéré (Reynolds et Kamper, 1984).

ÉTUDES SUR LES VOLONTAIRES

Plusieurs études ont été menées chez des volontaires sains, hommes et femmes (Bhambhani, et Singh, 1991 ; Bhambhani *et al.*, 1994, 1996a, 1996b, 1997). Les sujets ont été exposés à des concentrations de 0,5 à 10 ppm (0,7 à 14 mg/m³), pour des durées allant jusqu'à 30 minutes. Les expositions ont été effectuées au repos et pendant des exercices d'intensités variables.

Pour une concentration de 5 ppm (6,95 mg/m³) pendant 30 minutes, au cours d'un exercice physique intense, une augmentation de la consommation en oxygène est observée, ainsi qu'une augmentation du taux de lactate dans le sang. Aucune altération de la fréquence cardiaque ni de la ventilation pulmonaire n'est mise en évidence.

Pour une exposition de 30 minutes, à 5 ppm (6,95 mg/m³) de sulfure d'hydrogène lors d'une activité physique maximale, quelques variations transitoires d'activités enzymatiques sanguines et musculaires sont rapportées.

Pour une exposition de 15 minutes à la concentration de 10 ppm (14 mg/m³), même lors de phases d'activité physique intenses, aucun signe clinique n'est observé chez les volontaires. Une augmentation des taux métaboliques et ventilatoires est notée, mais sans altération de la fonction pulmonaire. Enfin, il apparaît qu'une exposition au sulfure d'hydrogène modifie les besoins en oxygène des muscles en activité intense.

Une étude a évalué la fonction pulmonaire chez 3 hommes (âge : 33-50 ans) et 7 femmes (âge : 31-61 ans) présentant un asthme bronchique nécessitant un traitement médicamenteux depuis 1 à 13 ans (Jäppinen *et al.*, 1990). Aucun de ces sujets n'est atteint d'asthme sévère. Au cours de l'étude, les sujets sont exposés à une concentration de 2 ppm de sulfure d'hydrogène pendant 30 minutes. Tous les sujets ont identifié une odeur désagréable et ressentent une sécheresse du nez et du pharynx en début d'exposition. Les sujets s'accommodent rapidement de l'odeur. Trois des sujets ont signalé après l'exposition des céphalées. Il n'y a pas eu de modification des paramètres respiratoires habituels. La réponse de la fonction respiratoire est étudiée lors d'une adjonction d'histamine avant et après l'exposition. Seuls deux individus présentent une augmentation de la résistance et de la conductance des voies respiratoires, ce qui suggère une obstruction bronchique. De plus, 3 des 10 sujets présentent des céphalées à la fin de l'exposition.

SULFURE D'HYDROGÈNE

À notre connaissance, il n'existe pas de données relatives aux expositions par voies orale ou cutanée.

Études chez l'animal

Les CL₅₀ chez le rat sont comprises entre 335 et 587 ppm (466 et 816 mg/m³), en fonction de la souche et de la durée d'exposition, comprise entre 2 et 6 heures (Prior *et al.*, 1988 ; Tansy *et al.*, 1981). Les principaux effets rapportés lors d'une exposition aiguë sont synthétisés dans le tableau suivant, d'après INERIS (2000).

CONCENTRATION (ppm)	DURÉE	OBSERVATIONS
100-150	plusieurs heures	Irritations locales des yeux et de la gorge
200-300	60 minutes	Irritation des muqueuses oculaires et nasales
500-700	< 60 minutes	Irritations oculaires et respiratoires
	plusieurs heures	Mort
900	30 minutes	Effets systémiques sévères
	60 minutes	Mort
1 500	15-30 minutes	Mort

Le mode d'action pour les effets neurotoxiques a été étudié chez le rat (Warenycia *et al.*, 1989). L'inhibition des activités monoamine oxydase (MAO) et l'augmentation des niveaux de neurotransmetteurs du tronc cérébral jouent un rôle primordial dans la perte du contrôle respiratoire au niveau central.

À notre connaissance, il n'existe pas de données relatives aux expositions par voie orale ou cutanée.

SULFURE D'HYDROGÈNE

3.3 Toxicologie chronique

3.3.1 Effets généraux (non génotoxiques - non reprotoxiques)

Études chez l'homme

De manière générale, pour des expositions intermittentes mais répétées à des concentrations de l'ordre de 50 à 100 ppm (69,5 à 139 mg/m³), des manifestations subjectives et variables de « malaise » (céphalée, asthénie, troubles de la mémoire, nausées, anorexie,...) sont décrites.

Très peu de données sont disponibles pour une exposition chronique au sulfure d'hydrogène par voie respiratoire. Une étude épidémiologique sur la population de la ville de Roturua en Nouvelle Zélande, utilisant l'énergie géothermique comme chauffage industriel et domestique dans les années 1970, a été conduite par Bates *et al.* (1997, 1998, 2002). Une campagne de mesures, menée en 1978, indiquait que la concentration moyenne en sulfure d'hydrogène était de 20 µg/m³ (14 ppb) avec 35 % des mesures aux environs de 70 µg/m³ (50 ppb), 10 % des mesures au-dessus de 400 µg/m³ (284 ppb) et la concentration la plus élevée de 1 mg/m³ (710 ppb). En l'absence de donnée significative, les auteurs ont conclu à l'absence d'augmentation du taux de mortalité de la population à Roturua, par comparaison au reste de la population Néo-zélandaise. En revanche, une augmentation significative du taux de mortalité, lié à une pathologie respiratoire (SMR = 1,18 ; p < 0,001), est observée par comparaison au reste de la population Néo-zélandaise.

Plus récemment, une étude rétrospective, toujours conduite par Bates *et al.* (2002), a évalué l'incidence d'une exposition au sulfure d'hydrogène (niveaux d'exposition faible, moyen ou élevé) sur les pathologies respiratoires. Toutefois, l'interprétation des données de cette étude est délicate par manque de données quantitatives et qualitatives d'évaluation de l'exposition. Cette étude permet de voir, à partir des registres hospitaliers, sur la période 1993-1996, l'influence de la localisation des logements sur les pathologies respiratoires. Elles sont, en général, significativement plus élevées dans les 3 groupes. Une augmentation significative de l'incidence des pathologies cardiovasculaires et du système nerveux a également été mise en évidence (Bates *et al.*, 1998). Ces effets sur le système nerveux central ont également été retrouvés pour des expositions plus récentes (SIR = 1,11 ; p < 0,001) aussi bien du système nerveux central (SIR = 1,22 ; p < 0,001) que du système nerveux périphérique (SIR = 1,35 ; p < 0,001) chez les habitants de Roturua, par comparaison à la population générale de Nouvelle Zélande (Bates *et al.*, 2002). Les effets sont encore plus marqués chez le groupe soumis aux concentrations les plus élevées, respectivement SIR = 2,59 (1,91-3,44) pour les effets sur le système nerveux central, et SIR = 2,27 (1,97-2,61) pour les effets sur le système nerveux périphérique. Enfin, des effets oculaires ont aussi été notés. Bates *et al.* (1997) ont montré une augmentation significative de atteintes oculaires et plus particulièrement de la cataracte (SIR = 1,26 ; p < 0,001), de la conjonctive (SIR = 2,09 ; p < 0,001) et des désordres orbitaux (SIR = 1,69 ; p = 0,005).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Deux études, menées chez des travailleurs exposés professionnellement au sulfure d'hydrogène, rapportent quelques rares atteintes pulmonaires (essoufflement, respiration sifflante) (Hessel *et al.*, 1997 ; Richardson, 1995). D'autres études menées sur des populations résidant dans des zones polluées semblent aussi mettre en évidence des effets pulmonaires. Toutefois, les co-expositions à d'autres polluants, notamment les particules, n'ont pas pu être individualisées, ce qui complique l'interprétation de ces résultats (Jaakkola *et al.*, 1990 ; Martilla *et al.*, 1995, 1994 ; Partti-Pellinen *et al.*, 1996).

Études chez l'animal

Des rats CD mâles âgés de 10 semaines (12/lots) ont été exposés aux concentrations de 0, 10, 30 ou 80 ppm (0, 14, 42 ou 111 mg/m³) de sulfure d'hydrogène 6 h/j, 7 j/semaine pendant 10 semaines (Brenneman *et al.*, 2000). A la fin de l'exposition des lésions nasales au niveau de la muqueuse olfactive sont observées aux concentrations de 30 et 80 ppm (42 et 111 mg/m³). Des lésions multifocales bilatérales avec perte des neurones olfactifs et hyperplasie des cellules basales affectent les régions médianes et dorsales de la cavité de l'éthmoïde. La sévérité des lésions varie entre modérée et sévère. Ces effets ne sont pas retrouvés chez les témoins et les animaux exposés à la concentration de 10 ppm (14 mg/m³).

D'autres études ont été réalisées chez le rat F-344 (CIIT, 1983b) et le rat Sprague Dawley (CIIT, 1983c), exposés au sulfure d'hydrogène à des concentrations de 0 - 10 - 30 - 80 ppm (0 - 14 - 42 - 111 mg/m³), 6 h/j, 5 j/sem pendant 90 jours. Les échantillons issus de ces études ont été ré-observés par Dorman *et al.* (2004). Chez le rat F-344, les seuls effets observés correspondent à une altération du nerf olfactif au niveau de l'épithélium nasal à la concentration de 30 ppm (42 mg/m³). Les mêmes effets sont retrouvés chez le rat Sprague Dawley, mais une hyperplasie de l'épithélium bronchiolaire est également rapportée à la même concentration ainsi qu'une perte de poids (10 %) chez les femelles, à la concentration de 80 ppm (111 mg/m³). Chez les souris B6C3F1, pour le même protocole expérimental, une altération du nerf olfactif au niveau de l'épithélium nasal à la concentration de 30 ppm (42 mg/m³) est également rapportée, ainsi qu'une inflammation de la muqueuse nasale à la concentration de 80 ppm (111 mg/m³) et une diminution du poids (7 - 10 %) (CIIT, 1983a). Ces études ne révèlent pas d'altération histopathologique de la rate ou des ganglions lymphatiques chez les rats Sprague Dawley et F-344 et les souris.

Enfin, lors d'une exposition subchronique par inhalation chez le rat Sprague Dawley à des concentrations de 0 ou 50 ppm (0 ou 69,5 mg/m³) de sulfure d'hydrogène (5 j/sem, pendant 25 semaines), aucun effet neurotoxique n'est observé (Gagnaire *et al.*, 1986).

À notre connaissance, il n'existe pas de donnée relative aux expositions par voies orale ou cutanée.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Effets systémiques

Substance Chimique	Voies d'exposition	Taux d'absorption		Organe cible	
		Homme	Animal	Principal	Secondaire
Sulfure d'hydrogène	Inhalation	ND	ND	Appareil respiratoire	Système Nerveux
	Ingestion	ND	ND	ND	ND
	Cutanée	ND	ND	ND	ND

ND : Non déterminé

3.3.2 Effets cancérogènes

- Classification

L'Union Européenne : le sulfure d'hydrogène a été analysé mais n'a pas été classé (JOCE, 2004).

CIRC - IARC : le sulfure d'hydrogène n'a pas été étudié par l'IARC.

US EPA (IRIS) : les données relatives au sulfure d'hydrogène ont été jugées insuffisantes pour l'évaluation d'un éventuel pouvoir cancérogène (US EPA-IRIS, 2003a).

- **Études principales**

Études chez l'homme

Une seule population a été étudiée de manière rétrospective, il s'agit de résidents de la ville de Rotorua, Nouvelle Zélande (Bates *et al.*, 1998). Dans cette ville, la géothermie est utilisée à la fois dans l'industrie et pour le chauffage résidentiel. Les résultats de cette étude sont difficilement utilisables en raison de l'absence de mesure des niveaux d'exposition au sulfure d'hydrogène. Les auteurs rapportent cependant que les expositions au mercure et au sulfure d'hydrogène pourraient avoir un impact sur les habitants. Une étude préliminaire avait montré que les concentrations moyennes en sulfure d'hydrogène dans cette zone étaient de 20 µg/m³, dans 30 % des cas de 70 µg/m³ et, dans 10 % des cas, au-delà de 400 µg/m³ (Bates

SULFURE D'HYDROGÈNE

et al., 1997). Les ouvriers (pas de précision quant à l'activité) de cette zone présentaient un excès de risque de cancer nasal significatif (SIR 3,17 ; $p = 0,01$) par rapport aux résidents et au reste de la population de Nouvelle Zélande. De plus, un excès de risque de cancer de la trachée, des bronches et des poumons a aussi été mis en évidence (SIR = 1,48, $p = 0,02$) chez les femmes Maoris, population majoritaire de cette zone, en Nouvelle Zélande, en comparaison avec celles du reste du pays. L'interprétation des résultats reste délicate en l'absence de données complémentaires.

À notre connaissance, il n'existe pas de donnée pour des expositions par voie orale ou cutanée chez l'homme.

Études chez l'animal

À notre connaissance, il n'existe pas de donnée pour des expositions par voie orale, cutanée ou par inhalation chez l'animal.

Caractère génotoxique : le sulfure d'hydrogène a été étudié mais n'a pas été classé (JOCE, 2004).

Des vapeurs de sulfure d'hydrogène se sont révélées non mutagènes dans le test d'Ames (Hughes *et al.*, 1984). Il semblerait que ce soit la seule étude à ce sujet.

3.3.3 Effets sur la reproduction et le développement

Classification par l'Union européenne : le sulfure d'hydrogène a été étudié mais n'a pas été classé (JOCE, 2004).

Études chez l'homme

Il existe très peu de données relatives aux effets du sulfure d'hydrogène sur la reproduction et le développement chez l'homme.

Une étude a été menée en Finlande sur les taux d'avortement spontané et le lien éventuel entre une exposition professionnelle ou environnementale du père ou de la mère au sulfure d'hydrogène (Hemminki et Niemi, 1982). Une augmentation non statistiquement significative des avortements spontanés a été mise en évidence chez les femmes vivant dans une zone où les concentrations en sulfure d'hydrogène étaient supérieures à 2,85 ppm (3,96 mg/m³). Toutefois l'interprétation de ces résultats reste impossible car cette étude portait aussi sur l'influence du dioxyde de soufre et du disulfure de carbone sur le nombre d'avortements spontanés chez les femmes exposées.

Une étude rétrospective a été menée sur les avortements spontanés chez une population de femmes travaillant dans l'industrie de la pétrochimie en Chine (Xu *et al.*, 1998). Une augmentation statistiquement significative du risque d'avortement spontané, lors d'expositions fréquentes aux composés pétrochimiques (OR : 2,7, 95 % CI = 1,8-3,9), a été observée. Le risque spécifique relatif au sulfure d'hydrogène a été calculé de 2,3 (95 %, CI = 1,2 - 4,4).

SULFURE D'HYDROGÈNE

A notre connaissance, il n'existe pas de données relatives aux effets d'une exposition par inhalation sur le développement chez l'homme, ni de données relatives aux effets sur la reproduction ou le développement, suite à une exposition par voie orale ou cutanée.

Études chez l'animal

Les seules données disponibles chez l'animal correspondent à des expositions par inhalation.

Aucune altération histopathologique n'a été retrouvée au niveau des organes de la reproduction chez les mâles et les femelles aussi bien chez des rats (F-344 ou Sprague-Dawley) que des souris (B6C3F1) exposés à des concentrations de 10 - 30 - 80 ppm (14 - 42 - 111 mg/m³) de sulfure d'hydrogène 6 h/j, 5 j/sem pendant 90 jours (CIIT, 1983a, 1983b, 1983c). Aucune altération de la durée de la gestation, la viabilité ou la taille de la portée n'a été observée chez des rats Sprague Dawley exposés aux concentrations de 20, 50 ou 75 ppm (27,8 - 70 - 104 mg/m³) de sulfure d'hydrogène, 7 h/j du 6^{ème} au 21^{ème} jour de gestation (Hayden *et al.*, 1990b). Cependant, une augmentation apparente de la durée moyenne de parturition est rapportée mais celle-ci n'est pas statistiquement significative.

Enfin, Dorman *et al.* (2000) n'ont trouvé aucune altération de la durée de la gestation chez les rats Sprague-Dawley exposés aux concentrations de 0, 10, 30 ou 80 ppm (0, 14, 42 ou 111 mg/m³) de sulfure d'hydrogène 6 h/j, 7 j/sem, 2 semaines avant l'accouplement, puis 2 semaines pendant la période d'accouplement et du premier au 19^{ème} jour de la gestation. Cette étude rapporte également l'absence d'altération de la fertilité, du nombre de femelles ayant des petits vivants, de la taille des portées et du nombre d'implants par femelles. Il n'y a pas non plus d'altération histologique des organes de la reproduction et des organes secondaires chez des lots témoins exposés à la concentration la plus élevée de 80 ppm (111 mg/m³). Une légère augmentation non statistiquement significative de l'incidence de la dégénérescence des testicules est malgré tout observée à la concentration de 80 ppm (111 mg/m³). De plus, des altérations non statistiquement significatives du nombre de spermatozoïdes et de leur morphologie sont observées. Cette étude ne révèle pas d'altération du développement ou des performances au cours de tests neuro-développementaux, ou d'anomalies histopathologiques au niveau du cerveau.

Dans une autre étude, aucune modification des protéines sériques, des activités lactate déshydrogénase (LDH), SGOT ou phosphatase alcaline n'est rapportée chez les nouveau-nés de rats Sprague-Dawley exposés à des concentrations de 20, 50 ou 75 ppm (27,8 - 70 - 104 mg/m³) de sulfure d'hydrogène 7 j/sem, du premier jour de gestation au 21^{ème} jour après la naissance (Hayden *et al.*, 1990a). Il n'y a pas non plus d'augmentation des taux de glucose sérique chez les nouveau-nés alors que ces taux augmentent de 50 % chez des femelles exposées à 21 jours après l'exposition.

D'autres études ne montrent pas d'effet sur les jeunes pour une exposition chez le rat Sprague Dawley aux concentrations de 0, 70, 140 ou 210 mg/m³ (0, 50, 100 ou 150 ppm) de sulfure d'hydrogène 6 h/j, du 6^{ème} au 20^{ème} jour de gestation (Sailienfait *et al.*, 1989).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Plusieurs auteurs ont cherché à mettre en évidence les effets d'une exposition périnatale sur le développement du système nerveux central et plus spécifiquement sur les cellules de Purkinge chez le rat (Hannah et Roth, 1991 ; Skrajny *et al.*, 1992). Toutefois, ces effets ne sont pas clairement mis en évidence et aucune relation dose-effet n'a pu être établie.

3.4 Valeurs toxicologiques de référence

Une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) est un indice établi à partir de la relation entre une dose externe d'exposition à une substance dangereuse et la survenue d'un effet néfaste. Les valeurs toxicologiques de référence proviennent de différents organismes dont la notoriété internationale est variable.

L'INERIS présente en première approche les VTR publiées par l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS. En seconde approche, les VTR publiées par d'autres organismes, notamment Santé Canada, le RIVM et l'OEHHA, peuvent être retenues pour la discussion si des valeurs existent.

Pour accéder à une information actualisée, nous conseillons au lecteur de se reporter - soit au document "Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) - mars 2009" disponible sur le site internet de l'INERIS

http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getDoc&id_doc_object=2813

- soit en se reportant directement sur les sites internet des organismes qui les élaborent.

Pour accéder à une information actualisée, nous conseillons au lecteur de se reporter - soit au document "Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) - mars 2009" disponible sur le site internet de l'INERIS

http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getDoc&id_doc_object=2813

- soit en se reportant directement sur les sites internet des organismes qui les élaborent.

3.4.1 Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS

Valeurs toxicologiques de référence pour des effets avec seuil

Substances chimiques	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude utilisé	Valeur de référence	Année d'évaluation
Sulfure d'hydrogène	ATSDR	Inhalation (sub-chronique)	30	MRL= 0,02 ppm (0,03 mg/m ³)	2006
		Inhalation (aiguë)	27	MRL= 0,07 ppm (0,1 mg/m ³)	2006
	US EPA IRIS	Inhalation (chronique)	300	RfC = 2.10 ⁻³ mg/m ³	2003b

SULFURE D'HYDROGÈNE

Valeurs toxicologiques de référence pour des effets sans seuil

Non disponible

Justification scientifique des valeurs toxicologiques de référence

L'ATSDR propose un MRL de 0,02 ppm (0,03 mg/m³) pour une exposition sub-chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation (2006)

Cette valeur a été établie à partir d'un NOAEC déterminé lors d'une étude réalisée chez des rats (12 mâles) ayant inhalé du sulfure d'hydrogène (0, 10, 30, 80 ppm soit 0, 14, 42, 111 mg/m³) 6 heures par jour, 7 jours par semaine, pendant 10 semaines (Brenneman *et al.*, 2000). Un NOAEC de 10 ppm (soit 14 mg/m³) pour des lésions nasales de la muqueuse olfactive des rats a été retenu à partir de cette étude.

Un NOAEC ajusté (NOAEC_{ADJ}) a été calculé pour le passage d'une exposition discontinue à une exposition continue, comme indiqué ci-dessous :

$$\text{NOAEC}_{\text{ADJ}} = \text{NOAEC} \times (6 \text{ h}/24 \text{ h}) \times (7 \text{ j}/7) = 10 \times (6/24) = 2,5 \text{ ppm}$$

La concentration équivalente humaine (HEC) a été calculée utilisant l'équation suivante (US EPA 1994b) pour un gaz de catégorie 1 :

$$\text{NOAEC}_{\text{HEC}} = \text{NOAEC}_{\text{ADJ}} \times \text{RGDR}_{\text{ET}} = 2,5 \times 0,184 = 0,46 \text{ ppm}$$

Avec :

VE(rat) volume par minute inhalé chez le rat = 0,190 L/min

VE(humain) volume par minute inhalé chez l'homme = 13,8 L/min

SA(rat) : surface de la région extra-thoracique chez le rat = 15 cm²

SA(humain) surface de la région extra-thoracique chez l'homme = 200 cm²

RGDR_{ET} : rapport de dose pour un effet observé d'un gaz dans la région extra-thoracique du tractus respiratoire
 = (VE / SA_{ET})_{RAT} / (VE / SA_{ET})_{HUMAIN} = (0,19/15) / (13,8/200) = 0,184

Facteur d'incertitude :

Un facteur de 30 a été appliqué au NOAEL_{HEC} de 0,46 ppm : un facteur 10 pour la variabilité intra-espèce et un facteur de 3 pour les variations inter-espèces (le facteur de 10 habituellement utilisé pour la variation inter-espèces est réduit à 3 du fait de l'utilisation d'un ajustement allométrique qui prend en compte les différences de volumes respiratoires entre le rat et l'homme).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Calcul : $MRL = 0,46/30 = 0,015 \text{ ppm} (2 \cdot 10^{-2} \text{ mg/m}^3)$

L'ATSDR propose un MRL de 0,07 ppm (0,1 mg/m³) pour une exposition aiguë au sulfure d'hydrogène par inhalation (2006)

Cette valeur est basée sur l'étude chez le volontaire de Jäppinen *et al.* (1990). Au cours de cette étude, trois hommes et sept femmes atteints d'asthme bronchique non sévère ont été exposés à 2 ppm (2,8 mg/m³) de sulfure d'hydrogène pendant 30 minutes. Un LOAEC de 2 ppm est mesuré pour une altération de la résistance et de la conductance des voies respiratoires.

Facteur d'incertitude

Un facteur d'incertitude de 27 est retenu qui correspond à un facteur de 3 pour l'utilisation d'un LOAEC, d'un facteur de 3 pour la variabilité au sein de la population humaine et d'un facteur de 3 pour le manque de donnée chez les enfants.

Calcul : $2 / 27 = 0,07 \text{ ppm} (0,1 \text{ mg/m}^3)$

L'US EPA propose une RfC de $2 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$ pour une exposition chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation (2003b).

Cette RfC a été établie à partir d'un NOAEC déterminé par la même étude que pour la construction de la MRL (Brenneman *et al.*, 2000). Un même NOAEC de 10 ppm (14 mg/m³) pour des lésions nasales de la muqueuse olfactive des rats a été retenu à partir de cette étude.

Un NOAEC ajusté (NOAEC_{ADJ}) a été calculé pour le passage d'une exposition discontinue à une exposition continue, comme indiqué ci-dessous :

$$NOAEC_{ADJ} = NOAEC \times (6 \text{ h}/24 \text{ h}) \times (7 \text{ j}/7) = 13,9 \times (6/24) = 3,475 \text{ mg/m}^3$$

Afin de déterminer un NOAEC_{HEC}, les doses du sulfure d'hydrogène se trouvant dans la région extra-thoracique ont été estimées chez l'homme et l'animal.

Le calcul est le suivant :

$$NOAEC_{HEC} = NOAEC_{ADJ} \times RGDR_{ET} = 3,475 \times 0,184 = 0,639 \text{ mg/m}^3$$

avec :

VE(rat) volume par minute inhalé chez le rat = 0,19 L/min

VE(humain) volume par minute inhalé chez l'homme = 13,8 L/min

SA(rat) : surface de la région extra-thoracique chez le rat = 15 cm²

SA(humain) surface de la région extra-thoracique chez l'homme = 200 cm²)

SULFURE D'HYDROGÈNE

RGDR_{ET} : rapport de dose pour un effet observé d'un gaz dans la région extra-thoracique du tractus respiratoire
 = (VE / SA_{ET})_{RAT} / (VE / SA_{ET})_{HUMAIN} = (0,19/15) / (13,8/200) = 0, 184

Facteur d'incertitude :

Un facteur de 300 a été appliqué au NOAEC_{HEC} de 0,639 mg/m³ :

Un facteur de 10 pour l'extrapolation des données sub-chroniques aux données chroniques, un facteur 10 pour la variabilité intra-espèce et un facteur de 3 pour les variations inter-espèces. On ne tient pas compte du facteur 10, dû à l'ajustement dosimétrique présenté ci-dessus.

Calcul : RfC = 0,639 / 300 = 2 10⁻³ mg/m³

3.4.2 Valeurs toxicologiques de référence de Santé Canada, du RIVM et de l'OEHHA

Valeurs toxicologiques de référence pour des effets avec seuil

Substances chimiques	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision
Sulfure d'hydrogène	OEHHA	Inhalation (Chronique)	100	10.10 ⁻³ mg/m ³	2007
		Inhalation (aiguë)	1	42.10 ⁻³ mg/m ³	1999

Valeurs toxicologiques de référence pour des effets sans seuil

Non disponible.

Justification scientifique des valeurs toxicologiques de référence

L'OEHHA propose REL de 10.10⁻³ mg/m³ pour une exposition chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation.

Cette valeur est établie à partir d'une étude expérimentale réalisée chez la souris B6C3F1 exposée à des concentrations de 0 - 10 - 30 - 80 ppm (0 - 14 - 43 - 111 mg/m³) de sulfure d'hydrogène 6 h/j, 5 j/sem pendant 90 j (CIIT, 1983a). Un NOAEC de 30 ppm (43 mg/m³) et un LOAEC de 80 ppm (111 mg/m³) ont été établis pour une inflammation de la muqueuse nasale.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Un NOAEC ajusté (NOAEC_{ADJ}) a été calculé pour le passage d'une exposition discontinue à une exposition continue, comme indiqué ci-dessous :

$$\text{NOAEC}_{\text{ADJ}} = \text{NOAEC} \times (6 \text{ h}/24 \text{ h}) \times (5 \text{ j}/7) = 30 \times (6/24) \times (5/7) = 5,4 \text{ ppm}$$

Afin de déterminer un NOAEC_{HEC}, les doses de sulfure d'hydrogène se trouvant dans la région extra-thoracique ont été estimées chez l'homme et l'animal.

Le calcul est le suivant :

$$\text{NOAEC}_{\text{HEC}} = \text{NOAEC}_{\text{ADJ}} \times \text{RGDR}_{\text{ET}} = 5,4 \times 0,16 = 0,85 \text{ ppm}$$

Facteur d'incertitude :

Un facteur d'incertitude de 100, est retenu qui correspond à un facteur de 3 pour l'extrapolation d'une exposition sub-chronique à chronique, un facteur 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme, un facteur de 10 pour tenir compte de la variabilité au sein de l'espèce humaine.

$$\text{Calcul : } 0,85/100 = 0,0085 \text{ ppm (} 10 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3 \text{)}$$

L'OEHHA propose REL de $42 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$ pour une exposition aiguë au sulfure d'hydrogène par inhalation.

Cette valeur a été établie à partir de l'analyse de plusieurs études réalisées chez l'homme (California State Department of Public Health, 1969 ; CARB, 1984 ; Reynolds et Kamper, 1985 ; Amore, 1985). Le LOAEC retenu est compris entre 0,012 et 0,069 ppm (moyenne géométrique de 0,03 ppm soit $0,042 \text{ mg/m}^3$) pour la survenue de céphalées et de nausées. Ce niveau est proche de celui de la détection de l'odeur.

Facteur d'incertitude :

Aucun facteur d'incertitude n'est appliqué.

$$\text{Calcul : } 0,042/1 = 0,042 \text{ mg/m}^3 \text{ (} 0,03 \text{ ppm)}$$

4. DONNÉES ÉCOTOXICOLOGIQUES

L'objectif de ce chapitre est d'estimer les effets à long terme sur la faune et la flore, les résultats nécessaires à cette évaluation sont présentés. Lorsqu'un nombre suffisant de résultats d'écotoxicité chronique est disponible, les résultats d'écotoxicité aiguë ne sont pas fournis. Lorsque l'écotoxicité chronique n'est pas suffisamment connue, les résultats

SULFURE D'HYDROGÈNE

d'écotoxicité aiguë sont présentés et peuvent servir de base pour l'extrapolation des effets à long terme.

L'ensemble des informations et des données de ce chapitre provient de recherches bibliographiques ou de revues bibliographiques publiées par des organismes reconnus pour la qualité scientifique de leurs documents (IUCLID, 2000 ; Santé Canada, 1987). Les références bibliographiques aux auteurs sont citées pour permettre un accès direct à l'information scientifique mais n'ont pas fait systématiquement l'objet d'un nouvel examen critique par les rédacteurs de la fiche.

4.1 Paramètres d'écotoxicité aiguë

4.1.1 Organismes aquatiques

D'une façon générale, la toxicité du sulfure d'hydrogène vis-à-vis des organismes dulçaquicoles est similaire à celle des organismes marins (Küster *et al.*, 2005). En utilisant la moyenne géométrique des résultats lorsque plusieurs données sont disponibles pour une même espèce, l'étude des résultats montre qu'indépendamment de la qualité des données, la toxicité aiguë du sulfure d'hydrogène est très variable en fonction notamment de l'espèce étudiée, de son mode de vie (épibenthique, endobenthique ou pélagique), des conditions physico-chimiques du milieu (température, pH) et du stade de développement de l'organisme. Ainsi, en eau douce ou marine, la CE₅₀ du sulfure d'hydrogène vis-à-vis des algues est comprise entre 105,6 et 1 874 µg/L. Vis-à-vis des crustacés, la CL₅₀ est comprise entre 13,1 µg/L (*Metapenaeus monoceros*) et 17 040 µg/L (*Nephrops norvegicus*). Vis-à-vis des mollusques et échinodermes, la CL₅₀ est comprise entre 9,5 (*Mytilus edulis*) et 43 µg/L (*Paracentrotus lividus*). Enfin, vis-à-vis des insectes, la CL₅₀ est comprise entre 20 (*Baetis vagans*) et 316 µg/L (*Ephemera simulans*). Vis-à-vis des poissons, la CL₅₀ est comprise entre 7 µg/L (*Salmo trutta*) et 3 570 µg/L (*Boleophthalmus boddarti*). Pour le compartiment sédimentaire, la CL₅₀ est comprise entre 165 µg/L (*Hexagenia limbata*) et > 3 400 µg/L (*Neanthes arenaceodentata*).

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
Bactéries	<i>Vibrio fischeri</i>	CE ₅₀ 30 minutes, 15 °C pH 6,2 - 6,5 O ₂ > 50 % de la saturation	9 406	Kuster <i>et al.</i> , 2005
Algues dulçaquicoles	<i>Scenedesmus vacuolatus</i>	CE ₅₀ 24 heures, 28 °C pH 6,5 - 6,6 O ₂ > 50 % de la saturation	1 874	Kuster <i>et al.</i> , 2005

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
Algues marines	<i>Skeletonema costatum</i>	CE ₅₀ 4 heures Mesure de l'activité photosynthétique	105,6	Breteler <i>et al.</i> , 1991
	<i>Skeletonema costatum</i>	NOEC 4 heures Mesure de l'activité photosynthétique	40,9	Breteler <i>et al.</i> , 1991
Crustacés dulçaquicoles	<i>Caecidotea militaris</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15,2 °C Adultes Flux dynamique pH 7,5 ; O ₂ 2,0	1 070	Oseid et Smith, 1974b
	<i>Crangonyx richmondensis</i>	CL ₅₀ 96 heures, 14,9 °C Adultes Flux dynamique pH 7,4 ; O ₂ 2,0	840	Oseid et Smith, 1974b
	<i>Daphnia magna</i>	CE ₅₀ 48 heures, 20 °C pH 6,4 - 6,5 O ₂ > 50 % de la saturation	123	Küster <i>et al.</i> , 2005
	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 18 °C Dynamique	22	Smith et Oseid, 1975
	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	CL ₅₀ 96 heures 17,9 - 18,1 °C Adultes Flux dynamique pH 7,7 - 7,9 O ₂ 5,8 - 7,4	22,2 (1)	Oseid et Smith, 1974a
	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15,0 °C Adultes Flux dynamique pH 7,5 - O ₂ 5,9	59	Oseid et Smith, 1974b
	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	CL ₅₀ 96 heures Juvénile 21 jours 7,26 mm Semi-statique	2 570	Jayamanne, 1986 Jayamanne, 1992
	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	CL ₅₀ 96 heures Juvénile 2 mois 15,08 mm Semi-statique	4 200	Jayamanne, 1986 Jayamanne, 1992
	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	CL ₅₀ 48 heures Juvénile 21 jours 7,26 mm Semi-statique	4 250	Jayamanne, 1986 Jayamanne, 1992

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	CL ₅₀ 48 heures Juvénile 2 mois 15,08 mm Semi-statique	4 790	Jayamanne, 1986 Jayamanne, 1992
Crustacés marins	<i>Eohaustorius estuarius</i>	CL ₅₀ 48 heures, 15°C Adulte Dynamique	315,4 (2)	Knezovich <i>et al.</i> , 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 20 - 25 mm pH 6,0 - 6,3	117	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 35 - 40 mm pH 7,0 - 7,3	119	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 85 - 90 mm pH 8,1 - 8,3	144	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 20 - 25 mm pH 7,0 - 7,3	189	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 35 - 40 mm pH 8,1 - 8,3	281	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 20 - 25 mm pH 8,1 - 8,3	342	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 35 - 40 mm pH 6,0 - 6,3	63	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Gammarus olivii</i>	CL ₅₀ 48 heures	11 000	Polikarpov <i>et al.</i> , 1985
	<i>Metapenaeus dobsoni</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29°C 20 - 25 mm pH 6,0 - 6,3	125	Gopakumar et Kuttyamma, 1996

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Metapenaeus dobsoni</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29 °C 35 - 40 mm pH 7,0 - 7,3	147	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Metapenaeus dobsoni</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29 °C 20 - 25 mm pH 7,0 - 7,3	219	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Metapenaeus dobsoni</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29 °C 35 - 40 mm pH 8,1 - 8,3	340	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Metapenaeus dobsoni</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29 °C 20 - 25 mm pH 8,1 - 8,3	378	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Metapenaeus dobsoni</i>	CL ₅₀ 96 heures 28-29 °C 35 - 40 mm pH 6,0 - 6,3	77	Gopakumar et Kuttyamma, 1996
	<i>Metapenaeus monoceros</i>	CL ₅₀ 48 heures Mysis (9)	12,11	Kang et Matsuda, 1994
	<i>Metapenaeus monoceros</i>	CL ₅₀ 48 heures Juvénile	19,7	Kang et Matsuda, 1994
	<i>Metapenaeus monoceros</i>	CL ₅₀ 48 heures Zoé (9)	9,44	Kang et Matsuda, 1994
	<i>Nephrops norvegicus</i>	CL ₅₀ 22,5 heures	17 040	Butterworth <i>et al.</i> , 2004
	<i>Rhepoxynius abronius</i>	CL ₅₀ 48 heures, 15 °C Adulte Dynamique	152 (2)	Knezovich <i>et al.</i> , 1996
Mollusques bivalves marins	<i>Mytilus edulis</i>	CE ₅₀ 48 heures, 15 °C Embryon Dynamique	9,5 (2)	Knezovich <i>et al.</i> , 1996
Echinoderme	<i>Paracentrotus lividus</i>	CE ₅₀ 60 minutes, 18 °C Cellule spermatique pH 8,32 Statique Milieu aérobie	72 (3)	Losso <i>et al.</i> , 2004

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Paracentrotus lividus</i>	CE ₅₀ 72 heures, 18 °C Embryo-larvaire pH 8,32 Statique Milieu aérobie	25,8 (3)	Losso <i>et al.</i> , 2004
	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	CE ₅₀ 48 heures, 15 °C Embryon Dynamique	18,1 ²	Knezovich <i>et al.</i> , 1996
Insectes dulçaquicoles	<i>Baetis vagans</i>	CL ₅₀ 96 heures, 14,8 °C Adulte Flux dynamique pH 7,6 - O ₂ 6,2	20 (4)	Oseid et Smith, 1974b
	<i>Ephemera simulans</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15,0 °C Adultes Flux dynamique pH 7,4 - O ₂ 1,9	316	Oseid et Smith, 1974b
	<i>Hexagenia limbata</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15,0 °C Adultes Flux dynamique pH 7,7 - O ₂ 2,0	111 ⁵	Oseid et Smith, 1974b
Poissons dulçaquicoles	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 14,1 °C Sub-adulte Flux dynamique	145	Smith et Oseid, 1975
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 72 heures Oeuf	20	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 22,1 °C Oeuf Flux dynamique	22	Smith et Oseid, 1975
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 21,6 °C Alevin Flux dynamique	25	Smith et Oseid, 1975
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 72 heures Larve vésiculée	25	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 6 °C Flux dynamique	53	Adelmann et Smith, 1972 cités par IUCLID, 2000
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures Flux dynamique O ₂ 1,5 mg/L	53	Adelmann et Smith, 1972 cités par IUCLID, 2000
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 26 °C Sub-adulte Flux dynamique	63	Smith et Oseid, 1975

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	71	Adelmann et Smith, 1972 cités par IUCLID, 2000
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Sub-adulte Flux dynamique	83	Smith et Oseid, 1975
	<i>Carassius auratus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 22 °C Juvénile Flux dynamique	84	Smith <i>et al.</i> , 1976c
	<i>Catostomus commersoni</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Larve Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	13 - 26	Smith et Oseid, 1972
	<i>Catostomus commersoni</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Larve Flux dynamique O ₂ 3 mg/L	17	Smith et Oseid, 1972
	<i>Catostomus commersoni</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Juvéniles Dynamique	19	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Catostomus commersoni</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	28	Smith et Oseid, 1972
	<i>Esox lucius</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Larve vésiculée Flux dynamique pH 7,5 - 7,76 O ₂ 6 mg/L	26 ⁶	Adelman et Smith, 1970
	<i>Esox lucius</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Œuf Flux dynamique pH 7,5 - 7,76 O ₂ 2 mg/L	34 (1)	Adelman et Smith, 1970
	<i>Esox lucius</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Œuf Flux dynamique pH 7,5 - 7,76 O ₂ 6 mg/L	37 (6)	Adelman et Smith, 1970

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Esox lucius</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Larve vésiculée Flux dynamique pH 7,5 - 7,76 O ₂ 2 mg/L	9 (6)	Adelman et Smith, 1970
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 21,7 °C Larve vésiculée Flux dynamique pH 7,8 - 8,0 O ₂ 5,8	> 43,5	Smith <i>et al.</i> , 1976a
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 21,8 °C Larve exotrophe 35 j Flux dynamique pH 7,8 - 8,0 O ₂ 6,0	13,1	Smith <i>et al.</i> , 1976a
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 22 °C Œuf Flux dynamique	14	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 72 heures, 21,9 °C Œuf Flux dynamique pH 7,8 - 8,0 O ₂ 5,9	19	Smith <i>et al.</i> , 1976a
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Juvénile Flux dynamique	28	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Adulte Flux dynamique	30	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures 20 ± 0,1 °C Juvénile Flux dynamique pH 7,9 ± 0,05 O ₂ 6,2 ± 0,04	32,3 (6)	Oseid et Smith, 1972
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures 19,6 - 20,3 °C Adulte Flux dynamique pH 7,8 - 8,0 O ₂ 5,8 - 6,4	44,8 (5)	Smith <i>et al.</i> , 1976a

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures 19,9 - 20,1 °C Juvénile Flux dynamique pH 7,8 - 8,0 O ₂ 5,7 - 6,6	47,8 (7)	Smith <i>et al.</i> , 1976a
	<i>Lepomis macrochirus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 22 °C Larve exotrophe Flux dynamique -	9	Smith et Oseid, 1975
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Juvénile Dynamique	13	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Juvénile Dynamique	13	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	49	Smith et Oseid, 1972
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ 96 heures	7	Smith et Oseid, 1970 cités par Reynolds et Haines, 1980
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ 96 heures	7,2	Smith et Oseid, 1970 cités par Reynolds et Haines, 1980
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ juvénile	8,7	Smith <i>et al.</i> , 1976c
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL ₅₀ 96 heures	9	Smith et Oseid, 1974 cités par Reynolds et Haines, 1980
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 24,0 °C Larve Flux dynamique O ₂ 5,4 - 6,2 mg/L	10,7	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Juvénile Flux dynamique pH 8,69 O ₂ 7,5 mg/L	14,9	Broderius <i>et al.</i> , 1977
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 10,0 °C Sub adulte Flux dynamique	150	Smith et Oseid, 1975

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 22 °C Sub adulte Flux dynamique	16	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 24 °C Juvénile Dynamique	16	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 10,0 °C Juvénile sauvage Flux dynamique	204,0	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 24 °C Sub adulte Flux dynamique	21	Adelman et Smith, 1972 cités par Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures 19,8 - 22 °C Juvénile du laboratoire Flux dynamique	24,3	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Juvénile	24,3	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 24 °C Œuf Flux dynamique	35	Smith et Oseid, 1975 ; Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20,0 °C Sub adulte Flux dynamique	36	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 25 °C Juvéniles Flux dynamique	42,3	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20,2 °C Juvénile sauvage Flux dynamique	47,7	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 6,1 °C Sub adulte Flux dynamique	515	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures 23,8 - 24,2 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 5,6 - 6,0 mg/L	53,6	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures 19 - 20 °C Juvénile sauvage Flux dynamique	55,4	Smith <i>et al.</i> , 1976b

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15,0 °C Sub adulte Flux dynamique	57	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 20 °C Juvénile Flux dynamique pH 7,1 O ₂ 7,5 mg/L	57,2	Broderius <i>et al.</i> , 1977
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 24 °C Larve Flux dynamique	7	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 24 °C Alevin Flux dynamique	7,1	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 6,5 °C Juvéniles sauvages Flux dynamique	775,4	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 6,5 °C Juvéniles Flux dynamique	775,6	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 7,6 °C Juvéniles sauvages Flux dynamique	776,1	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15,0 °C Juvéniles sauvages Flux dynamique	79,8	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Salmo trutta</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Larve Flux dynamique	7	Reynolds et Haines, 1980
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	CL ₅₀ 96 heures, 13 °C Juvénile Flux dynamique	17	Smith et Oseid, 1974 cités par Reynolds et Haines, 1980
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	CL ₅₀ 96 heures, 12,5 °C Larve exotrophe Flux dynamique	21,6	Smith et Oseid, 1975
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	CL ₅₀ 96 heures 9 - 12 °C Larve Dynamique	22	Smith et Oseid, 1974 Broderius et Smith, 1976 cités par IUCLID, 2000
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	CL ₅₀ 96 heures, 8,0 °C Juvénile Flux dynamique	25	Smith et Oseid, 1975

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	CL ₅₀ 96 heures, 9,0 °C Larve vésiculée Flux dynamique	30,8	Smith et Oseid, 1975
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	CL ₅₀ 96 heures 9 - 12 °C Œuf Flux dynamique	54	Smith et Oseid, 1974 Broderius et Smith, 1976 cités par IUCLID, 2000
	<i>Sander vitreus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 12 °C Juvéniles Flux dynamique	20	Smith <i>et al.</i> , 1976c cités par IUCLID, 2000
	<i>Sander vitreus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 12 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	52	Smith et Oseid, 1972
	<i>Sander vitreus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 12 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 3 mg/L	64	Smith et Oseid, 1972
	<i>Sander vitreus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 4 mg/L	66	Smith et Oseid, 1972
	<i>Sander vitreus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Larve Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	7	Smith et Oseid, 1972
	<i>Sander vitreus</i>	CL ₅₀ 96 heures, 15 °C Œuf Flux dynamique O ₂ 6 mg/L	74 - 87	Smith et Oseid, 1972
Poissons marins	<i>Boleophthalmus boddarti</i>	CL ₅₀ 96 heures, 25 °C 4,6 - 6,7 g Flux dynamique pH 7 - O ₂ 8 mg/L	1 602 (8)	Ip <i>et al.</i> , 2004
	<i>Boleophthalmus boddarti</i>	CL ₅₀ 96 heures, 25 °C 11,6 - 14,2 g Flux dynamique pH 7 - O ₂ 8 mg/L	7 958 (8)	Ip <i>et al.</i> , 2004

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Chanos chanos</i>	CL ₅₀ 96 heures 26 - 30°C Juvénile Flux dynamique pH 8 - 8,5 O ₂ 4 - 6 mg/L	112,5	Bagarinao et Lantin-Olaguer, 1998
	<i>Fundulus parvipinnis</i>	CL ₅₀ 96 heures 14 - 18°C Juvénile - Adulte Flux dynamique pH 8,3 O ₂ 50 - 80 % de la saturation	1 431	Bagarinao et Vetter, 1993
	<i>Oreochromis mossambicus</i>	CL ₅₀ 96 heures 26 - 30°C Juvénile Flux dynamique pH 8 - 8,5 O ₂ 4 - 6 mg/L	129,7	Bagarinao et Lantin-Olaguer, 1998
Compartiment sédimentaire dulçaquicole	<i>Hexagenia limbata</i>	CL ₅₀ 48 heures 17,8 - 18,3°C Nymphe pH 7,67- 7,99 O ₂ 4,53 - 6,63	312	Oseid et Smith, 1975
	<i>Hexagenia limbata</i>	CL ₅₀ 96 heures 17,8 - 18,3°C Nymphe pH 7,67- 7,99 O ₂ 4,53 - 6,63	165	Oseid et Smith, 1975
Compartiment sédimentaire marin	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	CL ₅₀ 96 heures	> 3 400	Dillon <i>et al.</i> , 1993

(1) Moyenne sur 4 essais

(2) Concentration en sulfure d'hydrogène calculée à partir de la concentration en sulfure total.

(3) Concentration en H₂S calculée en estimant qu'à pH 8,3 la concentration en H₂S est de 6 % de la concentration en sulfure.

(4) Moyenne sur 2 essais

(5) Moyenne sur 7 essais

(6) Moyenne sur 3 essais

(7) Moyenne sur 5 essais

(8) Concentration en H₂S calculée en estimant qu'à pH 7 la concentration en H₂S est de 50 % de la concentration en sulfure.

(9) Forme larvaire de crustacé.

Bactéries

SULFURE D'HYDROGÈNE

Küster *et al.* (2005) exposent des bactéries *Vibrio fischeri* (NRRL B-11177) au sulfure d'hydrogène durant 30 minutes. L'essai est réalisé selon la norme ISO 11348, utilisant des bactéries fraîchement préparées. Les bactéries, provenant d'un laboratoire extérieur, sont additionnées directement dans le milieu d'essai et la luminescence est mesurée après 15 et 30 minutes d'incubation. L'essai est effectué à la température de 15°C, à un pH compris entre 6,2 et 6,5 et une concentration en oxygène dissous supérieure à 50 % de la saturation. Pour chaque concentration en H₂S testée, 10 répliques sont réalisées. Onze concentrations en sulfure d'hydrogène et 1 témoin sont testés. La sensibilité de la souche est vérifiée par l'ajout d'un témoin positif. Dans ces conditions, la CE₅₀ 30 minutes est de 9 406 µg/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Algues

Seuls 2 essais, vis-à-vis des algues dulçaquicoles ou marines ont été répertoriés. La CE₅₀ 4 heures à 24 heures est comprise entre 105,6 µg/L et 1 874 µg/L en fonction du paramètre mesuré (croissance ou mesure de l'activité photosynthétique).

Küster *et al.* (2005) exposent des algues vertes unicellulaires (*Scenedesmus vacuolatus*) au sulfure d'hydrogène durant au moins une génération soit 24 heures. L'essai est mené à une température de 28°C, un pH de 6,5 - 6,6 et une concentration en oxygène dissous > à 50 % de la saturation. Afin de limiter la volatilisation des sulfures, l'essai est réalisé dans des tubes de 10 mL fermés. Dans ces conditions, la CE₅₀ 24 heures est de 1 874 µg/L d'H₂S.

Les essais sont peu décrits car ils sont réalisés selon un protocole cité en référence. Un suivi analytique est effectué. Les résultats de chaque concentration testée sont donnés sous la forme d'un graphique. De plus, la durée de l'essai est de 24 heures au lieu des 72 heures recommandées par la directive OCDE 201, 1984. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Invertébrés

Vis-à-vis des invertébrés, la toxicité aiguë du sulfure d'hydrogène est très variable. Ainsi, alors que la moyenne géométrique des CL₅₀ est de 230 et 174 µg/L respectivement pour les invertébrés dulçaquicoles et les invertébrés marins, les CL₅₀ sont comprises entre 20 et 3 285 µg/L pour les organismes dulçaquicoles et entre 9,5 et 17 040 µg/L pour les organismes marins.

Vis-à-vis des crustacés dulçaquicoles, la moyenne géométrique de la CL₅₀ 48-96 heures est de 407 µg/L. Le *Gammarus pseudolimnaeus* s'est révélé être l'organisme le plus sensible et le *Macrobrachium rosenbergii* l'espèce la moins sensible avec des CL₅₀ 48-96 heures respectivement de 30,7 et 3 285 µg/L. Vis-à-vis des crustacés marins, la moyenne

SULFURE D'HYDROGÈNE

géométrique pour des CL₅₀ de 22,5 heures à 96 heures est de 444 µg/L. La CL₅₀ 96 heures la plus faible et la plus élevée sont de 13,1 et 17 040 µg/L. Elles ont été obtenues respectivement sur *Metapenaeus monoceros* et *Nephrops norvegicus*.

Vis-à-vis des insectes dulçaquicoles et des mollusques et échinodermes marins, des CL₅₀ similaires ont été obtenues avec des valeurs minimales et maximales de 20 et 316 µg/L et 9,5 et 43 µg/L respectivement.

Plus que des différences entre individus dulçaquicoles et marins, la variabilité de la toxicité du sulfure d'hydrogène est liée principalement à des différences interspécifiques (épibenthique, endobenthique ou pélagique), au stade de développement et aux conditions physico-chimiques du milieu (pH, température). Ainsi, par exemple, la CL₅₀ 48-96 heures est de 30,7 et 3 285 µg/L respectivement pour *Gammarus pseudolimnaeus* et *Macrobrachium rosenbergii*. De même, pour cette dernière espèce, la CL₅₀ 96 heures est de 2 570 et 4 200 µg/L respectivement pour des individus de 21 jours et de 2 mois. Enfin, vis-à-vis du crustacé marin *Fenneropenaeus indicus* la CL₅₀ 96 heures est de 117 µg/L à un pH de 6,0 - 6,3 et de 342 µg/L à un pH de 8,1 - 8,3.

Knezovich *et al.* (1996) exposent au sulfure d'hydrogène durant 48 heures 4 espèces d'invertébrés marins, deux amphipodes (*Rhepoxynius abronius*, *Eohaustorius estuarius*), un bivalve (*Mytilus edulis*) et un échinoderme (*Strongylocentrotus purpuratus*). Les essais sur amphipodes sont menés sur des animaux adultes provenant d'un laboratoire. Les essais sur bivalves et sur échinodermes sont réalisés sur des stades embryonnaires obtenus au laboratoire à partir d'adultes achetés à des fermes aquacoles ou à des laboratoires. Les essais sont menés en flux dynamique dans de l'eau de mer (salinité 32 ‰), à une température de 15°C, un pH de 8,0 ± 1 et une concentration en O₂ de 8,9 ± 0,9 mg/L. Les essais sur les bivalves et les échinodermes sont réalisés dans 4 cylindres placés dans des aquariums de 1 litre. Huit concentrations en sulfure sont testées (10, 29, 83, 115, 205, 256, 448 et 640 µg/L). Les essais sur amphipodes sont menés aux concentrations de 0, 320, 610, 800, 990, 1 470 et 2 500 µg/L de sulfure pour *Rhepoxynius abronius* et aux concentrations de 0,010, 350, 900, 1 220, 1 920, 2 720, 3 710 et 4 350 µg/L de sulfure pour *Eohaustorius estuarius*. Les amphipodes sont exposés par groupe de 20 individus. Dans ces conditions, les CL(E)₅₀ 48 heures sont de 9,5, 18,1, 152 et 315,4 µg/L d'H₂S respectivement pour *Mytilus edulis*, *Eohaustorius estuarius*, *Rhepoxynius abronius* et *Strongylocentrotus purpuratus*.

*Les essais sont relativement bien décrits mais des informations sont manquantes comme le nombre de répliques dans les essais menés. Dans l'essai sur bivalves et échinodermes une concentration en H₂S d'environ 0,95 µg/L est présente, toutefois le taux de mortalité n'est pas affecté sur au moins 2 concentrations consécutives. Un suivi analytique montrant la stabilité des concentrations est réalisé. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch *et al.*, 1997).*

Losso *et al.* (2004) exposent des cellules spermatiques (60 minutes) ou des stades embryolairaires (72 heures) d'oursin (*Paracentrotus lividus*) au sulfure d'hydrogène. Les gémiteurs

SULFURE D'HYDROGÈNE

ont été prélevés dans l'environnement un mois avant l'induction des pontes. Les essais sont réalisés en statique dans de l'eau de mer artificielle (salinité 35 ‰), à une température de 18°C, un pH de 8,32 et en aérobiose. Les essais sont menés à 4 concentrations en sulfure total (110 ; 360 ; 720 et 1 440 µg/L pour l'essai sur cellules spermatiques - 100 ; 330 ; 670 ; 1 330 µg/L pour l'essai sur les stades embryo-larvaires) plus un témoin. Pour chaque concentration testée, 3 répliques sont effectuées. Dans ces conditions, les CE₅₀ sont de 72 µg/L d'H₂S et 25,8 µg/L d'H₂S respectivement sur cellules spermatiques et sur les stades embryo-larvaires.

Les essais sont relativement bien décrits. Un essai permettant de vérifier la sensibilité sur réactif biologique est réalisé avec une substance de référence. Toutefois, les résultats des essais sont donnés en concentration nominale alors que les essais sont menés en statique et que le suivi analytique montre une diminution rapide de la concentration en sulfure. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Küster *et al.* (2005) exposent des daphnies (*Daphnia magna*) au sulfure d'hydrogène durant 48 heures. L'essai est réalisé selon la ligne directrice OCDE 202 modifiée, 2004, notamment, des tubes de 15 mL fermés sont utilisés afin de limiter la volatilisation des sulfures. L'essai est mené à une température de 20°C, un pH de 6,4 - 6,5 et une concentration en oxygène dissous > à 50 % de la saturation. Il débute avec des individus de 24 à 48 heures. Pour chaque concentration testée, 4 répliques de 5 individus sont réalisées. Un suivi analytique est effectué. Dans ces conditions, la CE₅₀ 48 heures est de 122,7 mg/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, les essais débutent avec des animaux de moins de 48 heures alors que la ligne directrice demande des animaux de moins de 24 heures. Les résultats de chaque concentration testée sont donnés sous la forme d'un graphique. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Oseid et Smith (1974b) étudient sur des invertébrés d'eau douce des facteurs influençant la toxicité du sulfure d'hydrogène. Les essais sont menés sur *Caecidotea militaris*, *Crangonyx richmondensis*, *Gammarus pseudolimnaeus*, *Baetis vagans*, *Ephemera simulans* et *Hexagenia limbata*. Tous les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. Les essais sont menés en flux dynamique (dureté totale : 220 mg/L). Chaque essai comporte 5 concentrations en sulfure d'hydrogène et un témoin. Pour chaque espèce, entre 4 et 39 essais sont réalisés. Un suivi analytique est effectué quotidiennement. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Selon ce protocole, la CL₅₀ 96 heures est de 59 ; 20 ; 1 070 ; 840 ; 316 et 111 µg/L d'H₂S respectivement pour *Gammarus pseudolimnaeus*, *Baetis vagans*, *Caecidotea militaris*, *Crangonyx richmondensis*, *Ephemera simulans* et *Hexagenia limbata*.

Du fait de l'objectif de la publication, tous les essais ne sont pas décrits ; ainsi différentes informations sont manquantes en fonction de l'espèce étudiée. De plus, différents essais sont menés à de très faibles concentrations en oxygène dissous. Un suivi analytique montrant la stabilité des concentrations est réalisé. De ce fait, les essais menés à des concentrations en oxygène dissous d'environ 2 mg/L seront considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997), même

SULFURE D'HYDROGÈNE

*s'ils sont représentatifs des conditions environnementales. Seuls les résultats obtenus à des concentrations en oxygène dissous supérieures ou égales à 5,9 mg/L (*Gammarus pseudolimnaeus*, *Baetis vagans*) sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).*

Oseid et Smith (1974a) exposent des amphipodes (*Gammarus pseudolimnaeus*) adultes au sulfure d'hydrogène durant 96 heures. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. L'eau utilisée est une eau de puits (dureté totale CaCO₃ : 220,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 222 - 232,0 mg/L). Le pH est ajusté pour obtenir les concentrations désirées en H₂S, à partir d'une solution de sulfure de sodium. Les essais sont réalisés en flux dynamique à une température comprise entre 17,8 et 18,1°C, un pH compris entre 7,7 et 7,9 et une concentration en oxygène dissous comprise entre 5,8 et 7,4 mg/L. Quatre essais sont réalisés. Pour chaque essai, 5 concentrations en sulfure d'hydrogène comprises entre 8 et 61 µg/L d'H₂S et un témoin sont réalisés. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, la moyenne géométrique des CL₅₀ 96 heures est de 22,2 µg/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, dans la publication d'origine, des données sont manquantes (concentrations testées, taux de mortalité chez les témoins). Malgré ces manques, les CL₅₀ 96 heures sont comprises entre 21 et 24 µg/L d'H₂S, ce qui démontre la répétabilité des résultats. De ce fait, les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Smith et Oseid (1975) exposent des amphipodes (*Gammarus pseudolimnaeus*) adultes au sulfure d'hydrogène durant 96 heures. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. L'eau utilisée est une eau de puits (température : 18°C ; dureté totale CaCO₃ : 210,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 230,0 mg/L). Le pH est ajusté pour obtenir les concentrations désirées en H₂S, à partir d'une solution de sulfure de sodium. Les essais sont réalisés en flux dynamique. Deux essais sont réalisés. Quatre ou 5 concentrations en sulfure d'hydrogène suivant un pas logarithmique et un témoin sont testés, de façon à ce que le taux de survie soit de 100 % à la plus faible concentration testée et supérieur à 50 % à la plus forte concentration testée. Un suivi analytique est effectué 3 fois par jour. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est de 22 µg/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, dans la publication d'origine des données sont manquantes (taux de mortalité chez les témoins, nombre de répliques, condition d'élevage des animaux avant les essais, taux de mortalité avant les essais, la concentration en oxygène dissous n'est pas indiquée mais dans un essai chronique des valeurs comprises entre 6,4 et 7,3 mg/L pour une température de 23°C sont indiquées). Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Oseid et Smith (1975) exposent des insectes (*Hexagenia limbata*) au stade nymphe au sulfure d'hydrogène durant 96 heures. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. Ils sont maintenus au laboratoire dans les mêmes conditions que celles de l'essai. L'eau utilisée est une eau de puits (température : 17,8 - 18,3 °C ; dureté totale CaCO₃ : 210,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 230,0 mg/L ; pH : 7,67 - 7,99 ; O₂ : 4,53 - 6,63 mg/L). Cinq concentrations en sulfure sont testées (25,1 ; 46,6 ; 107,8 ; 289,0 et 472,3 µg/L) et un témoin sans réplique. L'essai est réalisé en flux dynamique dans des aquariums de 25 litres dont le fond est couvert par 3 cm de sédiment naturel. Les animaux sont nourris avant l'essai mais pas durant ce dernier. Un suivi analytique est effectué 3 fois par jour. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, les CL₅₀ 48 heures et 96 heures sont respectivement de 312 et 165 µg/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits et les résultats de chaque concentration testée sont indiqués et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, l'essai est effectué sans réplique. Malgré ce manque, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Jayamanne (1986) expose des crevettes géantes d'eau douce juvéniles (*Macrobrachium rosenbergii*) au sulfure d'hydrogène durant 96 heures. Deux essais sont réalisés sur des animaux âgés de 21 jours et de deux mois. Les animaux ne sont pas alimentés 24 heures avant le début de l'essai et durant ce dernier. L'eau utilisée est une eau de puits vieillie. Les caractéristiques physico-chimiques sont données pour les deux essais (température : 21,6 ± 1 °C ; 26,6 ± 0,5 °C ; pH : 8,0 ± 0,2 ; 8,8 ± 0,15 ; oxygène dissous : 5,4 ± 1,21 mg/L ; 6,1 ± 1,32 mg/L ; dureté totale CaCO₃ : 290 ± 2,78 mg/L ; 301 ± 3,83 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 224 ± 4,26 mg/L ; 242 ± 5,68 mg/L). Les essais sont réalisés en semi-statique avec renouvellement de l'eau toutes les 24 heures dans des aquariums de 2 litres. Pour chaque stade de développement, deux essais sont réalisés en 5 concentrations (1 000, 2 000, 4 000, 6 000 et 8 000 µg/L) plus un témoin. Chaque concentration est testée avec 3 répliques. Un suivi analytique est effectué. Au cours des essais les concentrations mesurées en H₂S ne sont jamais inférieures à 88 % de la concentration nominale. Dans ces conditions, les CL₅₀ 48 et 96 heures sont respectivement de 4 250 et 2 570 µg/L d'H₂S lors du premier essai (animaux de 21 jours) et de 4 790 et 4 200 µg/L d'H₂S lors du second essai (animaux de 2 mois). Des mouvements erratiques des animaux sont observés plus ou moins rapidement en fonction des concentrations testées. Ce symptôme est lié à l'altération du système nerveux central par l'H₂S. À un pH plus élevé, une proportion plus importante d'H₂S est sous une forme ionisée et donc moins toxique.

Les essais sont relativement bien décrits. Les essais sont réalisés sur des stades juvéniles de plus de 24 heures. Un suivi analytique montrant la stabilité des concentrations est réalisé. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Kang et Matsuda (1994) exposent des crevettes mouchetées (*Metapenaeus monoceros*) à trois stades de développement différents (zoé, mysis et juvénile) au sulfure d'hydrogène durant 48 heures. Les essais sont réalisés en flux continu en eau de mer. Dans ces conditions, les CL₅₀ 48 heures sont de 9,44, 12,11 et 19,7 µg/L d'H₂S respectivement pour le stade zoé, mysis et juvénile.

L'article est écrit en japonais avec un résumé en anglais. La validité de ces résultats ne peut donc pas être établie. Les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Gopakumar et Kuttyamma (1996) exposent au sulfure d'hydrogène durant 96 heures des crevettes *Fenneropenaeus indicus* et *Metapenaeus dobsoni* de différentes tailles et à divers pH. Les animaux sont prélevés dans le milieu naturel et acclimatés aux conditions du laboratoire durant 2 semaines. Pour chaque essai, 2 ou 3 classes de tailles d'individus sont testées : 20 - 25 mm ; 35 - 40 mm et 85 - 90 mm. Les essais sont menés en flux dynamique et répétés deux fois. L'eau de mer artificielle utilisée a une salinité de 32 - 33 ‰ et une température de 28 - 29 °C. Trois gammes de pH sont testées : 6 - 6,3 ; 7 - 7,3 et 8,1 - 8,3. Un suivi analytique est réalisé et la concentration en H₂S est calculée à partir de la concentration en sulfure totale et du pH. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est comprise entre 63 et 342 µg/L d'H₂S pour *Fenneropenaeus indicus* et entre 77 et 378 µg/L d'H₂S pour *Metapenaeus dobsoni* en fonction de la taille des individus et du pH de l'eau.

Les essais sont peu décrits et de nombreuses informations sont manquantes (concentrations testées, taux de survie, méthode de stabilisation du pH...) malgré la réalisation d'un suivi analytique. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Dillon *et al.* (1993) exposent au sulfure d'hydrogène des vers marins *Neanthes arenaceodentata* juvéniles durant 96 heures. Les essais sont menés en semi-statique avec renouvellement journalier des animaux. L'eau de mer artificielle utilisée a une salinité de 30 ‰. Les essais sont réalisés dans des récipients de 1 litre contenant 800 mL de milieu à tester. Quatre concentrations mesurées en sulfure d'hydrogène sont testées (1 400, 3 400, 5 500 et 15 000 µg/L) et deux témoins aux concentrations en oxygène dissous de 6,5 et 1,5 mg/L avec 5 répliques par concentration. Dans chaque récipient, 5 individus âgés de 3 semaines sont introduits. Dans ces conditions, la survie des juvéniles n'est pas affectée jusqu'à une concentration en H₂S de 3 400 µg/L et est affectée (44 % de survie) à la concentration de 5 500 µg/L.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, la concentration en oxygène dissous est proche de celle induisant un effet négatif sur les vers dans les milieux où la concentration en H₂S induit un effet. L'effet de l'H₂S ne peut donc être dissocié de l'effet de la concentration en oxygène dissous. Les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Poissons

Chez les poissons, comme vis-à-vis des autres organismes, une disparité des résultats est observée. Pour les individus dulçaquicoles, les CL₅₀ 96 heures sont comprises entre 7 et 54 µg/L avec une moyenne géométrique de 24 µg/L. Pour les poissons marins, ces valeurs sont respectivement de 112,5, 3 570 et 522 µg/L.

L'apparente disparité des résultats obtenus entre les espèces dulçaquicoles et marines est expliquée notamment par les espèces étudiées. En effet, pour le sulfure d'hydrogène peu de données sont disponibles pour les espèces marines. De plus, ces données générées sur poissons d'eau chaude proviennent d'études destinées à connaître la tolérance de ces derniers au sulfure d'hydrogène pour l'aquaculture. Comme pour les invertébrés, la toxicité du sulfure d'hydrogène chez les poissons est principalement dépendante de l'espèce étudiée, du stade de développement et des conditions physico-chimiques du milieu. Ainsi, par exemple, la CL₅₀ 96 heures est de 17 et 7 µg/L respectivement pour des stades larvaires de *Catostomus commersoni* et *Sander vitreus*. De même, pour cette dernière espèce, la CL₅₀ 96 heures est de 7 et 66 µg/L respectivement pour le stade larve et oeuf. Enfin, vis-à-vis du *Pimephales promelas* au stade juvénile, la CL₅₀ 96 heures est de 775,6 µg/L et 24,3 µg/L respectivement à une température de 6,5°C et comprise entre 19,8 et 22°C.

Adelman et Smith (1970) exposent des brochets (*Esox lucius*) au sulfure d'hydrogène durant 96 heures aux stades œufs ou larves vésiculées à deux concentrations en oxygène dissous. L'eau utilisée est de l'eau de puits (dureté totale CaCO₃ 290-300 mg/L ; alcalinité 245 - 300 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique à un pH compris entre 7,5 et 7,76, une température de 13°C et une concentration en oxygène dissous de 2 mg/L ou de 6 mg/L. Pour chaque essai 5 concentrations comprises entre 4 et 86 µg/L d'H₂S et un témoin sont réalisés. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH et de la concentration en sulfure totale. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est :

- de 34 (moyenne 4 essais) et 37 µg/L d'H₂S (moyenne 3 essais) pour le stade œuf à une concentration en oxygène dissous de 2 et 6 mg/L respectivement,
- de 9 (moyenne 3 essais) et 26 µg/L d'H₂S (moyenne 3 essais) pour le stade larve vésiculée à une concentration en oxygène dissous de 2 et 6 mg/L respectivement.

Les essais sont relativement bien décrits et les résultats biologiques et physico-chimiques sont indiqués pour chaque concentration testée. Un suivi analytique est réalisé. Toutefois, seuls les résultats obtenus à une concentration en oxygène dissous d'environ 6 mg/L sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Reynolds et Haines (1980) ont exposé des larves de truite de mer (*Salmo trutta*) au stade sac vitellin au sulfure d'hydrogène durant 96 heures. Les larves au stade sac vitellin proviennent d'une éclosion privée. Les animaux sont acclimatés aux conditions du laboratoire durant

SULFURE D'HYDROGÈNE

7 jours avant le début des essais. Durant cette période, le taux de mortalité n'excède pas 2 %. L'eau utilisée est de l'eau du lac Ontario filtrée sur laine de verre et charbon actif et maintenue à température constante par une unité de réfrigération : $13 \pm 1^\circ\text{C}$; pH : $7,1 \pm 0,1$; oxygène dissous : $9,48 \pm 0,3$ mg/L ; dureté totale CaCO_3 : 127,2 mg/L ; alcalinité totale CaCO_3 : 84,5 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique dans des aquariums en verre de 3,8 litres. Deux essais sont réalisés en 5 concentrations (2, 3, 5, 7 et 13 $\mu\text{g/L}$) plus un témoin, sans réplique. Un suivi analytique est effectué. Au cours des essais les concentrations mesurées en H_2S ne dévient pas de plus de 2 % de la concentration nominale. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH mesuré et de la concentration totale en sulfure. Dans ces conditions, la CL_{50} 96 heures est de 7 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S .

Les essais sont relativement bien décrits. Un seul aquarium est utilisé par concentration, mais deux essais sont réalisés. Un suivi analytique montrant la stabilité des concentrations est réalisé. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Smith et Oseid (1972) exposent au sulfure d'hydrogène durant 96 heures trois espèces de poissons dulçaquicoles (*Sander vitreus*, *Catostomus commersonii*, *Oncorhynchus mykiss*) à partir du stade œuf ou larve, à des températures comprises entre 12 et 15°C et des concentrations en oxygène dissous comprises entre 3 et 6 mg/L. Les œufs proviennent d'écloseries. L'eau utilisée est une eau de puits filtrée sur charbon actif (dureté totale CaCO_3 : 210,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO_3 : 230,0 mg/L). Le CO_2 de l'eau est extrait et le pH est ajusté (7,6 - 8,0) par aération. De même la concentration en oxygène est ajustée (3, 4 ou 6 mg/L) après désoxygénation de l'eau. Les essais sont réalisés en flux dynamique. Chaque essai est réalisé entre 1 et 3 fois. La concentration en H_2S testée est comprise entre 13 et 87 $\mu\text{g/L}$ pour les essais sur les œufs, et entre 5 et 86 $\mu\text{g/L}$ pour les essais sur les larves plus un témoin. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir de la concentration en sulfure totale, de la température et du pH. Dans ces conditions, la CL_{50} 96 heures est :

- comprise entre 52 et 87 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S pour *Sander vitreus* au stade œuf en fonction de la température (12 ou 15°C) et de la concentration en oxygène dissous (3, 4 ou 6 mg/L),
- de 7 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S pour *Sander vitreus* au stade larvaire à la température de 15°C et à une concentration en oxygène dissous de 6 mg/L,
- de 28 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S pour *Catostomus commersonii* au stade œuf à la température de 15°C et à une concentration en oxygène dissous de 6 mg/L,
- comprise entre 13 et 26 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S pour *Catostomus commersonii* au stade larvaire en fonction de la température (12 ou 15°C) et de la concentration en oxygène dissous (3 ou 6 mg/L),
- de 49 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S pour *Oncorhynchus mykiss* au stade œuf à la température de 15°C et à une concentration en oxygène dissous de 6 mg/L.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Par ailleurs, lors de ces essais, il est montré qu'à des concentrations induisant une augmentation du taux de mortalité, l'H₂S induit des effets sur la croissance des individus ainsi que sur le pourcentage d'animaux malformés. Les effets induits augmentent avec la diminution de la concentration en oxygène dissous.

Les essais sont relativement bien décrits. Toutefois, dans la publication d'origine des données sont manquantes (taux de mortalité chez les témoins pas toujours indiqué, nombre de répliques, taux de mortalité avant les essais, concentrations en H₂S testées pas toujours indiquées). De plus, il n'est pas indiqué si un suivi analytique est réalisé. Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Smith et Oseid (1975) exposent au sulfure d'hydrogène durant 96 heures quatre espèces de poissons dulçaquicoles (*Carassius auratus*, *Lepomis macrochirus*, *Pimephales promelas*, *Salvelinus fontinalis*) à des stades de vie (œuf à adulte) et des températures (6,1 à 24°C) variés. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel ou proviennent d'élevages. L'eau utilisée est une eau de puits (dureté totale : CaCO₃ 210,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 230,0 mg/L). Le pH est ajusté pour obtenir les concentrations désirées en H₂S, à partir d'une solution de sulfure de sodium. Les essais sont réalisés en flux dynamique. Chaque essai est réalisé entre 1 et 21 fois. Quatre ou 5 concentrations en sulfure d'hydrogène suivant un pas logarithmique et un témoin sont testés, de façon à ce que le taux de survie soit de 100 % à la plus faible concentration testée et supérieur à 50 % à la plus forte concentration testée. Un suivi analytique est effectué 3 fois par jour. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est comprise entre :

- 21,6 et 30,8 µg/L d'H₂S pour *Salvelinus fontinalis* en fonction du stade de développement (larve endotrophe à juvénile) et de la température (8 à 12,5°C),
- 9 et 30,0 µg/L d'H₂S pour *Lepomis macrochirus* en fonction du stade de développement (œuf à adulte) et de la température (20 à 22°C),
- 7,1 et 515 µg/L d'H₂S pour *Pimephales promelas* en fonction du stade de développement (œuf à sub-adulte) et de la température (6,1 à 24°C), la toxicité la plus faible (515 µg/L) étant observée à la température la plus faible,
- 22 et 145 µg/L d'H₂S pour *Carassius auratus* en fonction du stade de développement (œuf à sub-adulte) et de la température (14,1 à 26,0°C), la toxicité la plus faible (145 µg/L) étant observée à la température la plus faible.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, dans la publication d'origine des données sont manquantes (taux de mortalité chez les témoins, nombre de répliques, condition d'élevage des animaux avant les essais, taux de mortalité avant les essais, la concentration en oxygène dissous n'est pas indiquée, mais dans un essai chronique des valeurs comprises entre 6,4 et 7,3 mg/L pour une température de 23°C sont indiquées). Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Oseid et Smith (1972) exposent des crapets arlequin (*Lepomis macrochirus*) juvéniles durant 96 heures au sulfure d'hydrogène. Les juvéniles proviennent du milieu naturel. Les animaux sont acclimatés et un traitement prophylactique leur est administré. L'eau utilisée est de l'eau de puits (dureté totale CaCO_3 : 220 mg/L ; alcalinité : 235 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique à un pH de $7,90 \pm 0,05$, une température de $20,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ et une concentration en oxygène dissous de $6,2 \pm 0,4$ mg/L. Les essais sont menés dans des chambres de 6 litres. Chaque essai se compose de 4 concentrations testées et un témoin. Chaque concentration est étudiée en 2 répliques (aquarium divisé en deux). Trois essais sont effectués. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH et de la concentration totale en sulfure totale. Dans ces conditions, la CL_{50} 96 heures est de 32,2 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S .

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, les concentrations testées et les résultats bruts ne sont pas mentionnés. Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Smith et al. (1976a) exposent des crapets arlequin (*Lepomis macrochirus*) durant 96 heures à différents stades de vie depuis le stade œuf jusqu'au stade adulte. Les œufs ont été obtenus au laboratoire. Les animaux géniteurs et les juvéniles proviennent du milieu naturel. Les animaux sont acclimatés et un traitement prophylactique leur est administré. L'eau utilisée est de l'eau de puits (dureté : CaCO_3 220 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique à un pH compris entre 7,8 et 8,0, une température comprise entre 19,8 et 21,9 $^\circ\text{C}$ et une concentration en oxygène comprise entre 5,8 et 6,4 mg/L. Les essais sont menés dans des chambres de 6 litres placées dans des aquariums de 36 litres ou dans des aquariums de 25 litres (essais sur juvéniles). Pour chaque essai, 5 concentrations et un témoin sont réalisés. L'essai sur œuf et un essai sur adulte sont menés avec dix concentrations et 2 témoins. Les essais sont réalisés entre 1 et 7 fois. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH et de la concentration en sulfure totale. Dans ces conditions, la CL_{50} est :

- de 19,0 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S pour le stade œuf après 72 heures d'exposition,
- supérieure à 43,5 et de 13,1 $\mu\text{g/L}$ d' H_2S après 96 heures d'exposition respectivement pour le stade larve vésiculée et le stade larve exotrophe,
- en moyenne de 47,8 et 44,8 $\mu\text{g/L}$ et 776,1 $\mu\text{g/L}$ après 96 heures d'exposition respectivement pour le stade juvénile (5 essais) et le stade adulte (7 essais).

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, les concentrations testées et les résultats bruts ne sont pas mentionnés. Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Smith *et al.* (1976b) ont exposé des poissons tête de boule (*Pimephales promelas*) durant 96 heures depuis le stade œuf jusqu'au stade juvénile. Les œufs ont été obtenus au laboratoire. Les animaux géniteurs et certains juvéniles proviennent du milieu naturel. Les animaux sont acclimatés et un traitement prophylactique leur est administré. L'eau utilisée est de l'eau de puits (pH : 7,5 ; dureté totale CaCO₃ : 220 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique dans des chambres de 3,2 litres placées dans des aquariums de 25 litres. Pour chaque essai, 5 concentrations et un témoin sont réalisés. Les essais sont réalisés entre 1 et 6 fois. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH, de la température mesurée et de la concentration en sulfure totale. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est :

- de 53,6 µg/L d'H₂S pour *Pimephales promelas* au stade œuf à une température comprise entre 23,8 et 24,2°C et une concentration en oxygène dissous comprise entre 5,6 et 6,0 mg/L.
- de 10,7 µg/L d'H₂S pour *Pimephales promelas* au stade larve exotrophe à une température de 24,0°C et une concentration en oxygène dissous comprise entre 5,4 et 6,2 mg/L.
- comprise entre 24,3 µg/L et 776,1 µg/L pour *Pimephales promelas* au stade juvénile en fonction de la température, comprise entre 6,5 et 25°C, et de l'origine des individus (sauvages ou de laboratoire).

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, les concentrations testées ne sont pas mentionnées. Malgré les manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Broderius *et al.* (1977) ont exposé des poissons tête de boule (*Pimephales promelas*) juvéniles durant 96 heures au sulfure d'hydrogène. Les juvéniles de 13 semaines environ proviennent de l'élevage du laboratoire. L'eau utilisée est de l'eau de puits (dureté totale CaCO₃ : 220 mg/L ; alcalinité : 235 mg/L en CaCO₃). Les essais sont réalisés en flux dynamique dans des chambres contenant 20 litres de milieu à tester à une température de 20°C et une concentration en oxygène dissous de 7,5 mg/L. Le pH du milieu est, en fonction de l'essai, compris entre 6,46 et 8,69. Pour chaque essai, 5 concentrations et un témoin sont réalisés en trois répliques. Un suivi analytique est effectué quotidiennement. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH, de la température mesurée et de la concentration en sulfure totale. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est comprise entre 14,9, 18,4 et 57,2 µg/L d'H₂S respectivement pour les pH de 8,69, 8,43 et 7,10.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, les concentrations testées ne sont pas mentionnées et le taux de mortalité des témoins n'est pas indiqué. Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides. De ce fait, les résultats obtenus dans une gamme de pH comprise entre 6,0 et 8,5 sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Bagarinao et Lantin-Olaguer (1998) ont exposé des chanos (*Chanos chanos*) et des tilapias (*Oreochromis mossambicus*) juvéniles durant 96 heures au sulfure d'hydrogène. Les animaux proviennent du milieu naturel. Les animaux sont acclimatés durant 1 à 2 semaines au laboratoire. L'eau utilisée est de l'eau de mer (pH : 8,0 - 8,5; température : 26 - 30°C ; oxygène dissous : 4 - 6 mg/L ; salinité : 28 - 35 ‰). Les essais sont réalisés en flux dynamique dans des aquariums de 25 litres. Pour chaque essai, 6 concentrations en sulfure d'hydrogène et 1 témoin sont réalisés en 3 répliques. Un et deux essais de 96 heures sont effectués respectivement sur *Chanos chanos* et *Oreochromis mossambicus*. Un suivi analytique est effectué. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est de 112,5 et 129,7 µg/L d'H₂S respectivement pour *Chanos chanos* et *Oreochromis mossambicus*.

Les essais sont relativement bien décrits. Les résultats sont donnés en temps de durée d'exposition nécessaire pour obtenir 50 et 100 % de mortalité. Un suivi analytique est réalisé. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Bagarinao et Vetter (1993) ont exposé des Killifish (*Fundulus parvipinnis*) juvéniles ou adultes durant 96 heures au sulfure d'hydrogène. Les animaux proviennent du milieu naturel. L'eau utilisée est de l'eau de mer (pH : 8,3 ; température : 14 - 18°C ; oxygène dissous : 50 à 80 % de la saturation). Dix concentrations en sulfure d'hydrogène et 1 témoin sont réalisés sans réplique. Dans ces conditions, la CL₅₀ 96 heures est de 14 321 ± 744 µ/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits. Les résultats sont donnés sous la forme d'un graphique. Toutefois, du fait de l'absence de réplique, l'incertitude sur le résultat est très importante. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Ip et al. (2004) ont exposé des mudskipper (*Boleophthalmus boddarti*) de 2 poids différents (11,6 - 14,2 g et 4,6 - 6,7 g) durant 96 heures au sulfure d'hydrogène. Les animaux proviennent du milieu naturel. L'eau utilisée est de l'eau de mer diluée à 50 % tamponnée à pH 7 avec 10 mM de tampon Tris (pH : 7; température : 25°C ; oxygène dissous : 8 mg/L ; salinité : 15 ‰). L'essai est réalisé en flux dynamique. Onze concentrations en sulfure (0,05 ; 0,07 ; 0,1 ; 0,12 ; 0,15 ; 0,20 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,9 et 1,2 mM) et 1 témoin sont réalisés sans réplique, mais l'essai est mené 3 fois. Un suivi analytique est réalisé. Dans ces conditions, en estimant qu'à un pH de 7, la concentration en H₂S est équivalente à 50 % de la concentration en sulfure total, la CL₅₀ 96 heures est de 7 958 et 1 602 µ/L d'H₂S respectivement pour les individus dont le poids est compris entre 11,6 et 14,2 g et entre 4,6 et 6,7 g.

Les essais sont relativement bien décrits. Un suivi analytique est réalisé, mais le pH est stabilisé avec un tampon tris, aucun témoin Tris n'est donné. Par ailleurs la concentration en H₂S est calculée en estimant que le pH est stable et de 7. Les résultats sont donnés en terme de CL₅₀, sans autre information. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Organismes du sédiment

Vis-à-vis des organismes du compartiment sédimentaire dulçaquicole et marin, la CL₅₀ 96 heures est comprise entre 165 µg/L (*Hexagenia limbata*) et plus de 3 400 µg/L (*Neanthes arenaceodentata*). Tout comme pour les autres organismes, la différence de toxicité observée entre milieu dulçaquicole et milieu marin est certainement attribuable majoritairement à des différences de sensibilité inter-spécifiques.

SULFURE D'HYDROGÈNE

4.1.2 Organismes terrestres

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (mg/kg)	Référence
Mammifères	<i>souris</i>	DL ₅₀ i.p.	17 mg/kg de poids corporel	Elovaara <i>et al.</i> , 1978 cités par IUCLID, 2000

Vis-à-vis des plantes terrestres, l'IUCLID (2000) décrit de nombreux essais effectués sur diverses plantes (oignon, haricot, épinard, laitue, betterave à sucre, radis, soja, pommier, poirier, fraisier, herbe, tomate, tabac, sarrasin ...). Dans ces essais, les plantes ont été exposées au sulfure d'hydrogène par voie atmosphérique, ils ne peuvent donc pas être retenus pour évaluer une PNEC sol. Les effets toxiques y apparaissent pour les plantes les plus sensibles (*i.e.* trèfle) à des concentrations d'environ 1,4 mg/m³ avec pour symptômes des décolorations et des nécroses. Au contraire, d'autres plantes paraissent beaucoup plus résistantes avec une absence d'effet à une concentration de 600 mg/m³ (*i.e.* pommier, cerisier, herbe, fraisier).

Vis-à-vis des oiseaux et des mammifères, aucune donnée de toxicité aiguë par voie orale n'a été répertoriée pour le sulfure d'hydrogène (IUCLID, 2000). Toutefois, Santé Canada (1987) indique que les DL₅₀ orales du sulfure de sodium sont de 205 et de 208 mg/kg pour la souris et le rat respectivement. Par voie intrapéritonéale, chez la souris la DL₅₀ du sulfure d'hydrogène est de 17 mg/kg de poids corporel (Elovaara *et al.*, 1978, cités par IUCLID, 2000). De plus Santé Canada (1987) mentionne que pour cette même voie d'exposition, la DL₅₀ du sulfure de sodium est comprise entre 40 et 50 mg/kg.

4.2 Paramètres d'écotoxicité chronique

4.2.1 Organismes aquatiques

En utilisant la moyenne géométrique des résultats lorsque plusieurs données sont disponibles pour une même espèce, l'étude des résultats montre qu'indépendamment de la qualité des données, la toxicité chronique du sulfure d'hydrogène vis-à-vis des organismes aquatiques testés est relativement homogène. Vis-à-vis des crustacés dulçaquicoles, la moyenne géométrique des NOECs est de 1,7 µg/L (*Gammarus pseudolimnaeus*). Une valeur relativement proche est observée pour les échinodermes marins (*Paracentrotus lividus*), pour lesquels la moyenne géométrique des NOECs est de 6,3 µg/L. De même, vis-à-vis des poissons

SULFURE D'HYDROGÈNE

dulçaquicoles, la moyenne géométrique des NOECs est de 4,6 µg/L. Les organismes du compartiment sédimentaires semblent moins sensibles. Pour ces organismes, les NOEC et LOEC sont comprises entre 15,2 et 1 210 µg/L. Tout comme observé lors des études de toxicité aiguë, la variabilité de la toxicité est liée principalement à des différences interspécifiques (épibenthique, endobenthique ou pélagique), les espèces endobenthiques étant certainement les espèces les plus tolérantes au sulfure d'hydrogène.

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
Crustacés dulçaquicoles	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	NOEC 95 jours Reproduction Flux dynamique 17,8°C	1,2	Smith et Oseid, 1975 Smith <i>et al.</i> , 1976c
	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	NOEC 65 jours Reproduction Flux dynamique 17,2°C	1,9	Smith et Oseid, 1975
	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	NOEC 65 - 105 jours Flux dynamique 17,1 à 18,2°C pH 7,60 - 7,86 O2 7,4 - 8,9 mg/L	2	Oseid et Smith, 1974a
Echinodermes marins	<i>Paracentrotus lividus</i>	NOEC 72 heures Embryo-larvaire Statique Milieu aérobie 18°C pH 8,32	6 ¹	Losso <i>et al.</i> , 2004
	<i>Paracentrotus lividus</i>	NOEC 60 minutes cellule spermatique Statique Milieu aérobie 18°C pH 8,32	6,6 (1)	Losso <i>et al.</i> , 2004
Poissons dulçaquicoles	<i>Carassius auratus</i>	NOEC 294 jours Survie, croissance Stade initial juvénile Flux dynamique 18,6°C	10	Smith et Oseid, 1975 Smith <i>et al.</i> , 1976c
	<i>Carassius auratus</i>	NOEC 294 jours Survie, croissance Stade initial adulte Flux dynamique 18,6°C	5	Smith et Oseid, 1975

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Carassius auratus</i>	NOEC 430 jours Survie, croissance Stade initial œuf Flux dynamique 21,5°C	7	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC 97 jours Croissance Stade initial adulte Flux dynamique 23,6°C	< 0,7	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC	0,4	Smith <i>et al.</i> , 1976c
	<i>Lepomis macrochirus</i>	LOEC 106 jours Irritation des branchies Juvénile 23,6 - 24,1°C pH 7,72 - 7,91 O ₂ 5,87 - 6,49	0,4	Oseid et Smith, 1972
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC 165 jours Survie, croissance Stade initial juvénile Flux dynamique 24,0°C	0,4	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	LOEC 97 jours Fécondité Adulte 20 - 25,8°C pH 7,6 - 8,0 O ₂ 6,3 - 9,0	1	Smith <i>et al.</i> , 1976a
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC 826 jours Survie, reproduction, Croissance Stade initial juvénile Flux dynamique 11,8°C	1,5	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC 126 - 148 jours Survie Juvénile 23,6 - 24,1°C pH 7,72 - 7,91 O ₂ 5,87 - 6,49	14,6	Oseid et Smith, 1972

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC 288 jours Croissance Stade initial adulte Flux dynamique 20,2 °C	2,6	Smith et Oseid, 1975
	<i>Lepomis macrochirus</i>	LOEC 316 jours Croissance Œuf 22,4 °C pH 7,6 - 8,0 O ₂ 6,3 - 9,0	3,1	Smith <i>et al.</i> , 1976a
	<i>Lepomis macrochirus</i>	NOEC 126 - 148 jours Croissance Juvénile 23,6 - 24,1 °C pH 7,72 - 7,91 O ₂ 5,87 - 6,49	6,7	Oseid et Smith, 1972
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 107 - 121 jours Croissance Juvénile sauvage 19,8 - 21,3 °C pH 7,7 - 7,9 O ₂ 6,6 8,3 mg/L	10,3 (2)	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 80-297 jours Survie Deux générations à partir du stade larve vésiculée 22,2 - 24,9 °C pH 7,7 - 7,9 O ₂ 6,1 7,4 mg/L	3,4 (3)	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 404 jours Survie, croissance, Reproduction Stade initial œuf (deux générations) Flux dynamique 24,0 °C	3,7	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 56 - 112 jours Croissance A partir du stade larve vésiculée ou juvénile 22,5 - 24,3 °C pH 7,7 - 7,8 O ₂ 6,2 7,4 mg/L	4,2 ⁴	Smith <i>et al.</i> , 1976b

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 112 jours Survie Stade initial juvénile Flux dynamique 20,0°C	4,7	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 84 jours Survie, croissance Stade initial œuf Flux dynamique 23,0°C	5,2	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 274 - 297 jours Fécondité A partir du stade larve vésiculée ou juvénile 22,5 - 24,3°C pH 7,7 - 7,8 O ₂ 6,2 7,4 mg/L	5,9 (4)	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 373 jours Survie, croissance Stade initial juvénile Flux dynamique 21,3°C	6,6	Smith et Oseid, 1975
	<i>Pimephales promelas</i>	NOEC 191 - 345 jours Survie Juvénile sauvage 19,8 - 21,3°C pH 7,7 - 7,9 O ₂ 6,6 8,3 mg/L	8,3 (2)	Smith <i>et al.</i> , 1976b
	<i>Salmo trutta</i>	LOEC 28 jours Croissance, longueur des lamelles branchiales Larve Dynamique	2	Reynolds et Haines, 1980
	<i>Salmo trutta</i>	NOEC 28 jours Survie Larve Dynamique	5	Reynolds et Haines, 1980
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	NOEC 45- 75 jours Reproduction Stade initial adulte Flux dynamique 12,9°C	5,5	Smith et Oseid, 1975

SULFURE D'HYDROGÈNE

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	NOEC 120 jours Croissance Stade initial alevin Flux dynamique 13,0°C	6,7	Smith et Oseid, 1975
Poissons marins	<i>Rhombus maeticus</i>	CL ₁₀₀ Embryo-larvaire	2 400 - 3 100	Ivanov <i>et al.</i> , 1976
Compartiment sédimentaire dulçaquicole	<i>Hexagenia limbata</i>	NOEC 138 jours Nymphe 17,5 - 18,0°C pH 7,8- 8,2 O ₂ 4,75 - 7,65	15,2	Oseid et Smith, 1975 ; Smith <i>et al.</i> , 1976c
Compartiment sédimentaire marin	<i>Lytechinus pictus</i>	LOEC Poids, production des gonades mâles	1 210	Thompson <i>et al.</i> , 1991

(1) Concentration en H₂S calculée en estimant qu'à pH 8,3 la concentration en H₂S est de 6 % de la concentration en sulfure.

(2) Moyenne sur 4 essais.

(3) Moyenne géométrique calculée sur 7 essais à partir des données de la publication.

(4) Moyenne sur 6 essais.

Algues

Aucune étude de la toxicité chronique du sulfure d'hydrogène vis-à-vis des algues n'a été répertoriée.

Invertébrés

Vis-à-vis des invertébrés dulçaquicoles ou marins, la NOEC survie-reproduction est comprise entre 1,2 µg/L (*Gammarus pseudolimnaeus*) et 6,0 µg/L (*Paracentrotus lividus*). Pour ce dernier organisme, Losso *et al.* (2004) montrent qu'un essai sur cellules spermatiques de 60 heures conduit à la détermination d'une NOEC similaire à celle obtenue sur le développement embryo-larvaire de l'organisme. Cette similarité des résultats est expliquée par le mode d'action du sulfure d'hydrogène. Pour la détermination de la PNEC, une seule donnée valide avec restriction (niveau de validité 2 selon la cotation de Klimisch *et al.*, 1997) est disponible pour les invertébrés, la NOEC retenue est donc de 2 µg/L (*Gammarus pseudolimnaeus*).

Smith et Oseid (1975) exposent des amphipodes (*Gammarus pseudolimnaeus*) adultes au sulfure d'hydrogène durant 65 à 95 jours. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. L'eau utilisée est une eau de puits (température : 17,2 à 17,8°C, dureté totale

SULFURE D'HYDROGÈNE

CaCO₃ : 210,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 230,0 mg/L). Le pH est ajusté à une valeur comprise entre 7,7 et 7,9 pour obtenir les concentrations désirées en H₂S, à partir d'une solution de sulfure de sodium. Les essais sont réalisés en flux dynamique. Deux essais sont réalisés, un de 65 jours et un de 95 jours. Pour chaque essai, 4 concentrations en sulfure d'hydrogène (0,7 ; 1,9 ; 3,1 et 12,8 pour l'essai de 65 jours et 1,2 ; 3,2 ; 6,4 et 15,3 pour l'essai de 95 jours) et un témoin sont testés. Un suivi analytique est effectué tous les 2 jours. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, et pour des gammes de concentrations comprises entre 0,7 et 15,3 µg/L d'H₂S, la NOEC est comprise entre 1,2 et 1,9 µg/L d'H₂S en utilisant la reproduction comme paramètre de mesure.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, dans la publication d'origine, des données sont manquantes (nombre de répliques, condition d'élevage des animaux avant les essais, taux de mortalité avant les essais, la concentration en oxygène dissous n'est pas indiquée mais dans un essai chronique des valeurs comprises entre 6,4 et 7,3 mg/L pour une température de 23°C sont indiquées). De plus dans l'essai de 95 jours, la NOEC annoncée de 1,2 µg/L ne semble pas en adéquation avec les données de la publication. Malgré ces manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction pour l'essai de 65 jours (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997) et non valides pour l'essai de 95 jours (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Oseid et Smith (1974a) exposent des amphipodes (*Gammarus pseudolimnaeus*) adultes au sulfure d'hydrogène durant 65 à 105 jours. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. L'eau utilisée est une eau de puits (température : 17,1 à 18,2°C, dureté totale CaCO₃ : 220,0 mg/L). Le pH est ajusté à une valeur comprise entre 7,60 et 7,86 et la concentration en O₂ est comprise entre 7,4 et 8,9 mg/L. Les essais sont réalisés en flux dynamique. Quatre essais sont réalisés. Deux essais de 65 jours, un de 95 jours et un de 105 jours. Pour chaque essai, 4 concentrations en sulfure d'hydrogène (comprises entre 0,7 et 19,2 µg/L d'H₂S) et un témoin sont testés. Un suivi analytique est effectué 3 fois par semaine. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, la NOEC est comprise entre 1,2 et 6,4 µg/L d'H₂S en utilisant la reproduction et la croissance comme paramètres de mesure. Les auteurs estiment que la NOEC est de 2 µg/L.

Les essais sont relativement bien décrits. L'ensemble des données biologiques et analytiques est indiqué. Les essais sont réalisés sans réplique, mais quatre essais sont réalisés avec des gammes de concentrations différentes. De ce fait, les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Losso *et al.* (2004) exposent des cellules spermatiques (60 minutes) ou des stades embryolairvaires (72 heures) d'oursin (*Paracentrotus lividus*) au sulfure d'hydrogène. Les géniteurs ont été prélevés dans l'environnement un mois avant l'induction des pontes. Les essais sont menés en statique dans de l'eau de mer artificielle (salinité 35 ‰), à une température de 18°C, un pH de 8,32 et en aérobiose. Les essais sont effectués à 4 concentrations en sulfure total (110 ; 360 ; 720 et 1 440 µg/L pour l'essai sur cellules spermatiques et 100 ; 330 ; 670 ; 1 330 µg/L pour l'essai sur les stades embryolairvaires, plus un témoin et avec 3 répliques par

SULFURE D'HYDROGÈNE

concentration. Dans ces conditions, les NOEC sont de 6,6 et 6 µg/L d'H₂S respectivement sur cellules spermatiques et sur les stades embryo-larvaires.

Les essais sont relativement bien décrits. Un essai permettant de vérifier la sensibilité sur réactif biologique est réalisé avec une substance de référence. Toutefois, les résultats des essais sont donnés en concentration nominale alors que les essais sont menés en statique et que le suivi analytique montre une diminution rapide de la concentration en sulfure. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Vertébrés

Vis-à-vis poissons dulçaquicoles, de nombreuses données de toxicité chronique du sulfure d'hydrogène sont disponibles. Pour ces organismes, les NOECs sont homogènes et comprises entre 0,4 (survie-croissance) et 14,6 µg/L (survie). Seul un essai sur les stades embryo-larvaires du poisson marin *Rhombus maeticus* conduit à des valeurs beaucoup plus élevées, avec une CL₁₀₀ comprise entre 2 400 et 3 100 µg/L. Pour la détermination de la PNEC, de nombreuses données valides avec restriction (niveau de validité 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997) sont disponibles. Il est proposé de retenir la valeur de 2,2 µg/L correspondant à la moyenne géométrique des NOECs obtenues sur le crapet arlequin (*Lepomis macrochirus*).

Reynolds et Haines (1980) ont exposé des larves de truite de mer (*Salmo trutta*) au stade sac vitellin au sulfure d'hydrogène durant 8 et 22 jours. Les larves au stade sac vitellin proviennent d'une éclosérie privée. Les animaux sont acclimatés aux conditions du laboratoire durant 7 jours avant le début des essais. Durant cette période, le taux de mortalité n'excède pas 2 %. L'eau utilisée est de l'eau du lac Ontario filtrée sur laine de verre et charbon actif et maintenue à température constante par une unité de réfrigération (température : 13 ± 1C ; pH : 7,1 ± 0,1 ; CaCO₃ : 84,5 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique dans des aquariums en verre de 3,8 litres. Deux essais sont réalisés en 5 concentrations (2, 3, 5, 7 et 13 µg/L) plus un témoin. Un suivi analytique est effectué. Au cours des essais, les concentrations mesurées en H₂S ne dévient pas de plus de 2 % de la concentration nominale. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH mesuré et de la concentration en sulfure totale. Dans ces conditions, la NOEC survie est de 5 µg/L d'H₂S. Le taux de survie et la croissance en longueur des larves augmentent aux concentrations en sulfure d'hydrogène comprises entre 2 et 5 µg/L par rapport aux témoins. Toutefois, dès la concentration de 2 µg/L (LOEC), la taille des lamelles branchiales est significativement diminuée.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique montrant la stabilité des concentrations est réalisé. Un seul aquarium est utilisé par concentration, mais deux essais sont réalisés. Les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

SULFURE D'HYDROGÈNE

Smith et Oseid (1975) exposent au sulfure d'hydrogène durant 45 à 826 jours quatre espèces de poissons dulçaquicoles (*Carassius auratus*, *Lepomis macrochirus*, *Pimephales promelas*, *Salvelinus fontinalis*) dès les stades initiaux de vie (œuf à adulte) et à des températures variées (11,8 - 24°C). Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel ou proviennent d'élevages. L : 230,0 mg/L). Le pH est ajusté pour obtenir les concentrations désirées en H₂S, à partir d'une solution de sulfure de sodium. Les essais sont réalisés en flux dynamique. Un suivi analytique est effectué tous les 2 jours. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Dans ces conditions, la NOEC est comprise entre :

- 5,5 et 6,7 µg/L d'H₂S pour *Salvelinus fontinalis* en fonction du stade de développement (alevin ou adulte) et du paramètre mesuré (reproduction ou croissance) pour des gammes de concentrations testées entre 1,5 et 14,2 µg/L,
- 0,4 et 2,6 µg/L d'H₂S pour *Lepomis macrochirus* en fonction du stade de développement (œuf à adulte), de la température (11,8 à 24,0°C) et du paramètre mesuré (survie, reproduction ou croissance) pour des gammes de concentrations testées entre 0,4 et 14,6 µg/L,
- 3,7 et 6,6 µg/L d'H₂S pour *Pimephales promelas* en fonction du stade de développement (œuf ou juvénile) et du paramètre mesuré (survie, reproduction ou croissance) pour des gammes de concentrations testées entre 0,4 et 19,4 µg/L,
- 5 et 10 µg/L d'H₂S pour *Carassius auratus* en fonction du stade de développement (œuf à adulte) pour des gammes de concentrations testées entre 2 et 25 µg/L,

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, la température de l'eau durant les essais est rarement en accord avec les recommandations pour chaque espèce de la ligne directrice OCDE 210, 1992. De plus dans la publication d'origine, des données sont manquantes (taux de mortalité chez les témoins pas indiqué systématiquement, nombre de répliques, condition d'élevage des animaux avant les essais, taux de mortalité avant les essais, gamme de concentrations testées, la concentration en oxygène dissous n'est pas indiquée mais dans un essai chronique des valeurs comprises entre 6,4 et 7,3 mg/L pour une température de 23 °C sont indiquées). Malgré les manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Oseid et Smith (1972) exposent au sulfure d'hydrogène des crapets arlequin (*Lepomis macrochirus*) juvéniles durant 126 à 148 jours. Les animaux proviennent du milieu naturel. Durant la période d'acclimatation de 14 jours, un traitement prophylactique leur est administré. L'eau utilisée est de l'eau de puits (dureté totale CaCO₃ : 220 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique à un pH compris entre 7,72 et 7,91, une température comprise entre 23,5 et 24,1°C et une concentration en oxygène comprise entre 5,87 et 6,66 mg/L. Les essais sont menés dans des aquariums de 26,7 litres divisés en deux parties. Quatre concentrations comprises entre 0,4 et 14,6 µg/L d'H₂S et un témoin sont réalisés. Dans la seconde partie de l'aquarium, la concentration en H₂S est inférieure à la première partie. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH, de la température et de la concentration totale en sulfure. Dans ces

SULFURE D'HYDROGÈNE

conditions, les NOEC survie et croissance sont respectivement de 14,6 et 6,7 µg/L d'H₂S. La LOEC irritation des branchies est de 0,4 µg/L. Dans ce même essai, il est montré que l'H₂S peut induire des modifications des capacités d'endurance de la nage dès la concentration de 0,4 µg/L d'H₂S.

Les essais sont relativement bien décrits et les résultats biologiques et physico-chimiques sont indiqués pour chaque concentration testée. Un suivi analytique est réalisé. De ce fait, les résultats sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klümisch et al., 1997).

Smith *et al.* (1976a) exposent au sulfure d'hydrogène des crapets arlequin (*Lepomis macrochirus*) durant 97 à 316 jours à différents stades de vie depuis le stade œuf jusqu'au stade adulte. Les œufs ont été obtenus au laboratoire. Les animaux géniteurs et les juvéniles proviennent du milieu naturel. Les animaux sont acclimatés et un traitement prophylactique leur est administré. L'eau utilisée est de l'eau de puits (dureté totale CaCO₃ : 220 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique à un pH compris entre 7,6 et 8,0, une température comprise entre 7,4 et 25,8°C en fonction de la saison et une concentration en oxygène comprise entre 6,3 et 9,0 mg/L. Les essais sont menés en fonction du test et du stade de développement dans des aquariums de 20 à 503 litres. Pour chaque essai, 3 à 4 concentrations comprises entre 1 et 14,9 µg/L d'H₂S et un témoin sont réalisés. Un suivi analytique est effectué. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH, de la température et de la concentration en sulfure totale. Compte tenu de la diversité des protocoles des essais réalisés, il est difficile de déterminer une NOEC. Toutefois, il peut être indiqué qu'en utilisant les paramètres de mortalité, croissance et fécondité, la toxicité de l'H₂S dépend du stade de développement lors du début de l'exposition. Ainsi, la LOEC croissance 316 jours, lorsque l'exposition débute au stade œuf est d'environ 3,1 µg/L d'H₂S, alors qu'une exposition à partir du stade adulte durant 97 jours à la concentration de 4,1 µg/L semble sans effet. Le paramètre de fécondité semble le plus sensible, avec une LOEC 97 jours de 1 µg/L. Dans ce cas, il est important de noter que l'échec de la fécondation est lié à des modifications comportementales, notamment à une diminution de l'activité.

Les essais sont relativement bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Toutefois, les concentrations testées et les résultats bruts ne sont pas mentionnés. De plus, compte tenu de la diversité des protocoles des essais réalisés, il est difficile de déterminer une NOEC. De ce fait, les résultats sont considérés comme non valides (niveau de validité : 3 selon la cotation de Klümisch et al., 1997).

Smith *et al.* (1976b) ont mené 12 essais chroniques sur des poissons tête de boule (*Pimephales promelas*). Les animaux sont exposés à partir du stade larve vésiculée ou juvénile durant 80 à 297 jours. Cette exposition comporte dans un cas deux générations. Les animaux proviennent d'un stock sauvage ou sont obtenus au laboratoire. Les animaux sauvages géniteurs ou juvéniles sont acclimatés aux conditions du laboratoire et un traitement prophylactique CaCO₃ : 220 mg/L). Les essais sont réalisés en flux dynamique dans des aquariums en verre divisés en deux (deux répliques) contenant 12,6 litres ou en aquarium de 20 litres divisés en

SULFURE D'HYDROGÈNE

trois (3 répliques) ou quatre (4 répliques) compartiments. Les essais débutent avec 10 ou 20 animaux par compartiment. Chaque essai est constitué d'un témoin et de 3 ou 4 concentrations testées. Un suivi analytique est effectué et les concentrations en H₂S sont indiquées en concentrations mesurées. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée à partir du pH, de la température et de la concentration en sulfure totale. Dans ces conditions :

- la NOEC survie 191 - 345 jours est de 8,3 µg/L (résultat non valide),
- la NOEC croissance 107 - 121 jours est de 10,3 µg/L (résultat non valide)
- la NOEC survie 80 - 297 jours est de 3,4 µg/L (résultat valide avec restriction),
- la NOEC croissance 56 - 112 jours est de 4,2 µg/L (résultat valide avec restriction),
- la NOEC fécondité 274 - 297 jours est de 5,9 µg/L (résultat valide avec restriction).

Les essais sont bien décrits et un suivi analytique est réalisé. Tous les résultats (survie, fécondité, croissance) sont indiqués pour chaque concentration testée. Un seul aquarium est utilisé par concentration, mais les essais sont répétés. Cependant, dans trois séries d'essais le taux de survie des témoins est faible (34 à 65 % en fin d'essai). Dans ces conditions, seuls les résultats provenant des essais dont les témoins ont un taux de survie > 90 % sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

Compartiment sédimentaire

Vis-à-vis des organismes du compartiment sédimentaire les NOEC et LOEC sont comprises entre 15,2 et 1 210 µg/L. Toutefois, seule une NOEC de validité 2 (selon la cotation de Klimisch et al., 1997) est disponible, permettant de retenir la valeur de 15,2 µg/L.

Oseid et Smith (1975) exposent des insectes (*Hexagenia limbata*) au stade nymphe au sulfure d'hydrogène durant 138 jours. Les animaux ont été capturés dans le milieu naturel. Ils sont maintenus au laboratoire dans les mêmes conditions que celles de l'essai. L'eau utilisée est une eau de puits (température 17,5 - 18,0°C ; dureté totale CaCO₃ : 210,0 mg/L ; alcalinité totale CaCO₃ : 230,0 mg/L ; pH : 7,8 - 8,2 ; O₂ : 4,75 - 7,65 mg/L). Deux essais sont réalisés sans réplique. Quatre concentrations en sulfure sont testées (1,1 ; 6,0 ; 15,2 et 34,8 µg/L pour le premier essai ; 4,2 ; 12,9 ; 29 et 76,2 µg/L pour le second essai) et un témoin. L'essai est réalisé en flux dynamique dans des aquariums de 25 litres dont le fond est couvert par 3 cm de sédiment naturel. Les animaux sont nourris avant l'essai mais pas durant ce dernier. Un suivi analytique est effectué 3 fois par semaine. La concentration en sulfure d'hydrogène non dissocié est calculée. Le taux de mortalité des nymphes et l'émergence des sub-imagos sont déterminés quotidiennement. Dans ces conditions, la NOEC 138 jours est de 15,2 µg/L d'H₂S.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Les essais sont relativement bien décrits, un suivi analytique est réalisé et les résultats de chaque concentration testée sont indiqués. L'essai est effectué sans réplique mais deux essais sont réalisés. Malgré les manques, les résultats en provenance de l'université du Minnesota sont considérés comme valides avec restriction (niveau de validité : 2 selon la cotation de Klimisch et al., 1997).

4.2.2 Organismes terrestres

Vis-à-vis des oiseaux et mammifères, aucune donnée valide de toxicité chronique par voie orale n'a été répertoriée pour le sulfure d'hydrogène (IUCLID, 2000).

5. VALEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES

5.1 Classification - Milieu de travail

France : Arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances chimiques complété jusqu'à la directive européenne 2004/73/CE de la Commission du 15 janvier 2009 portant la 31^{ème} adaptation au progrès technique de la directive 67/548/CEE.

Sulfure d'hydrogène (CAS : 7783-06-4)

Classification : F+, R12 - T+, R26 - N, R50

Indications de danger : F+, T+, N

Phrases de risque : R 12 - 26 - 50

Conseils de prudence : ½ - 9- 16 - 36 -38 -45 - 61

Limite de concentration : néant

Europe : Règlement (CE) N° 1272/2008 du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006.

Sulfure d'hydrogène (n°CAS : 7783-06-4)

Classification :

- code(s) des classes et catégories de danger : Gaz inflammables, catégorie 1 Gaz press., catégorie 1 - Toxicité aiguë, catégorie 2 - Danger pour le milieu aquatique : danger aigu, catégorie 1

SULFURE D'HYDROGÈNE

- codes (s) des mentions de danger : H220, H330, H400

5.2 Nomenclature Installations classées (IC)

France : Décret n° 53-578 du 20 mai 1953 modifié relatif à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement mise à jour par le Ministère de l'écologie et du développement durable « Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement » (2002).

La liste des rubriques mentionnées est indicative et ne se veut pas exhaustive.

5.3 Valeurs utilisées en milieu de travail

France : Aide mémoire technique INRS ED 984 "Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France" (INRS, 2006a) et Note documentaire ND 2245-202-06 "Indices biologiques d'exposition" (INRS, 2008).

- Air : VME : 5 ppm (7 mg/m³)
VLE : 10 ppm (14 mg/m³)
- Indices biologiques d'exposition : non déterminé.

5.4 Valeurs utilisées pour la population générale

5.4.1 Qualité des eaux de consommation

France : Décret n° 2001 - 1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles (JORF, 2001).

Non concerné.

UE : Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (JOCE, 1998).

Non concerné.

OMS : Directives de qualité pour l'eau de boisson (2006)

Non concerné.

SULFURE D'HYDROGÈNE

5.4.2 Qualité de l'air

France :

- Décret n° 2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites (JORF, 2002).

Non concerné.

- Décret n° 2003-1085 du 12 novembre 2003 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites (JORF, 2003).

Non concerné.

UE :

- Directive 1999/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant (JOCE, 1999).

Non concerné.

- Directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant (JOCE, 2000).

Non concerné.

- Directive 2002/3/CE du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant (JOCE, 2002).

Non concerné.

- Directive 2004/107/CE du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques dans l'air ambiant (JOCE, 2005).

Non concerné.

OMS : Directives de qualité pour l'air (2000)

Valeur guide : $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une période d'exposition de 30 minutes. Le seuil de détection est de $0,2$ à $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

SULFURE D'HYDROGÈNE

5.4.3 Valeurs moyennes dans les milieux biologiques

Milieux Biologiques	Valeurs de référence
Sang	Non déterminé
Urine	Non déterminé
Cheveux	Non déterminé
Placenta	Non déterminé

5.5 Concentrations sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC). Propositions de l'INERIS

5.5.1 Compartiment aquatique

Sur l'ensemble des résultats de toxicité chronique répertoriés, la toxicité du sulfure d'hydrogène semble similaire pour les invertébrés et les poissons. Les organismes de l'endobenthos ou vivant dans des eaux hypoxiques semblent plus tolérants au sulfure d'hydrogène. De nombreuses études de toxicité chronique peuvent être considérées comme valides notamment du fait de l'instabilité du sulfure d'hydrogène dans l'eau, qui a rendu nécessaire l'utilisation de flux dynamiques avec suivi analytique des concentrations. Toutefois, aucune donnée chronique sur algues n'a été répertoriée.

Dans ce cas, pour le calcul de la PNEC il est proposé de retenir les NOEC de 2,0 et 2,2 µg/L obtenues respectivement sur le crustacé dulçaquicole *Gammarus pseudolimnaeus* et le poisson *Lepomis macrochirus*. Pour ce dernier organisme, la NOEC correspond à la moyenne géométrique des NOECs obtenues pour cette espèce. Ces deux NOEC ont été obtenues sur des espèces représentant deux niveaux trophiques et ayant démontré leur sensibilité dans les essais de toxicité aiguë.

En s'appuyant sur la méthodologie européenne recommandée par le TGD, il est donc possible de déterminer une PNEC pour les organismes aquatiques.

Eau douce

Vis-à-vis des organismes aquatiques, un facteur de 50 est appliqué sur la NOEC la plus faible. La PNEC proposée est donc de 2,0/50 (µg/L), soit :

$$PNEC_{\text{eau-douce}} = 0,04 \text{ } \mu\text{g/L} \text{ soit } 40 \text{ ng/L}$$

SULFURE D'HYDROGÈNE

Eau marine :

Pour prendre en compte la plus grande biodiversité du milieu marin, un facteur de 500 est appliqué à la NOEC la plus faible. La PNEC proposée est donc de 2,0/500 (µg/L), soit :

$$\text{PNEC}_{\text{eau-marine}} = 0,004 \text{ } \mu\text{g/L} \text{ soit } 4 \text{ ng/L}$$

SULFURE D'HYDROGÈNE

5.5.2 Compartiment sédimentaire

Un essai de chronique valide sur des organismes du compartiment sédimentaire est disponible et conduit à une NOEC 138 jours de 15,2 µg/L.

Dans ce cas, en accord avec le TGD, il est possible de déterminer une PNEC pour le compartiment sédimentaire en appliquant un facteur de 100 sur la NOEC observée. La PNEC proposée est donc de 15,2/100 (µg/L), soit :

$$PNEC_{sed} = 0,152 \text{ µg/L soit } 152 \text{ ng/L}$$

5.5.3 Compartiment sol

Une PNEC pour le compartiment sol peut être déterminée en utilisant la méthode du coefficient de partage selon le TGD.

$$PNEC_{sol} = K_{sol-eau}/RHO_{sol} \times PNEC_{eau} \times 1\,000$$

$$RHO_{sol} = \text{Densité du sol (humide) (valeur par défaut : } 1\,700 \text{ kg/m}^3\text{)}$$

$$K_{sol-eau} = \text{Coefficient de partage sol eau (0,33 m}^3\text{/m}^3\text{)}$$

$$= Fair_{sol} \times K_{air-eau} + Feau_{sol} + Fsolid_{sol} \times (Kp_{sol} / 1\,000) \times RHO_{solid}$$

$$K_{air-eau} : \text{Coefficient de partage entre l'air et l'eau (0,198)}$$

$$Fair_{sol} : \text{Fraction d'air dans le sol (défaut : } 0,2 \text{ m}^3\text{/m}^3\text{)}$$

$$Feau_{sol} : \text{Fraction d'eau dans le sol (défaut : } 0,2 \text{ m}^3\text{/m}^3\text{)}$$

$$Fsolid_{sol} : \text{Fraction solide dans le sol (défaut : } 0,6 \text{ m}^3\text{/m}^3\text{)}$$

$$Kp_{sol} : \text{Coefficient de partage eau-sol (0,06 L/kg)}$$

$$RHO_{solid} : \text{Densité de la phase solide (défaut : } 2,5 \text{ kg/L)}$$

D'où :

$$PNEC_{sol} = 0,393 \text{ µg/kg sol humide} = 0,445 \text{ µg/kg sol sec}$$

SULFURE D'HYDROGÈNE

D'où :

$$PNEC_{SOL} = 0,445 \mu\text{g/kg sol sec}$$

5.5.4 Compartiment terrestre

Aucune donnée de toxicité aiguë ou chronique valide du sulfure d'hydrogène sur les oiseaux ou mammifères n'a été répertoriée, une PNEC ne peut donc pas être dérivée.

6. MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE QUANTIFICATION DANS L'ENVIRONNEMENT

6.1 Familles de substances

6.2 Principes généraux

6.2.1 Eau

Compartiment non pertinent pour la recherche de H₂S.

6.2.2 Air

Prélèvement

La quantification du sulfure d'hydrogène peut avoir différents objectifs : évaluation des risques poste de travail, évaluation des risques sanitaires et impact olfactif de ce polluant. Les teneurs recherchées vont donc du $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au mg/m^3 . Notons également que, dans le domaine des odeurs, une information fine et continue est plus intéressante qu'une mesure cumulée sur plusieurs heures (étude en poste de travail) voire plusieurs jours (évaluation du risque sanitaire). Il existe actuellement de nombreuses méthodes permettant le dosage des composés soufrés réduits totaux, cependant en fonction des sites industriels étudiés, des méthodes spécifiques doivent être privilégiées pour permettre une quantification ciblée du sulfure d'hydrogène. En effet, par exemple en épuration des eaux usées, de nombreux composés soufrés sont émis sur toute la filière de traitement : sulfure d'hydrogène, mercaptans, sulfures, dioxyde de soufre.

Quatre méthodes différentes de prélèvements peuvent être utilisées :

SULFURE D'HYDROGÈNE

- Prélèvement par barbotage

L'échantillonnage actif par absorption peut être réalisé dans une solution d'acétate de cadmium pour former un précipité, de sulfure de cadmium.

Les durées de prélèvement dépendent en premier lieu du seuil de quantification analytique à atteindre et seront réglées en fonction des concentrations des solutions d'absorption, des volumes de ces solutions dans les barboteurs.

- Prélèvement sur tampon imprégné

L'échantillonnage actif est réalisé sur un support (tampon de cellulose) imprégné d'acétate de cadmium. Le sulfure d'hydrogène est alors transformé en sulfure de cadmium.

Les débits de prélèvements préconisés, qui dépendent de la durée du prélèvement ainsi que des comparaisons recherchées, sont indiqués dans le tableau suivant :

Temps de prélèvement	Comparaison à la VME (L/min)	Comparaison à la VLE (L/min ¹)
15 minutes	/	Entre 0,1 et 1
2 heures	≤ 0,2	/
4 heures	≤ 0,1	/
Entre 4 et 8 heures	≤ 0,05	/

- Prélèvement sur tube

L'échantillonnage actif est réalisé par adsorption sur charbon actif. Les débits de prélèvements préconisés sont de 0,1 à 1,5 L/min¹ (0,2 L/min¹ étant recommandé) et les volumes de prélèvements sont de 1,2 L minimum à 40 L au maximum.

- Echantillonnage actif sans concentration

Les prélèvements sont alors réalisés en sacs en matériaux inertes (Tedlar®,...) ou en ampoules de verre.

Extraction

- Prélèvement sur tampon imprégné

La désorption des supports imprégnés se fait par percolation d'une solution de dichlorhydrate de N,N-diméthyl-1,4-phénylènediamine en milieu acide en présence de chlorure ferrique. Ceci conduit à la formation de bleu de méthylène.

SULFURE D'HYDROGÈNE

- Prélèvement sur tube

La désorption des filtres en charbon actif (fibre de noix de coco) se fait, quant à elle, par oxydation du sulfure d'hydrogène en ions sulfates, grâce à une solution contenant de l'hydroxyde d'ammonium et du peroxyde d'hydrogène.

Dosage

- Prélèvement par barbotage dans le chlorure mercurique

L'analyse sera réalisée par gravimétrie après filtration sur fibre de verre du précipité formé lors du prélèvement.

- Prélèvement sur tampon imprégné et autres prélèvements par barbotage

Le dosage des composés soufrés est déterminé à partir de la mesure, par spectrophotométrie dans le visible, de l'intensité de l'absorption du bleu de méthylène formé lors de l'extraction ($\lambda = 670 \text{ nm}$).

- Prélèvement sur tube

Les ions sulfates, formés après oxydation du sulfure d'hydrogène, sont dosés par chromatographie ionique avec une détection conductimétrique.

- Prélèvement sans concentration

L'analyse des effluents gazeux piégés sans concentration sera réalisée par chromatographie gazeuse couplée à un détecteur à photométrie de flamme ou à un détecteur électrochimique.

6.2.3 Sols

Compartiment non pertinent pour la recherche de H_2S .

6.2.4 Autres compartiments

Non concerné.

6.3 Principales méthodes

6.3.1 Présentation des méthodes

A) Métropol fiche 014 - Sulfure d'hydrogène ; Mise à jour 17/03/04.

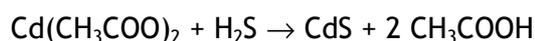
Domaine d'application

Cette méthode permet le dosage du sulfure d'hydrogène dans les atmosphères de travail. Les méthodes métropol sont validées pour des domaines de concentrations variant de 10 % de la VME à 200 % de la VME.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Principes

L'acétate de cadmium qui imprègne les supports de prélèvement, transforme le sulfure d'hydrogène en sulfure de cadmium suivant la réaction :



La désorption du support, en présence de réactifs (solution de dichlorhydrate de N,N-diméthyl-1,4-phénylènediamine en milieu acide en présence de chlorure ferrique) conduit à la formation de bleu de méthylène dont l'intensité de la coloration est mesurée par spectrophotométrie.

Pour la comparaison à la VME, un volume de prélèvement de 12 L est recommandé et pour la comparaison à la VLE, un prélèvement de 15 minutes maximum est préconisé.

Interférences

Des interférences sont possibles avec d'autres sulfures.

B) NIOSH méthode 6013 - Hydrogen sulfide : 8/15/94.

Domaine d'application

Cette méthode permet le dosage du sulfure d'hydrogène dans des gammes de concentrations allant de 0,6 à 14 ppm (0,9 à 20 mg/m³).

Principes :

La méthode consiste en :

- un prélèvement sur un tube contenant deux plages (400 mg/200 mg) de charbon actif (fibres de noix de coco - 20/40 mesh),
- suivi d'une oxydation du sulfure d'hydrogène en ions sulfates par ajout d'une solution contenant de l'hydroxyde d'ammonium et du peroxyde d'hydrogène,
- puis d'une analyse par chromatographie ionique et conductimétrie.

Interférences

Le SO₂ est un interférent positif dans le dosage de sulfure d'hydrogène. Pas d'interférence avec les mercaptans.

6.3.2 Autres méthodes

A) Analyses en ligne

Des mesures en ligne et en direct permettent de suivre en continu l'évolution de teneurs à des seuils de quantification compris entre 10 et 50 µg/m³. Citons notamment les méthodes

SULFURE D'HYDROGÈNE

chromatographiques, qui permettent de surcroît une analyse spécifique de l'H₂S. Elles peuvent être associées à des détections par photométrie de flamme ou par électrochimie.

B) Analyses en différé suite à un échantillonnage actif par absorption

L'absorption en solution mercurique conduit à un précipité de sulfure mercurique qui après filtration sur fibre de verre est analysé par gravimétrie. Cette méthode n'est pas spécifique au sulfure d'hydrogène, mais le résultat est souvent exprimé en équivalent H₂S. Les mercaptans sont des interférents de cette méthode.

6.3.3 Tableau de synthèse

	Air	Eaux	Sols	Autres compartiments
Prélèvement et pré-traitement	A, B	NC	NC	NC
Extraction	A, B	NC	NC	NC
Dosage	A, B	NC	NC	NC

NC = non concerné car le compartiment eau n'est pas pertinent pour la recherche de H₂S malgré une solubilité de 4g/L

SULFURE D'HYDROGÈNE

7. BIBLIOGRAPHIE

Adelman I.R. and Smith L.L., Jr. (1970) - Effect of Hydrogen Sulfide on Northern Pike Eggs and Sac Fry. *Trans Amer Fish Soc*, **99**, 3, 501-509.

Adelman I.R. and Smith L.L., Jr. (1972) - Toxicity of hydrogen sulfide to goldfish (*Carassius auratus*) as influenced by temperature, oxygen and bioassay techniques. *J Fish Res Board Can*, **29**, 1309-1317.

Adelson L. and Sunshine I. (1966) - Fatal hydrogen sulfide intoxication: report of three cases occurring in a sewer. *Arch Pathol*, **81**, 375-380.

Administration Nationale des USA pour le contrôle de la pollution de l'air - cité par OMS IPCS (1981).

Ammann H.M. (1986) - A new look at physiologic respiratory response to hydrogen sulfide poisoning. *J Hazard Mater*, **13**, 369-374.

Allyn L.B. (1931) - Notes on hydrogen sulfide poisoning. *Ind Eng Chem*, **23**, 234.

Amoore J. (1985) - The perception of hydrogen sulfide odor in relation to setting an ambient standard. Olfacto-Labs, Berkeley, CA: prepared for the California Air Resources Board.

ATSDR (2006) - Toxicological profiles for hydrogen sulfide. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: US department of Health and Human Services, Public Health Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>

Baars A.J., Theelen R.M.C., Janssen P.J.C.M., Hesse J.M., van Apeldoorn M.E., Meijerink M.C.M., Verdam L. and Zeilmaker M.J. (2001) - Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM, Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. Report 711 701 025.

Bagarinao T. and Lantin-Olaguer I. (1998) - The sulfide tolerance of milkfish and tilapia in relation to fish kills in farms and natural waters in the Philippines *Hydrobiologia*, **382**, 1-3, 137-150.

Bagarinao T. and Vetter R.D. (1993) - Sulphide tolerance and adaptation in the California killifish, *Fundulus parvipinnis*, a salt marsh resident. *J Fish Biol*, **42**, 5, 729-748.

Bates M., Garrett N., Graham B. and Read D. (1997) - Air pollution and mortality in the Rotorua Geothermal area. *Aus N Z J Public Health*, **21**, 581-586.

Bates M., Garrett N. Graham B. and Read D. (1998) - Cancer incidence, morbidity and geothermal air pollution in Rotorua, New Zealand. *Int J Epidemiol*, **27**, 10-14.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Bates M., Garrett N. and Shoemack P. (2002) - Investigation of health effects of hydrogen sulfide from a geothermal source. *Arch Environ Health*, **57**,5, 405-411.

Beauchamp R., Bus J., Popp J.A., Boreiko C.T. and Andjekovich D.A. (1984) - A critical review of the literature on hydrogen sulfide toxicity. *Crit Rev Toxicol*, **13**, 25-97.

Beck J., Cormier F. and Donini J. (1979) - The combined toxicity of ethanol and hydrogen sulfide. *Toxicol Lett*, **3**, 311-313.

Bhambhani Y. and Singh M. (1991) - Physiological effects of hydrogen sulfide inhalation during exercise in healthy men. *J Appl Physiol*, **71**, 1872-1877.

Bhambhani Y., Burnham R., Snyder G., Maclean I. and Martin T. (1994) - Comparative physiological responses of exercising men and women to 5 ppm hydrogen sulfide exposure. *Am Ind Hyg Assoc J*, **55**, 1030-1035.

Bhambhani Y., Burnham R., Snyder G., Maclean I. and Lovlin R. (1996a) - Effects of 10 ppm hydrogen sulfide inhalation on pulmonary function in health men and women. *J Occup Environ Med*, **38**, 1012-1017.

Bhambhani Y., Burnham R., Snyder G., Maclean I., and Martin T. (1996b) - Effects of 5-ppm hydrogen sulfide inhalation on biochemical properties of skeletal muscle in exercising men and women. *Am Ind Hyg Assoc J*, **57**, 464-468.

Bhambhani Y., Burnham R., Snyder G. and G. Maclean I. (1997) - Effects of 10-ppm hydrogen sulfide inhalation in exercising men and women. *J Occup Environ Med*, **39**, 122-129.

Bottenheim J.W. and Strausz O. (1980) - Gas phase chemistry of clean air at 55° N latitude. *Environ Sci Technol*, **14**, 709-718.

Bowyer J. (2003) - Residence time for hydrogen sulfide in the atmosphere literature search results. North Carolina Division of Air Quality Raleigh, NC. http://daq.state.nc.us/cgi-bin/parsePdf1.cgi?file=/toxics/studies/H2S/H2S_Ambient_Air.pdf

Brenneman K., James R. and Gross E., and Dorman D.C. (2000) - Olfactory neuron loss in adult male CD rats following subchronic inhalation exposure to hydrogen sulfide. *Toxicol Pathol*, **28**, 2, 326-333.

Breteler R.J., Buhl R.L. and Maki A.W. (1991) - The Effect of dissolved hydrogen sulfide and carbone dioxide on short-term photosynthesis of *Skeletonema costatum*, a marine diatom. *ASTM Spec Tech Pub*, **1115**, 118-125.

Breyse P. (1961) - Hydrogen sulfide fatality in a poultry feather fertilizer plant. *Am Ind Hyg Assoc J*, **22**, 220-222.

Broderius S.J. and Smith L.L., Jr. (1976) - Effect of hydrogen sulfide on fish and invertebrates. Part II. Hydrogen sulfide determination and relationship between pH and sulfide toxicity. Final report Aug 72, Mar 75, p 120.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Broderius S.J. and Smith L.L., Jr. (1977) - Direct determination and calculation of aqueous hydrogen sulfide. *Anal Chem Symp Series*, 49, 424-428.

Broderius S.J., Smith L.L., Jr. and Lind D.T. (1977) - Relative toxicity of free cyanide and dissolved sulfide forms to the fathead minnow (*Pimephale promelas*). *J Fish Res Board Can*, 34, 12, 2323-2332.

Butterworth K.G., Grieshaber M.K. and Taylor A.C. (2004) - Behavioural and physiological responses of the Norway lobster, *Nephrops norvegicus* (*Crustacea: Decapoda*), to sulphide exposure. *Mar Biol (Berlin)*, 144, 6, 1087-1095.

California State departement of Public Health (1969) - Recommended Ambient Air Quality Standards. Report HS-3.

Campanya M., Sanz P. Reig R., Noque S., Obiols J., Freixa A. and Corbella J. (1989) - Fatal hydrogen sulfide poisoning. *Med Lav*, 80, 251-253.

CARB (1984) - California Air Resources Board. Report of the Committee regarding the review of the AAQS for hydrogen sulfide. Memorandum to G. Duffy. http://www.oehha.ca.gov/air/acute_rels/pdf/7783064A.pdf

Carroll J.J. and Mather A.E. (1989) - The solubility of hydrogen sulfide in water from 0 to 90 °C and pressure to 1 mPa. *Geochim Cosmochim Acta*, 6, 1163-1170.

CCOHS (2007) - Hydrogen Sulfide. Canadian Center for Occupational Health Safety. <http://www.intox.org/databank/documents/chemical/hydrosul/cie313.htm>

CIIT (1983a) - 90-day vapor inhalation toxicity study of hydrogen sulfide in B6C3F1 mice. Chemical Industry Institute of Toxicology. Research Triangle Park, NC. 42063.

CIIT (1983b) - 90-day vapor inhalation toxicity study of hydrogen sulfide in Fischer 344. Chemical Industry Institute of Toxicology. Research Triangle Park, NC. 22063.

CIIT (1983c) - 90-day vapor inhalation toxicity study of hydrogen sulfide in Sprague Dawley rats. Chemical Industry Institute of Toxicology. Research Triangle Park, NC. 32063.

Deng J.F. and Chang S.C. (1987) - Hydrogen sulfide poisonings in hot-spring reservoir cleaning: two case reports. *Am J Ind Med*, 11, 447-451.

Dillon T.M., Moore D.W. and Gibson A.B. (1993) - Development of a chronic sublethal bioassay for evaluating contaminated sediment with the marine polychaete worm *Nereis (Neanthes) arenaceodentata*. *Environ Toxicol Chem*, 12, 3, 589-605.

Dombkowski R.A., Russell M.J. and Olson K.R. (2004) - Hydrogen sulfide as an endogenous regulator of vascular smooth muscle tone in trout. *Am J Physiol*, 286, 678-685.

Dombkowski R.A., Russell M.J., Schulman A.A., Doellman M.M. and Olson K.R. (2005) - Vertebrate phylogeny of hydrogen sulfide vasoactivity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 288, 243-252.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Dorman D.C., Brenneman K.A., Struve M.F., Miller K.L., James R.A., Marshall M.W., and Foster P.M.D. (2000) - Fertility and developmental neurotoxicity effects of inhaled hydrogen sulfide in Sprague Dawley rats. *Neurotoxicol Teratol*, **22**, 71-84.

Dorman D.C., Struve M.F., Gross E.A. and Brenneman K.A. (2004) - Respiratory tract toxicity of inhaled hydrogen sulfide in Fischer-344 rats, Sprague-Dawley rats, and B6C3F1 mice following subchronic (90-day) exposure. *Toxicol Appl Pharmacol*, **198**, 29-39.

Elovaara E., Tossavainen A. and Savolainen H. (1978) - Effects of subclinical hydrogen sulfide intoxication on mouse brain protein metabolism. *Exp Neurol*, **62**, 1, 93-98.

Freireich A. (1946) - Hydrogen sulfide poisoning: report of two cases, one with fatal outcome, from associated mechanical asphyxia. *Am J Pathol*, **22**, 1:147-155.

Futura Sciences (2004) - Nuages de sulfure d'hydrogène dans les eaux océaniques de Namibie. http://www.futurasciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/oceanographie-1/d/nuages-de-sulfure-hydrogene-dans-les-eaux-oceaniques-de-namibie_3178/

Gagnaire F., Simon P., Bonnet P. and de Ceaurriz J. (1986) - The influence of simultaneous exposure to carbon disulfide and hydrogen sulfide on the peripheral nerve toxicity and metabolism of carbon disulfide in rats. *Toxicol Lett*, **34**, 175-183.

Gainey L.F., Jr. and Greenberg M.J. (2005) - Hydrogen sulfide is synthesized in the gills of the clam *Mercenaria mercenaria* and acts seasonally to modulate branchial muscle contraction. *Biol Bull*, **209**, 1, 11-20.

Gerling and Holz (2006) - Hydrogen Sulfide. GHC Gerling, Holz and Co Handels GmbH.

Gopakumar G. and Kuttyamma V.J. (1996) - Effect of hydrogen sulphide on two species of penaeid prawns *Penaeus indicus* (H. Milne Edwards) and *Metapenaeus dobsoni* (Miers). *Bull Environ Contam Toxicol*, **57**, 5, 824-828.

Guide de la Chimie (2006) - Hydrogène sulfuré, p 693

Haahtela T., Marttila O., Vilkkä V., Marttila O., Vilkkä V., Jäppinen P., and Jaakkola J.J. (1992) - The South Karelia air pollution study: acute health effects of malodorous sulfur air pollutants released by a pulp mill. *Am J Public Health*, **82**, 603-605.

Hagley S. and South D. (1983) - Fatal inhalation of liquid manure gas. *Med J Aust*, **2**, 459-460.

Hannah R.S. and Roth S.H. (1991) - Chronic exposure to low concentrations of hydrogen sulfide produces abnormal growth in developing Purkinje cells. *Neurosci Lett*, **122**, 225-228.

Hayden L.J., Goeden H. and Roth S.H. (1990a) - Exposure to low levels of hydrogen sulfide elevates circulating glucose in maternal rats. *J Toxicol Environ Health*, **31**, 45-52.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Hayden L.J., Goeden H. and Roth S.H. (1990b) - Growth and development in the rat during sub-chronic exposure to low levels of hydrogen sulfide. *Toxicol Ind Health*, **6**, 389-401.

Hemminki K. and Niemi M.L. (1982) - Community study of spontaneous abortions: relation to occupation and air pollution by sulfur dioxide, hydrogen sulfide, and carbon disulfide. *Int Arch Occup Environ Health*, **51**, 55-63.

Hessel P.A., Herbert F.A., Melenka L.S., Yoshidak K., Nakaza M. (1997) - Lung health in relation to hydrogen sulfide exposure in oil and gas workers in Alberta, Canada. *Am J Ind Med*, **31**, 5, 554-557.

HSDB (2005) - Hydrogen Sulfide. Hazardous Substances Data Bank, National Library of Medicine. <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>.

Hughes T.J., Sparacino C. and Frazier S. (1984) - Validation of chemical and biological techniques for evaluation of vapors in ambient air testing of twelve (12) vapor-phase compounds (project summary). Research Triangle Park, NC : Environmental Protection Agency, Health Effects Research Laboratory 3. EPA 6001.

Imamura I., Kage S. Kudo K., Jitsufuchi N. and Nagata T. (1996) - A case of drowning linked to ingested sulfides - A report with animal experiments. *Int J Legal Med*, **109**, 42-44.

INERIS (2000) - Seuils de toxicité aiguë. Hydrogène sulfuré (H₂S). Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. <http://www.ineris.fr>

INRS (1997) - Fiche toxicologique n°32 - Fiche sulfure d'hydrogène. Institut National de Recherche et de Sécurité. <http://www.inrs.fr>

INRS (2008) - Aide mémoire technique n°984 - Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Institut National de Recherche et de Sécurité. <http://www.inrs.fr>

INRS (2006b) - Note documentaire n° 2245-202-06 - Indices biologiques d'exposition. Institut National de Recherche et de Sécurité. <http://www.inrs.fr>

Ip Y.K., Kuah S.S.L. and Chew S.F. (2004) - Strategies adopted by the mudskipper *Boleophthalmus boddarti* to survive sulfide exposure in normoxia or hypoxia. *Physiol Biochem Zool*, **77**, 5, 824-837.

IUCLID (2000) - Dataset Hydrogen sulphide. European Commission - European Chemicals Bureau. <http://ecb.jrc.it/esis/index.php?PGM=ein>

Ivanov V.N., Usenko T.G. and Parkhomenko A.V. (1976) - Effect of hydrogen sulfide on the survival of spawn and embryonal mitoses of black sea turbot. *Gidrobiologicheskii Zhurnal*, **12**, 2, 75-77.

Jaakkola J., Vilkka V. and Marttila O., Jenppinen P. and Hahtela T. (1990) - The south karelia air pollution study. The effects of malodorous sulfur compounds from pulp mill on respiratory and other symptoms. *Am Rev Respir Dis*, **142**, 1344-1350.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Jäppinen P., Vikka V., Marttila O. and Haahtela T. (1990) - Exposure to hydrogen sulphide and respiratory function. *Br J Intern Med*, **47**, 824-828.

Jayamanne S.C. (1986) - A preliminary study of hydrogen sulphide toxicity on juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) FAO Corp. Doc. Rep. (141188) <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC208E/AC208E00.htm>

Jayamanne S.C. (1992) - Toxicity of hydrogen sulphide to juveniles of *Macrobrachium rosenbergii*. *J Natl Sci Council Sri Lanka*, **20**, 2, 191-198.

JOCE (1998) - Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. *Journal Officiel de la Communauté Européenne*.

JOCE (1999) - Directive 1999/30/CE du conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote, les particules de plomb dans l'air ambiant *Journal Officiel de la Communauté Européenne*.

JOCE (2000) - Directive 2000/69/CE du parlement européen et du conseil du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant. *Journal Officiel de la Communauté Européenne*.

JOCE (2002) - Directive 2002/3/CE du parlement européen et du conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant. *Journal Officiel de la Communauté Européenne*.

JOCE (2004) - Commission Directive 2004/73/EC, 29th time Council directive 67/548 EEC. *Journal Officiel de la Communauté Européenne*

JOCE (2005) - Directive 2004/107/CE du parlement européen et du conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le nickel et les hydrocarbures polycycliques aromatiques dans l'air ambiant. *Journal Officiel de la Communauté Européenne*

JORF (2001) - Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles. *Journal Officiel de la République Française*.

JORF (2002) - Décret n°2002-213 du 15 février 2002 portant sur la transposition de la directive 1999/30/CE du conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du parlement européen et du conseil du 16 novembre 2000 et modifiant le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de la qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites. *Journal Officiel de la République Française*.

JORF (2003) - Décret n°2003-1085 du 12 novembre 2003 portant sur la transposition de la directive 2002/3/CE du conseil du 12 février 2002 et modifiant le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de la qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites. *Journal Officiel de la République Française*.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Julian D., Statile J.L., Wohlgemuth S.E. and Arp A.J. (2002) - Enzymatic hydrogen sulfide production in marine invertebrate tissues. *Comp Biochem Physiol*, **133**, 1, 105-115.

Julian D., Statile J., Roepke T.A. and Arp A.J. (2005) - Sodium nitroprusside potentiates hydrogen-sulfide-induced contractions in body wall muscle from a marine worm. *Biol Bull*, **209**, 1, 6-10.

Kage S., Nagata T., Takekada K., Kimura K., Kudo K., Imamura T. (1992) - Usefulness of thiosulfate as an indicator of hydrogen sulfide poisoning in forensic toxicological examination: a study with animal experiments. *Jpn J Forensic Toxicol*, **10**, 3, 223-227.

Kang J.C. and Matsuda O. (1994) - Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide on early developmental stages of white shrimp *Metapenaeus monoceros* (article en japonais). *J Fac Appl Biol Sci Hiroshima Univ*, **33**, 1, 21-27.

Kangas J. and Savolainen H. (1987) - Urinary thiosulphate as an indicator of exposure to hydrogen sulphide vapor. *Clin Chim Acta*, **164**, 1, 7-10.

Khan A., Schuler M.M., Prior M., Yong S., Coppok R.W., Florence L.Z., and Lillie L.E. (1990) - Effects of hydrogen sulfide exposure on lung mitochondrial respiratory chain enzymes in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*, **103**, 482-490.

Kimura K., Hasegawa M., Matsubara K., Maseda C. and Kagawa M. (1994) - A fatal disaster case based on exposure to hydrogen sulfide - An estimation of the hydrogen sulfide concentration at the scene. *Forensic Sci Int*, **66**, 111-116.

Kirk Othmer (2004) - Encyclopedia of Chemical Technology. Sulfur compounds. I.J. Wiley et Sons. New York. **23**, 629-638.

Klimisch H., Andreae E. and Tillmann U. (1997) - A systematic approach for evaluating the quality of experimental and ecotoxicological data. *Reg Tox Pharm*, **25**, 1-5.

Knezovich J.P., Steichen D.J., Jelinski J.A. and Anderson S.L. (1996) - Sulfide tolerance of four marine species used to evaluate sediment and pore-water toxicity. *Bull Environ Contam Toxicol*, **57**, 3, 450-457.

Kohno M., Tanaka E., Nakamura T., Shimojo N. and Misawa S. (1991) - Influence of short-term inhalation of hydrogen sulfide in rats. *Jpn J Toxicol Environ Health (Eisei Kagaku)*, **37**, 103-106.

Küster E., Dorusch F. and Altenburger R. (2005) - Effects of hydrogen sulfide to *Vibrio fischeri*, *Scenedesmus vacuolatus*, and *Daphnia magna*. *Environ Toxicol Chem*, **24**, 10, 2621-2629.

Laug E. and Draize J. (1942) - The percutaneous absorption of ammonium hydrogen sulfide and hydrogen sulfide. *J Pharmacol Exp Ther*, **76**, 179-188.

Leikin and Leikin J.B. (2001) - Poisoning and Toxicology Handbook.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Lopez A., Prior M. Reiffenstein R., and Goodwin L.R. (1989) - Peracute toxic effects of inhaled hydrogen sulfide and injected sodium hydrosulfide on the lungs of rats. *Fundam Appl Toxicol*, **12**, 367-373.

Losso C., Arizzi Novelli A., Picone M., Volpi Ghirardini A., Ghetti P.F., Rudello D. and Ugo P. (2004) - Sulfide as a confounding factor in toxicity tests with the sea urchin *Paracentrotus lividus*: Comparisons with chemical analysis data. *Environ Toxicol Chem*, **23**, 2, 396-401.

Marttila O., Jaakkola J.J.K., Partti-Pellinen K., Jappinien P. and Haahtela T. (1995) - South Karelia air pollution study: Daily symptom intensity in relation to exposure levels of malodorous sulfur compounds from pulp millss. *Environ Res*, **71**, 122-127.

Marttila O., Jaakkola J.J.K., Partti-Pellinen K., Jappinien P. and Haahtela T. (1994) - The south Karelia air pollution study: The effects of molodorous sulfur compounds fron pulp mills on respiratory and other symptoms in children. *Environ Res*, **66**, 152-159.

Minster J.T. (1963) - Meteorology. Atmospheric hydrogen sulfide concentrations during the London fog of December 1962. *Nature (London)*, **199**, 474-475.

Morse D., Wooldurby M., Rentmeester K. and Farler D. (1981) - Death caused by fermenting manure. *J Am Med Assoc*, **245**, 63-64.

Nagata T., Kage S. and Kimura K. (1990) - Sulfide concentrations in postmortem mammalian tissues. *J Forensic Sci*, **35**, 706-712.

National Research Council of Canada (1981) - Hydrogen Sulfide in the Atmospheric Environment. Ottawa, Ont., Canada. Report NRCC No. 18467.

Nicholson R.A., Roth S.H. and Jian A.Z. (1998) - Inhibition of respiratory and bioenergetic mechanisms by hydrogen sulfide in mammalian brain. *J Toxicol Environ Health*, **54**, 491-507.

NIOSH (1977) - Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to hydrogen sulfide. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati, OH. NIOSH 77158 PB274196.

NIOSH (1985) - Fatal Accident Circumstances and Epidemiology (FACE) report: Two sanitation employees die in confined space in Kentucky, august 24, 1985. National Institute for Occupational Safety and Health. Morgantown, WV. PB91197848.

NIOSH (1989) - Fatal accident circumstances and epidemiology (FACE) report: Two maintenance workers die after inhaling hydrogen sulfide in manhole, january 31, 1989. National Institute for Occupational Safety and Health. Morgantown, WV. PB91212761.

OCDE (1984) - Ligne directrice 201 de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, section 2 ; Effets sur les systèmes biologiques : Algues, essai d'inhibition de la croissance. http://www.oecd.org/departement/0,3355,fr_2649_34377_1_1_1_1_1_1,00.html

SULFURE D'HYDROGÈNE

OCDE (1992) - Ligne directrice 210 de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, section 2 ; Effets sur les systèmes biologiques : Poisson, essai de toxicité aux premiers stades de la vie. http://www.oecd.org/departement/0,3355,fr_2649_34377_1_1_1_1_1_1,00.html

OCDE (2004) - Ligne directrice 202 de l'OCDE pour les essais de produits chimiques section 2 ; Effets sur les systèmes biologiques : *daphnia sp*, essai d'immobilisation immédiate et essai de reproduction sur 14 jours. http://www.oecd.org/departement/0,3355,fr_2649_34377_1_1_1_1_1_1,00.html

OEHHA (1999) - Acute toxicity summary of hydrogen sulfide. Office of Environmental Health Hazard Assessment. http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/

OEHHA (2007) - Chronic toxicity summary of hydrogen sulfide. Office of Environmental Health Hazard Assessment. http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/

OMS (1987) - Hydrogen sulfide. In: air Guidelines for Europa. Copenhagen, Denmark. World Health Organization Regional Publication Europeen, series 23.

OMS (2000) - Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Copenhagen. 2nd Ed.

OMS (2006) - Guidelines for drinking-water quality. First addendum to third edition. World Health Organization. Geneva. 3rd Ed.

OMS IPCS (2003) - Concise International Chemical Assesment Documents (CICADs 53) ; Hydrogen Sulfide. World Health Organization, Geneva.

OMS IPCS (1981) - Environmental health criteria 19: Hydrogen sulfide. Geneva. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc019.htm>

Osbern L. and Crapo R. (1981) - Dung lung: a report of toxic exposure to liquid manure. *Ann Intern Med*, **95**, 312-314.

Oseid D.M. and Smith L.L., Jr. (1972) - Swimming endurance and resistance to copper and malathion of bluegills treated by long-term exposure to sublethal levels of hydrogen sulfide. *Trans Amer Fish Soc*, **101**, 4, 620-625.

Oseid D.M. and Smith L.L., Jr. (1974a) - Chronic toxicity of hydrogen sulfide to *Gammarus pseudolimnaeus*. *Trans Amer Fish Soc*, **103**, 4, 819-822.

Oseid D.M. and Smith L.L., Jr. (1974b) - Factors influencing acute toxicity estimates of hydrogen sulfide to fresh-water invertebrates. *Water Res*, **8**, 10, 739-746.

Oseid D.M. and Smith L.L., Jr. (1975) - Long-term effects of hydrogen sulfide on *Hexagenia limbata* (ephemeroptera). *Environ Entomol*, **4**, 1, 15-18.

Parra O., Monsoe E. Gallego M. and Marera J. (1991) - Inhalation of hydrogen sulphide: a case of subacute manifestations and long term sequelae. *Br J Ind Med*, **48**, 286-287.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Partti Pellinen K., Martilla O., Vikka V., Jaakkola J.J., Jappinen P. and Haahtela T. (1996) - The south Karelia air pollution study: Effects of low-level exposure to malodorous sulfur compounds on symptoms. *Arch Environ Health*, **51**, 315-320.

Peters J. (1981) - Hydrogen sulfide poisoning in a hospital setting. *J Am Med Assoc*, **246**, 1588-1589.

Polikarpov G.G., Tsytsugina V.G., Timoshchuk V.I., Demina N.V. and Tereshchenko N.N. (1985) - Toxicity of black sea deep-sea water to the benthic amphipod *Gammarus olivii* (en Ukrainien). *Doklady Akademii Nauk Ukrainy*, **8**, 71-73.

Pouliquen F., Blanc C. and Arretz E. (1989) - Hydrogen Sulfide. Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. H. S. Elvers B., Revenscroft M., **A13**, 467-485.

Powell M.A. and Somero G.N. (1986) - Adaptations to sulfide by hydrothermal vent animals: sites and mechanisms of detoxification and metabolism. *Biol Bull*, **171**, 1, 274-290.

Prior M., Sharma A. and Yong S. and Lopez A. (1988) - Concentration time interactions in hydrogen sulphide toxicity in rats. *Can J Vet Res*, **52**, 375-379.

Reiffenstein R.J., Hulbert W.C. and Roth S.H. (1992) - Toxicology of hydrogen sulfide. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*, **32**, 109-134.

Reynolds F.A. and Haines T.A. (1980) - Effects of chronic exposure to hydrogen sulphide on newly hatched brown trout *Salmo trutta* L.. *Environ Pollut*, **22**, 1, 11-17.

Reynolds R.L. and Kamper R.L. (1984) - Review of the state of California Ambient Air Quality Standard for Hydrogen Sulfide (H₂S). Lake County Air Quality Management District. Lakeport (CA). <http://www.oehha.org/air/pdf/oehhah2s.pdf>

Richardson D.B. (1995) - Respiratory effects of chronic hydrogen sulfide exposure. *Am J Ind Med*, **28**, 99-108.

Robinson E. and Robbins R.C. (1970) - Gaseous sulfur pollutants from urban and natural sources. *J Air Pollut Control Assoc*, **20**, 233-235.

Saillefait A.M., Bonnet P. and de Ceaurriz J. (1989) - Effects of inhalation exposure to carbon disulfide and its combination with hydrogen sulfide on embryonal and fetal development in rats. *Toxicol Lett*, **48**, 57-66.

Santé Canada (1987) - Le sulfure (sous forme de H₂S). http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/doc_sup-appui/sulphide-sulfure/index_f.html

Skrajny B., Hannah R.S. and Roth S.H. (1992) - Low concentrations of hydrogen sulphide alter monoamine levels in the developing rat central nervous system. *Can J Physiol Pharmacol*, **70**, 11, 1515-1518.

Smith R. and Gosselin R. (1964) - The influence of methemoglobinemia on the lethality of some toxic anions: II. Sulphide. *Toxicol Appl Pharmacol*, **6**, 584-592.

SULFURE D'HYDROGÈNE

Smith R. and Abbanat R. (1966) - Protective effect of oxidized glutathione in acute sulfide poisoning. *Toxicol Appl Pharmacol*, **9**, 209-217.

Smith L.L., Jr. and Oseid D.M. (1970) - Toxic effects of hydrogen sulfide to juvenile fish and fish eggs. In: *25 th Ind Waste Conf*, Eds, 739-744.

Smith L.L., Jr. and Oseid D.M. (1972) - Effects of hydrogen sulfide on fish eggs and fry. *Water Res*, **6**, 711-720.

Smith L.L. and Oseid D.M. (1974) Effect of hydrogen sulphide on development and survival of eight freshwater species. In: *The early life history of fish*, J. H. S. Blaxter Eds. Berlin.

Smith L.L., Jr. and Oseid D.M. (1975) - Chronic effects of low levels of hydrogen sulfide on freshwater fish. *Prog Water Technol*, **7**, 3/4, 599-605.

Smith L.L., Jr., Oseid D.M., Kimball G.L. and El-Kandelgy S.M. (1976a) - Toxicity of hydrogen sulfide to various life history stages of bluegill (*Lepomis macrochirus*). *Trans Amer Fish Soc*, **105**, 3, 442-449.

Smith L.L., Oseid D.M. and Olson L.E. (1976b) - Acute and chronic toxicity of hydrogen sulfide to the fathead minnow, *Pimephales promelas*. *Environ Sci Technol*, **10**, 6, 565-568.

Smith L.L., Jr., Oseid D.M., Adelman I.R. and Broderius S.J. (1976c) - Effect of hydrogen sulfide on fish and invertebrates. Ecological research series, EPA-600/3-76-062a; b. Duluth, Minn., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental Research Laboratory.

Snyder J., Safir E. and Summerville G. and middleberg R.A. (1995) - Occupational fatality and persistent neurological sequelae after mass exposure to hydrogen sulfide. *Am J Emerg Med*, **13**, 2, 199-203.

Tansy M.F., Kendall F.M., Fantasia J. and Landin W.E., Oberly R. and Sherman W. (1981) - Acute and subchronic toxicity studies of rats exposed to vapors of methyl mercaptan and other reduced-sulfur compounds. *J Toxicol Environ Health*, **8**, 71-88.

Thompson B., Bay S., Greenstein D. and Laughlin J. (1991) - Sublethal effects of hydrogen sulfide in sediments on the urchin *Lytechinus pictus*. *Mar Environ Res*, **31**, 4, 309-321.

US EPA (1987a) - A new look at physiologic respiratory response to hydrogen sulfide poisoning. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.

US EPA (1994b) - Methods for derivation of inhalation reference concentrations and application of inhalation dosimetry. US Environmental Protection Agency.

US EPA (2003) - Toxicological review of hydrogen sulfide. In support of Summary information on the Integrated Risk Information System (IRIS). US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iris>. Washington, DC.

SULFURE D'HYDROGÈNE

US EPA (IRIS) (2003a) - Hydrogen sulfide - Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure. U.S. Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System. <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/>

US EPA (IRIS) (2003b) - Hydrogen sulfide - Reference Contraction for Chronic Inhalation Exposure (RfD). U.S. Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System. <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/>

Vismann B. (1990) - Sulfide detoxification and tolerance in *Nereis (Hediste) diversicolor* and *Nereis (Neanthes) virens* (Annelida: Polychaeta). *Mar Ecol Prog Ser*, **59**, 229-238.

Walton D. and Witherspoon M. (1925) - Skin absorption of certain gases. *J Pharmacol Exp Ther*, **26**, 315-324.

Warenycia M.W., Smith K.A., Blashko C.S., Kombian S.B. and Reiffenstein R.J. (1989) - Monoamine oxidase inhibition as a sequel of hydrogen sulfide intoxication increases in brain catecholamine and 5-hydroxytryptamine levels. *Arch Toxicol*, **63**, 2, 131-136.

Weisiger R., Pinkus L. and Jakoby W. (1980) - Thiol S-methyltransferase: suggested role in detoxication of intestinal hydrogen sulfide. *Biochem Pharmacol*, **29**, 2885-2887.

Wetterau H., Oekert V. and Knape U.G. (1964) - Tests for the application of dried green fodder with higher hydrogen sulfide content experiments with poultry and fattened pigs. *Fetterung*, **5**, 383-393.

Winek C.L., Collum W.D. and Wecht C.H. (1968) - Death from hydrogen sulfide fumes. *Lancet*, **1**, 1096.

Xu X., Cho S.I., Sammel M., You L., Cui S., Huang Y., Ma G., Padungtad C., Pothier L., Niu T., Christiani D., Smith T., Ryan L. and Wang L (1998) - Association of petrochemical exposure with spontaneous abortion. *Occup Environ Med*, **55**, 31-36.

SULFURE D'HYDROGÈNE

8. ADDENDUM

ADDENDUM 1 (2011 / VTR)

1. Introduction

Le présent addendum modifie le paragraphe 3.4 de la fiche de données toxicologiques et environnementales.

2. Nouvelle version du paragraphe 3.4.

3.4 Valeurs toxicologiques de référence

Une valeur toxicologique de référence (VTR) est établie à partir de la relation entre une dose externe d'exposition à une substance dangereuse et la survenue d'un effet néfaste. Les valeurs toxicologiques de référence proviennent de différents organismes dont la notoriété internationale est variable.

3.4.1. Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'OEHHA, l'OMS, le RIVM, Santé Canada et l'US EPA

SULFURE D'HYDROGÈNE

3.4.1.1 Effets à seuil

Valeurs toxicologiques de référence pour des effets avec seuil

Substances chimiques	Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision
Sulfure d'hydrogène (7783-06-4)	ATSDR	Inhalation (aiguë)	27	MRL= 0,07 ppm (0,1 mg.m ⁻³)	2006
	OEHHA	Inhalation (aiguë - 1 h)	1	42.10 ⁻³ mg.m ⁻³	2008
	OMS	Inhalation (aiguë - 24 h)	100	VG = 0,15 mg.m ⁻³	2000
	ATSDR	Inhalation (sub-chronique)	30	MRL= 0,02 ppm (0,03 mg.m ⁻³)	2006
	US EPA IRIS	Inhalation (chronique)	300	RfC = 2.10 ⁻³ mg.m ⁻³	2003
	OEHHA	Inhalation (Chronique)	100	10.10 ⁻³ mg.m ⁻³	2000

Justification scientifique des valeurs toxicologiques de référence

Inhalation

Exposition aiguë

L'ATSDR propose un MRL de 0,07 ppm (0,1 mg.m⁻³) pour une exposition aiguë au sulfure d'hydrogène par inhalation (2006).

Cette valeur est basée sur l'étude chez le volontaire de Jäppinen *et al.* (1990). Au cours de cette étude, trois hommes et sept femmes atteints d'asthme bronchique non sévère ont été exposés à 2 ppm (2,8 mg.m⁻³) de H₂S pendant 30 minutes. Une LOAEC de 2 ppm est mesurée pour une altération de la résistance et de la conductance des voies respiratoires.

Facteur d'incertitude : Un facteur d'incertitude de 27 est retenu qui correspond à un facteur de 3 pour l'utilisation d'un LOAEC, d'un facteur de 3 pour la variabilité au sein de la population humaine et d'un facteur de 3 pour le manque de donnée chez les enfants.

Calcul : $2 / 27 = 0,07 \text{ ppm (0,1 mg.m}^{-3}\text{)}$

SULFURE D'HYDROGÈNE

L'OEHHA propose REL de $42.10^{-3} \text{ mg.m}^{-3}$ pour une exposition aiguë de 1 heure au sulfure d'hydrogène par inhalation (2008).

Cette valeur a été établie à partir de l'analyse de plusieurs études réalisées chez l'homme (California State Department of Public Health, 1969 ; CARB, 1984 ; Reynolds et Kamper, 1985 ; Amooore, 1985). La LOAEC retenue est comprise entre 0,012 et 0,069 ppm (moyenne géométrique de 0,03 ppm soit $0,042 \text{ mg.m}^{-3}$) pour la survenue de céphalées et de nausées. Ce niveau est proche de celui de la détection de l'odeur et la NOAEC inférieure ou égale à 0,01 ppm.

Facteur d'incertitude : Aucun facteur d'incertitude n'est appliqué.

Calcul : $0,042/1 = 0,042 \text{ mg.m}^{-3}$ (0,03 ppm)

L'OMS propose valeur guide de $0,15.10^{-3} \text{ mg.m}^{-3}$ pour une exposition aiguë de 24 heures au sulfure d'hydrogène par inhalation (2000).

Cette valeur est basée sur l'étude de Savolainen (1982) qui correspond à une synthèse de données et qui retient la valeur de 15 mg.m^{-3} comme limite (LOAEC) basse d'apparition des effets irritants oculaires.

Facteur d'incertitude : Un facteur d'incertitude global de 100 est appliqué pour tenir compte des lésions oculaires des 70 mg.m^{-3} .

Calcul : $15 \text{ mg.m}^{-3} \times 1/100 = 0,15 \text{ mg.m}^{-3}$

Exposition sub-chronique

L'ATSDR propose un MRL de 0,02 ppm ($0,03 \text{ mg.m}^{-3}$) pour une exposition sub-chronique au H₂S par inhalation (2006).

Cette valeur a été établie à partir d'une NOAEC déterminée lors d'une étude réalisée chez des rats (12 mâles) ayant inhalé de l'H₂S (0 - 10 - 30 - 80 ppm soit 0 - 14 - 42 - 111 mg.m^{-3}) 6 heures par jour, 7 jours par semaine, pendant 10 semaines (Brenneman *et al.*, 2000). Une NOAEC de 10 ppm (soit 14 mg.m^{-3}) pour des lésions nasales de la muqueuse olfactive des rats a été retenue à partir de cette étude.

Une NOAEC ajustée (NOAEC_{ADJ}) a été calculée pour le passage d'une exposition discontinue à une exposition continue, comme indiqué ci-dessous :

NOAEC_{ADJ} = NOAEC x (6 h/24 h) x (7 j/7 j) = $10 \times (6/24) = 2,5 \text{ ppm}$

La concentration équivalente humaine (HEC) a été calculée utilisant l'équation suivante (US EPA 1994b) pour un gaz de catégorie 1 :

NOAEC_{HEC} = NOAEC_{ADJ} x RGDR_{ET} = $2,5 \times 0,184 = 0,46 \text{ ppm}$

SULFURE D'HYDROGÈNE

Avec :

VE(rat) volume par minute inhalé chez le rat = 0,190 L.min⁻¹

VE(humain) volume par minute inhalé chez l'homme = 13,8 L.min⁻¹

SA(rat) : surface de la région extra-thoracique chez le rat = 15 cm²

SA(humain) surface de la région extra-thoracique chez l'homme = 200 cm²

RGDR_{ET} : rapport de dose pour un effet observé d'un gaz dans la région extra-thoracique du tractus respiratoire
 = (VE / SA_{ET})_{RAT} / (VE / SA_{ET})_{HUMAIN} = (0,19/15) / (13,8/200) = 0, 184

Facteur d'incertitude : Un facteur de 30 a été appliqué au NOAEL_{HEC} de 0,46 ppm : un facteur 10 pour la variabilité intra-espèce et un facteur de 3 pour les variations inter-espèces (le facteur de 10 habituellement utilisé pour la variation inter-espèces est réduit à 3 du fait de l'utilisation d'un ajustement allométrique qui prend en compte les différences de volumes respiratoires entre le rat et l'homme).

Calcul : MRL = 0,46 ppm / 30 = 0,015 ppm (2.10⁻² mg.m⁻³)

Exposition chronique

L'US EPA propose une RfC de 2.10⁻³ mg.m⁻³ pour une exposition chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation (2003).

Cette RfC a été établie à partir d'une NOAEC déterminée par la même étude que pour la construction de la MRL (Brenneman *et al.*, 2000). Une même NOAEC de 10 ppm (14 mg.m⁻³) pour des lésions nasales de la muqueuse olfactive des rats a été retenue à partir de cette étude.

Une NOAEC ajustée (NOAEC_{ADJ}) a été calculée pour le passage d'une exposition discontinue à une exposition continue, comme indiqué ci-dessous :

NOAEC_{ADJ} = NOAEC x (6 h/24 h) x (7 j/7) = 13,9 x (6/24) = 3,475 mg.m⁻³

Afin de déterminer une NOAEC_{HEC}, les concentrations du H₂S se trouvant dans la région extra-thoracique ont été estimées chez l'homme et l'animal.

Le calcul est le suivant :

NOAEC_{HEC} = NOAEC_{ADJ} x RGDR_{ET} = 3,475 x 0,184 = 0,639 mg.m⁻³

avec :

VE(rat) volume par minute inhalé chez le rat = 0,19 L.min⁻¹

VE(humain) volume par minute inhalé chez l'homme = 13,8 L.min⁻¹

SA(rat) : surface de la région extra-thoracique chez le rat = 15 cm²

SA(humain) surface de la région extra-thoracique chez l'homme = 200 cm²)

SULFURE D'HYDROGÈNE

RGDR_{ET} : rapport de dose pour un effet observé d'un gaz dans la région extra-thoracique du tractus respiratoire
 = $(VE / SA_{ET})_{RAT} / (VE / SA_{ET})_{HUMAIN} = (0,19/15) / (13,8/200) = 0,184$

Facteur d'incertitude : Un facteur de 300 a été appliqué : un facteur de 10 pour l'extrapolation des données sub-chroniques aux données chroniques, un facteur 10 pour la variabilité intra-espèce et un facteur de 3 pour les variations inter-espèces. Le facteur 10 n'est pas pris en compte du fait de l'ajustement dosimétrique.

Calcul : $RfC = 0,639 \text{ mg.m}^{-3} / 300 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mg.m}^{-3}$

Indice de confiance : modéré du fait de la qualité moyenne de l'étude et de la base de données.

L'OEHA propose REL de $10 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$ pour une exposition chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation (2000).

Cette valeur est établie à partir d'une étude expérimentale réalisée chez la souris B6C3F1 exposée à des concentrations de 0 - 10 - 30 - 80 ppm (0 - 14 - 43 - 111 mg.m^{-3}) de sulfure d'hydrogène 6 h par jour, 5 jours par semaine pendant 90 jours (CIIT, 1983a). Une NOAEC de 30 ppm (43 mg/m^3) et une LOAEC de 80 ppm (111 mg/m^3) ont été établies pour une inflammation de la muqueuse nasale.

Une NOAEC ajustée (NOAEC_{ADJ}) a été calculée pour le passage d'une exposition discontinue à une exposition continue, comme indiqué ci-dessous :

$NOAEC_{ADJ} = NOAEC \times (6 \text{ h}/24 \text{ h}) \times (5 \text{ j}/7) = 30 \times (6/24) \times (5/7) = 5,4 \text{ ppm}$

Afin de déterminer une NOAEC_{HEC}, les doses de sulfure d'hydrogène se trouvant dans la région extra-thoracique ont été estimées chez l'homme et l'animal.

Le calcul est le suivant :

$NOAEC_{HEC} = NOAEC_{ADJ} \times RGDR_{ET} = 5,4 \times 0,16 = 0,85 \text{ ppm}$

avec :

VE(rat) volume par minute inhalé chez la souris = 0,033 L.min^{-1}

VE(humain) volume par minute inhalé chez l'homme = 13,8 L.min^{-1}

SA(rat) : surface de la région extra-thoracique chez la souris = 3 cm^2

SA(humain) surface de la région extra-thoracique chez l'homme = 200 cm^2)

RGDR_{ET} : rapport de dose pour un effet observé d'un gaz dans la région extra-thoracique du tractus respiratoire
 = $(VE / SA_{ET})_{RAT} / (VE / SA_{ET})_{HUMAIN} = (0,033/3) / (13,8/200) = 0,16$

Facteur d'incertitude : Un facteur d'incertitude de 90 arrondi à 100, est retenu qui correspond à un facteur de 3 pour l'extrapolation d'une exposition sub-chronique à

SULFURE D'HYDROGÈNE

chronique, un facteur 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme, un facteur de 10 pour tenir compte de la variabilité au sein de l'espèce humaine.

Calcul : $0,85 \text{ ppm} / 100 = 0,0085 \text{ ppm} (10 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3})$

3.4.1.2 Effets sans seuil

Non concerné.

4.2. Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'INERIS

Substances chimiques	Effets	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Source	Année de révision
Sulfure d'hydrogène (7783-06-4)	A seuil	Inhalation (chronique)	300	RfC = $0,002 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	US EPA IRIS, 2003	2010
		Inhalation (sub-chronique)	30	MRL= $0,03 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	ATSDR, 2006	2010
		Inhalation (aiguë)	27	MRL= $0,1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	ATSDR, 2006	2010

Justification scientifique du choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8 heures correspondent à des seuils accidentels et ne sont pas retenus par l'INERIS dans ces choix de VTR.

L'INERIS propose de retenir la valeur de $0,1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ pour une exposition aiguë au sulfure d'hydrogène par inhalation.

Deux organismes proposent des valeurs pour une durée d'exposition comprise entre un et plusieurs jours, l'OMS et l'ATSDR. La valeur de l'ATSDR est plus transparente. Les deux valeurs sont très proches pour des effets très sensibles. Elles sont toutes les deux basées sur des études chez l'homme. Celle de l'ATSDR est réalisée sur une population sensible. Pour ces raisons, l'INERIS retient la valeur de l'ATSDR.

SULFURE D'HYDROGÈNE

L'INERIS propose de retenir la valeur de 0,03 mg.m⁻³ pour une exposition sub-chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation.

Cette valeur est élaborée à partir d'une étude expérimentale de bonne qualité (Brenneman *et al.*, 2000). La construction de la VTR est transparente et l'application des facteurs d'incertitude adaptée. Cette valeur est élaborée de manière tout à fait identique à la VTR chronique de l'US EPA, la seule différence réside dans le choix du facteur d'incertitude du fait de l'exposition sub-chronique. L'ATSDR propose une valeur pour une exposition subchronique alors que l'US EPA retient une valeur pour une exposition chronique et prend donc un facteur d'incertitude supplémentaire de 10. Cette valeur apparait sécuritaire de l'effet hypothétique chez l'homme et l'utilisation de facteur d'incertitude élevé. Cette valeur de l'ATSDR est donc retenue.

L'INERIS propose de retenir la valeur de 0,002 mg.m⁻³ pour une exposition chronique au sulfure d'hydrogène par inhalation.

Deux organismes proposent des valeurs pour des expositions chroniques l'US EPA et l'OEHHA. Ces valeurs sont basées sur deux études différentes mais qui rapportent des effets pour des niveaux d'exposition proches et pour des durées similaires. Comme signalé ci-dessus, la démarche retenue par l'ATSDR pour l'élaboration d'une valeur pour une exposition sub-chronique est identique à celle de l'US EPA. La démarche de l'OEHHA est identique mais basée sur une étude plus ancienne menée chez la souris. Enfin, pour l'extrapolation de l'exposition sub-chronique à chronique l'US EPA retient un facteur de 10 alors que l'OEHHA considère qu'un facteur de 3 est suffisant. Pour ces raisons, l' la valeur de l'US EPA.

Bibliographie

OEHHA (2008) - Technical Support Document for the derivation of noncancer reference exposure levels. Office of Environmental Health Hazard Assessment.