

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/328838424>

Réseau CALME Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes Synthèse des travaux réalisés pour la période [01/01/2015 – 01/08/2018]

Technical Report · November 2018

DOI: 10.13140/RG.2.2.22870.50246

CITATIONS

0

READS

541

4 authors:



Cédric Gervaise

Research Institute CHORUS

205 PUBLICATIONS 1,220 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Julie Lossent

CHORUS Research Institute

40 PUBLICATIONS 51 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Lucia Di Iorio

CHORUS Institute

60 PUBLICATIONS 597 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Pierre Boissery

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

98 PUBLICATIONS 1,025 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Listen to Sulubaai Foundation MPAs [View project](#)



Shipping noise modelling and mapping [View project](#)

Réseau CALME

Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes

Synthèse des travaux réalisés pour la période [01/01/2015 – 01/08/2018]

C. Gervaise, J. Lossent, L. Di Iorio

Institut de recherche CHORUS

P. Boissery

Agence de l'Eau Rhône, Méditerranée, Corse

Date : 09/11/2018



Suivi de rédaction

Date	Action	Par qui ?	Version
04/08/2018	Rédaction initiale incluant contribution LDI sur l'étude de la biophonie des poissons à partir du screening de façade et contribution JL sur l'actualisation des études bibliographiques	CG	0.1
06/09/2018	Correction complète incluant les retours de PB	JL	0.2
09/11/2018	Relecture avant diffusion	CG	0.3

Votre contact : Dr C. Gervaise, cedric.gervaise@chorusacoustics.com, +336 56 78 85 93

Table des matières

1	Résumé exécutif	7
2	Nature et contenu du document.....	17
2.1	Un document unique, incrémental pour suivre le réseau CALME dans son cycle de vie	17
2.2	Objectifs et contenu de chaque partie	17
3	Le contexte du réseau CALME.....	20
3.1	Ondes acoustiques, Environnements marins, écologie et paysages acoustiques	20
3.2	Les développements instrumentaux de la dernière décennie permettent la mesure des paysages acoustiques sous-marins pour des applications environnementales.....	22
3.3	La biophonie permet une évaluation de l'état des écosystèmes.....	24
3.4	L'anthropophonie permet le monitoring des usages, elle est une pression 'nouvelle' sur les écosystèmes marins	25
3.5	L'approche originale proposée par CHORUS pour réaliser une surveillance acoustique	27
3.6	Les objectifs, les attendus et le workflow du réseau CALME.....	30
4	La matière première du réseau CALME : sources productrices de sons et les principales caractéristiques de la biophonie et de l'anthropophonie.....	33
4.1	A propos du choix des sources sonores étudiées par le réseau CALME [2015-2018]	33
4.2	L'anthropophonie.....	33
4.2.1	Les sources productrices de sons.....	33
4.2.2	Focus sur Les sources productrices de sons dans un bateau	34
4.2.3	Les principales caractéristiques des sons rayonnés par les bateaux en transit.....	35
4.3	La biophonie benthique	36
4.4	La biophonie ichtyologique.....	37

5	Le réseau CALME : une matrice comprenant 4 composantes fonctionnelles et 6 thèmes de surveillance pour traduire les sons marins en connaissances environnementales	39
5.1	Le réseau CALME est organisé en 4 composantes fonctionnelles et 6 thématiques de surveillance.....	39
5.2	Présentation de la Composante fonctionnelle 1 : Acquisition de données.....	41
5.3	Présentation de la Composante fonctionnelle 2 : Traitement de données.....	43
5.4	Présentation de la Composante fonctionnelle 3 : Analyses des données et Interprétations écologiques.....	46
5.5	Présentation de la composante « Diffusion des résultats »	49
5.6	Présentation des outils complémentaires du réseau.....	49
5.7	Présentation des thèmes de surveillance	50
5.8	Adéquation entre les protocoles d'acquisition de données et les thèmes de surveillance	51
6	Bilan et perspectives de la composante fonctionnelle 1 « ACQUISITION DE DONNEES ».....	52
6.1	L'instrumentation acoustique du réseau CALME	52
6.2	Bilan de mise en œuvre du screening de façade	55
6.3	Bilan de mise en œuvre des stations de mesure continue	57
6.4	Bilan de la mise en œuvre des explorations en GLIDER.....	58
6.5	Les acteurs.....	59
7	Bilan et perspectives du thème de surveillance 1 « NIVEAU DE BRUIT »	60
7.1	Les outils de traitement et d'analyse développés.....	60
7.2	Les traitements réalisés et sorties produites.....	60
7.3	Les résultats et analyses.....	61
7.3.1	Exemple d'utilisation des spectrogrammes et des densités spectrales de puissance.....	61
7.3.2	Descripteurs DCSMM D11 critère 2	63

8	Bilan et perspectives du thème de surveillance 2 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DES USAGES »	69
8.1	Les outils d'analyse développés	69
8.2	Les traitements réalisés et sorties produites.....	70
8.3	Les résultats et analyses.....	71
9	Bilan et perspectives du thème de surveillance 3 « EFFETS ACOUSTIQUES DES ACTIVITES ANTHROPIQUES »	74
10	Bilan et perspectives du thème de surveillance 4 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DU COMPARTIMENT BENTHIQUE »	75
10.1	Les outils d'analyse développés	75
10.2	Les traitements réalisés et sorties produites.....	79
10.3	Les résultats et analyses.....	79
11	Bilan et perspectives du thème de surveillance 5 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DU COMPARTIMENT ICHTYOLOGIQUE »	81
11.1	Les outils d'analyse développés	81
11.2	Les traitements réalisés et sorties produites.....	83
11.3	Les résultats et analyses.....	84
11.3.1	Portrait de la production ichtyo-sonore à l'échelle de la façade.....	84
11.3.2	Notation de l'état de la production ichtyo-sonore des herbiers à l'échelle de la façade à partir des données de screening 2016 & 2017	87
12	Bilan et perspectives du thème de surveillance 5 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DES CETACES »	90
13	Bilan et perspectives de la composante fonctionnelle « DIFFUSION »	91
14	Actions de diffusions de connaissance et de valorisation scientifique	92
14.1	Publications scientifiques présentant les outils ou les données utilisés par le réseau CALME	92
14.2	Publications scientifiques présentant et/ou exploitant les données du réseau CALME	93
14.3	Communications scientifiques en congrès international	94
14.4	Présentation dans des journées d'étude et Ateliers Français	95

15	Références bibliographiques citées.....	96
16	Annexe 1 : Panorama des constructeurs d'enregistreurs acoustiques pour les applications civiles	103
17	Annexe 2 : Suivi de la bibliographie en écologie acoustique appliquée aux écosystèmes marins.....	105
18	Annexe 3 : Liste des espèces benthiques sonifères.....	108
19	Annexe 4 : Liste des espèces de poissons méditerranéens et sonifères.....	110
20	Annexe 5 : Détail des points de mesure du screening de façade [2015-2018]	113
21	Annexe 6 : Cartes des points d'échantillonnage pour le screening de façade.....	118
22	Annexe 7 : Calendrier des sessions de mesures des points fixes	120
23	Annexe 8 : Cartographie des niveaux sonores DCSMM Critère 11 – descripteur 2.....	122
24	Annexe 9 : Algorithmes de détection et de description de la biophonie benthique.....	124
25	Annexe 10 : Paramètres descriptifs de la forme des sons de poissons de type « drums » & « /kwa/ ».....	132
26	Annexe 11 : Report des annotations de l'analyse semi-quantitative de la qualité ichtyo-sonore des sites du screening de façade.....	135
27	Annexe 12 : Etude pilote – construction d'indicateurs environnementaux des herbiers à partir de la production ichtyo-sonore /kwa/	137
27.1	Contexte et objectifs.....	137
27.2	Matériel et méthodes	137
27.3	Résultats	140
27.4	Discussion	145



Réseau de surveillance « sons » pour la **Caractérisation Acoustique** du **Littoral Méditerranéen** et de ses **Ecosystèmes**

Un partenariat entre l'Institut de Recherche CHORUS et l'Agence de l'Eau RMC depuis 2015

Le projet SEACOUSTIC mené en collaboration entre CHORUS et l'agence de l'Eau RMC en 2014 a démontré la faisabilité technique et les apports de l'écologie acoustique et du monitoring par acoustique passive pour l'observation des écosystèmes marins de Méditerranée. Les conclusions de SEACOUSTIC ont motivé la création, en 2015, du réseau CALME avec l'ambition d'intégrer le pool des réseaux de surveillance développés en partenariat avec l'Agence de l'Eau RMC sous l'impulsion de P. Boissery. Le réseau CALME est financé par un partenariat entre l'Institut de recherche CHORUS et l'Agence de l'Eau RMC. L'institut de recherche assure la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage du réseau.

Les objectifs du réseau CALME sont :

- De mesurer et cartographier le bruit ambiant en Méditerranée Française,
- D'interpréter et de décrire ces mesures en termes de paysages acoustiques,
- D'utiliser les paysages acoustiques comme un proxy écosystémique, quantitatif et global,
 - o Pour quantifier l'état des écosystèmes (vitalité biologique et qualité de l'habitat),

- o Pour quantifier les pressions acoustiques de nature anthropique et étudier leurs impacts potentiels sur la faune marine,
 - o Pour étudier les liens entre les états biologiques et les pressions anthropiques,
- De contribuer à la réalisation des mandats de l'Agence de l'Eau RMC pour la surveillance du bassin méditerranéen et le recueil de mesures *in situ* pour les directives cadres européennes sur l'eau (DCE) et sur la stratégie pour le milieu marin (DCSMM), dans le domaine des sons sous-marins.
- De contribuer aux recherches menées par CHORUS.

La surveillance acoustique du réseau CALME se décline en 6 thèmes complémentaires, 3 en lien avec les pressions anthropiques et 3 avec l'état des écosystèmes :

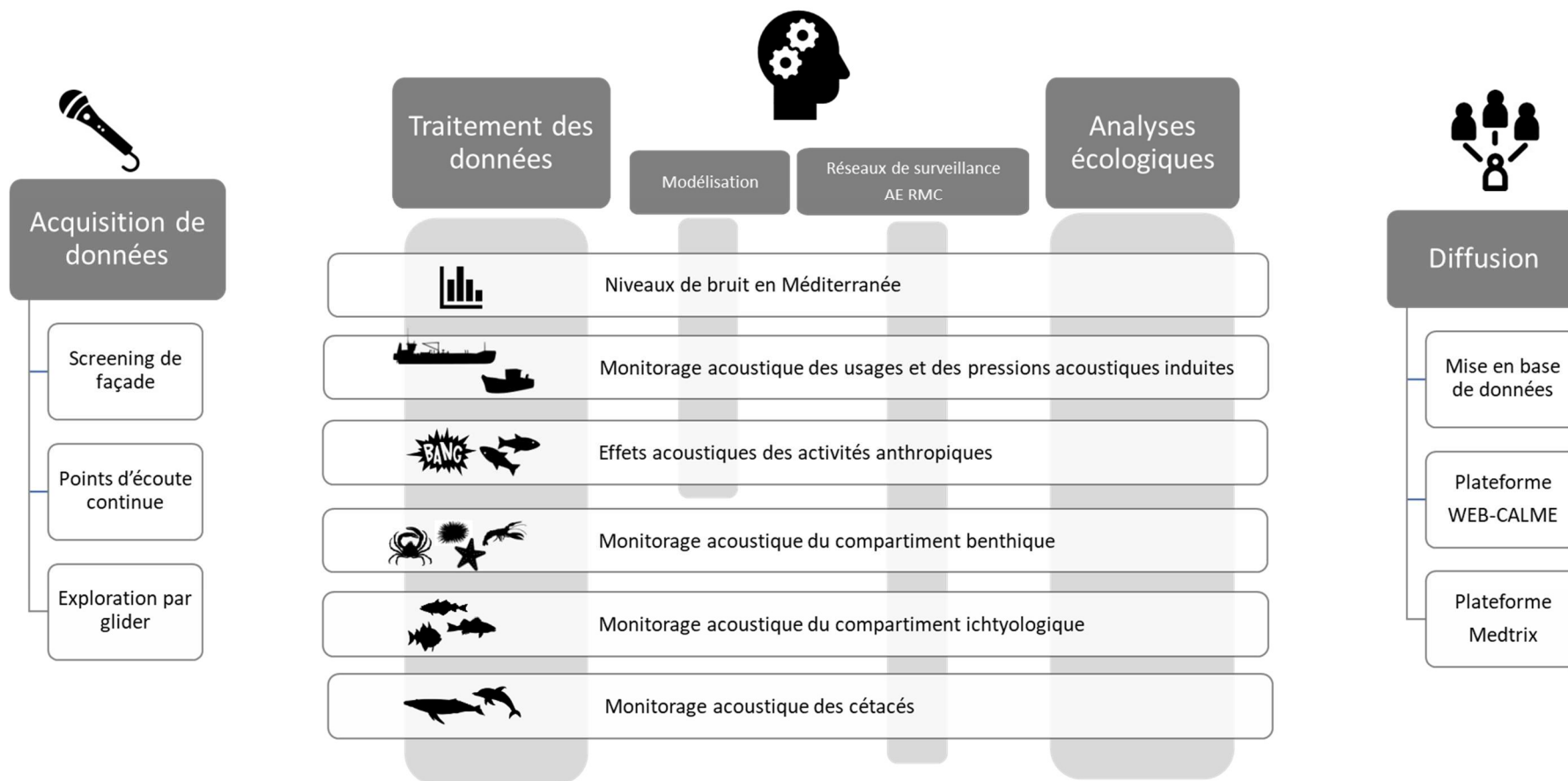
- Mesure des niveaux de bruit en Méditerranée avec des sorties vers le descripteur 11 de la DCSMM,
- Monitoring acoustique des usages et des pressions acoustiques induites,
- Cartographie des effets acoustiques des activités anthropiques sur la faune marine,
- Monitoring acoustique de l'état du compartiment benthique,

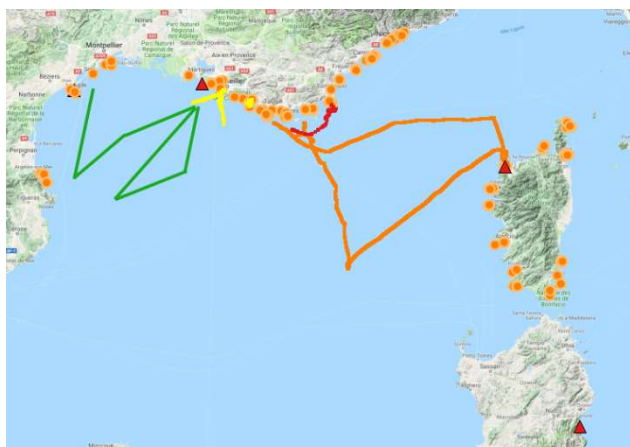
- Monitoring acoustique de l'état des assemblages ichthyologiques,
- Monitoring acoustique des cétacés.

Au service des thématiques surveillées, CALME est une boîte à outils assurant l'acquisition de données, le traitement des mesures et leur interprétation écologique, la diffusion des résultats vers les acteurs marins. Le principe

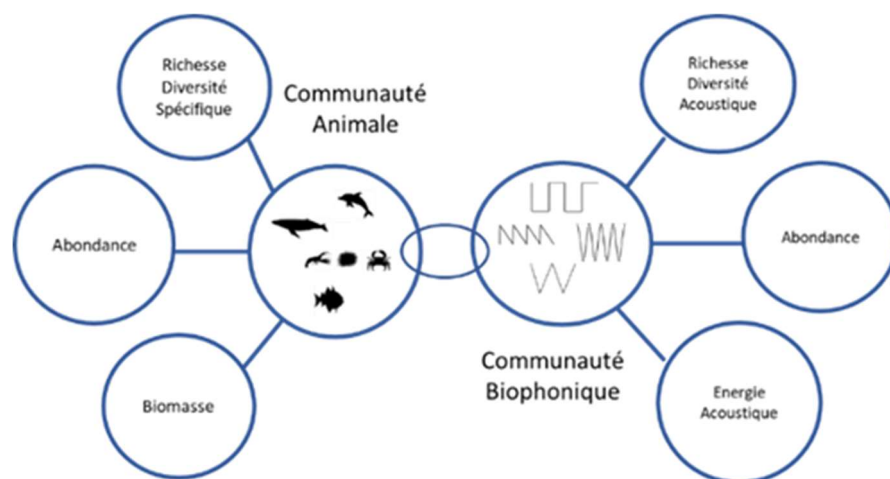
d'intégration et de mutualisation avec les réseaux de surveillance de l'Agence de l'Eau gouverne le développement et l'opération du réseau CALME.

Depuis sa création en 2015, le réseau CALME possède un ancrage côtier en se focalisant sur deux habitats d'intérêt communautaire, les herbiers de posidonie et les assemblages coralligènes. En 2017, sous l'impulsion de la DCSMM, le réseau CALME a vécu une ouverture hauturière.





[2015-2018] rond orange : screening, triangle rouge : stations de mesure continu, trait : exploration en glider



L'acquisition de données, d'une ambition unique en Europe par son ampleur et sa pérennité, intègre un screening de façade, des stations de mesure en continue, des explorations en glider.

Les stations de mesure en continue constituent des références acoustiques pour des milieux d'intérêt (herbier, coralligène, tête de canyon, frayère, aire marine protégée).

Le screening explore la façade et quantifie l'état et les pressions en regard des références données par les stations continues.

Les explorations en glider complètent le réseau pour les milieux hauturiers aux plus proches des pressions produites par le trafic maritime.

Le traitement des données et leur interprétation écologique reposent sur les outils développés par CHORUS et sur une méthodologie originale spécialement créée pour le réseau CALME.

La biophonie benthique, la biophonie ichtyologique et l'anthropophonie sont considérées comme des communautés acoustiques dont nous quantifions l'état suivant trois axes : i) richesse et diversité acoustique, ii) abondance et iii) énergie acoustique.

Cette approche en ligne avec la description des communautés animales et des communautés d'usages permet de définir des indicateurs environnementaux exploitant la mesure acoustique.

A date du 15/08/2018, l'instrumentation acoustique et les protocoles de mesure du screening, des stations de mesure continue et des explorations glider sont opérationnels. Les outils pour la surveillance des niveaux de bruit ambiant, de monitoring des usages et l'état du compartiment benthique sont opérationnels, les outils pour le monitoring des assemblages ichtyologiques sont en cours de

développement. La cartographie des effets acoustiques des activités anthropiques et le monitoring des cétacés seront implémentés en 2019. La diffusion des données s'effectue au fil de l'eau via la plateforme MedTRIX et la plateforme WEB CALME sera opérationnelle en 2019.

Table 1 : Etat d'avancement des développements du réseau CALME au 15/08/2018

Thème de développement	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Protocole et instrumentation pour le screening de façade	🔄	✅	✅	✅	✅	✅
Protocole et instrumentation pour les points d'écoute continus	🕒	🔄	✅	✅	✅	✅
Protocole et instrumentation pour les explorations par glider	🕒	🔄	✅	✅	✅	✅
Outils pour la mesure des niveaux en Méditerranée	🔄	✅	✅	✅	✅	✅
Outils pour l'étude et la cartographie des effets acoustiques des activités anthropiques	🕒	🕒	🕒	🔄	🔄✅	✅
Outils pour le monitoring acoustique des usages et des pressions anthropiques induites	🕒	🔄	✅	✅	✅	✅
Outils pour le monitoring acoustique du compartiment benthique	🕒	🔄	🔄✅	✅	✅	✅
Outils pour le monitoring acoustique du compartiment ichtyologique	🕒	🕒	🔄✅	🔄✅	🔄✅	🔄✅
Outils pour le monitoring acoustique des cétacés	🕒	🕒	🕒	🕒✅	✅	✅
Diffusion des données via MedTRIX et WEB CALME	🕒	🕒	🔄✅	🔄✅	✅	✅

A date du 15/08/2018, le réseau CALME a recueilli un équivalent de 1000 jours de mesures acoustiques continues représentant 20 To de données brutes sous forme de bande sonore numérique au format wav. Le réseau a débuté par le screening en 2015, suivi en 2016 par la mise en route des stations de mesure et

des tests de faisabilité des explorations en glider, une première exploration opérationnelle avec glider de 700 kilomètres en mer Ligure a été réalisée en 2017. Le réseau sera complété en 2019 par deux stations hauturières de mesure continue (golfe du Lion, tête de Canyon) dédiées à la DCSMM.

Table 2 : Etat de réalisation des sessions de mesure

Type d'acquisition de données	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Screening de façade	63 points de mesure 693 Go	42 points de mesure 470 Go	30 points de mesure 330 Go	54 points de mesure 590 Go		
Points d'écoute continus		1 point de mesure [#] 3 To	3 points de mesure ⁺ 7 To	3 points de mesure ⁺ 7 To	7 points de mesure [*] 16 To	
Explorations par glider		188 km /21 jours 223 Go	697 km / 34 jours 191 Go	480 km / 30 jours 150 Go		

: Cala Gonone, + : PMCB, Revellata, Cala Gonone, * : PMCB, Revellata, Cala Gonone, Agde, Golfe du Lion DCSMM, Calvi DCSMM

Le traitement des données du réseau CALME s'effectue au fil de l'eau en fonction de la réalisation des mesures et des développements des outils de traitement. A la date du 15 août 2018, la priorité a été portée sur la mesure des niveaux de bruit relatif au critère 2 du descripteur 11 de la DCSMM (toutes les données

disponibles ont été analysées) et sur l'évaluation et la cartographie de l'état du compartiment benthique et des assemblages ichtyologiques à l'échelle de la façade (toutes les données du screening ont été analysées). Les données provenant des stations de mesure en continue seront analysées avant mars 2019.

Table 3 : Etat d'avancement du traitement des données CALME au 09/11/2018

Thème de surveillance	Screening de façade				Points continus				Glider	
	2015	2016	2017	2018	PMCB	STARESO	Cala Gonone	Agde	2017	2018
Niveaux de bruit en Méditerranée	✓	✓	✓	🕒	✓	✓	✓	🕒	✓	🕒
Monitorage acoustique des usages					✓	✓	🕒	🕒	🕒	🕒
Effets acoustiques des activités anthropiques					🕒	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒
Monitorage acoustique du compartiment benthique	✓	✓	✓	🕒	✓	🕒	🕒	🕒		
Monitorage acoustique du compartiment ichtyologique	✓	✓	✓	🕒	✓	🕒	🕒	🕒		
Monitorage acoustique Cétacés	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒	🕒

Le réseau CALME

Mesure et Archive

Cartographie

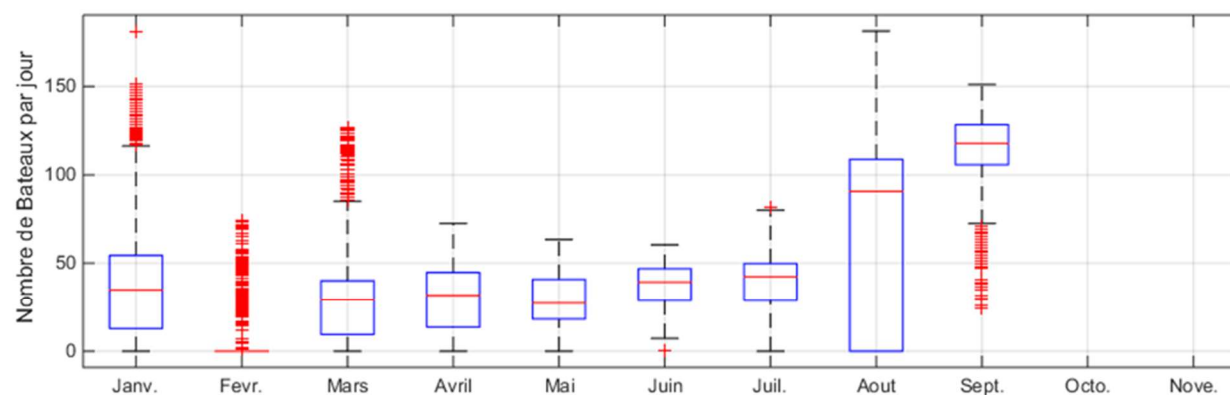
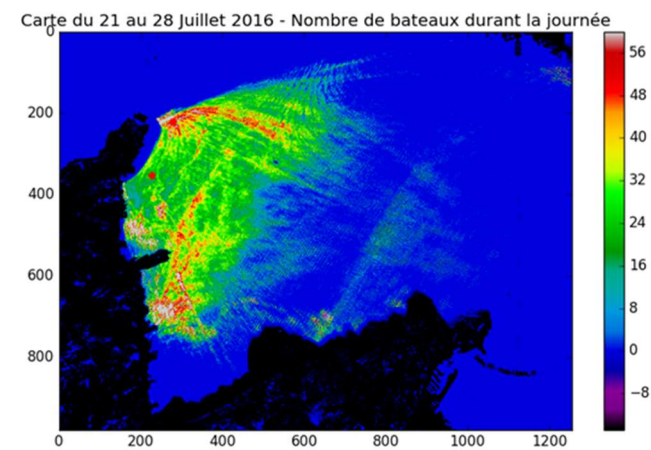
Replace à l'échelle européenne

	Moyenne	Ecart-type	Min	10 ^{ème} pers.	25 ^{ème} pers.	50 ^{ème} pers.	75 ^{ème} pers.	90 ^{ème} pers.	Max
1.000-2.000	70.0	2.2	71.5	68.4	69.7	70.1	70.6	70.9	72.9
2.000-4.000	69.0	2.0	70.5	67.6	68.9	69.3	69.7	70.0	72.0
4.000-8.000	68.0	1.8	69.5	66.6	67.9	68.3	68.7	69.0	71.0
8.000-16.000	67.0	1.6	68.5	65.6	66.9	67.3	67.7	68.0	70.0
16.000-32.000	66.0	1.4	67.5	64.6	65.9	66.3	66.7	67.0	69.0
32.000-64.000	65.0	1.2	66.5	63.6	64.9	65.3	65.7	66.0	68.0
64.000-128.000	64.0	1.0	65.5	62.6	63.9	64.3	64.7	65.0	67.0
128.000-256.000	63.0	0.8	64.5	61.6	62.9	63.3	63.7	64.0	66.0
256.000-512.000	62.0	0.6	63.5	60.6	61.9	62.3	62.7	63.0	65.0
512.000-1024.000	61.0	0.4	62.5	59.6	60.9	61.3	61.7	62.0	64.0
1024.000-2048.000	60.0	0.2	61.5	58.6	59.9	60.3	60.7	61.0	63.0
2048.000-4096.000	59.0	0.1	60.5	57.6	58.9	59.3	59.7	60.0	62.0
4096.000-8192.000	58.0	0.0	59.5	56.6	57.9	58.3	58.7	59.0	61.0
8192.000-16384.000	57.0	0.0	58.5	55.6	56.9	57.3	57.7	58.0	60.0
16384.000-32768.000	56.0	0.0	57.5	54.6	55.9	56.3	56.7	57.0	59.0
32768.000-65536.000	55.0	0.0	56.5	53.6	54.9	55.3	55.7	56.0	58.0
65536.000-131072.000	54.0	0.0	55.5	52.6	53.9	54.3	54.7	55.0	57.0
131072.000-262144.000	53.0	0.0	54.5	51.6	52.9	53.3	53.7	54.0	56.0
262144.000-524288.000	52.0	0.0	53.5	50.6	51.9	52.3	52.7	53.0	55.0
524288.000-1048576.000	51.0	0.0	52.5	49.6	50.9	51.3	51.7	52.0	54.0
1048576.000-2097152.000	50.0	0.0	51.5	48.6	49.9	50.3	50.7	51.0	53.0
2097152.000-4194304.000	49.0	0.0	50.5	47.6	48.9	49.3	49.7	50.0	52.0
4194304.000-8388608.000	48.0	0.0	49.5	46.6	47.9	48.3	48.7	49.0	51.0
8388608.000-16777216.000	47.0	0.0	48.5	45.6	46.9	47.3	47.7	48.0	50.0
16777216.000-33554432.000	46.0	0.0	47.5	44.6	45.9	46.3	46.7	47.0	49.0
33554432.000-67108864.000	45.0	0.0	46.5	43.6	44.9	45.3	45.7	46.0	48.0
67108864.000-134217728.000	44.0	0.0	45.5	42.6	43.9	44.3	44.7	45.0	47.0
134217728.000-268435456.000	43.0	0.0	44.5	41.6	42.9	43.3	43.7	44.0	46.0
268435456.000-536870912.000	42.0	0.0	43.5	40.6	41.9	42.3	42.7	43.0	45.0
536870912.000-1073741824.000	41.0	0.0	42.5	39.6	40.9	41.3	41.7	42.0	44.0
1073741824.000-2147483648.000	40.0	0.0	41.5	38.6	39.9	40.3	40.7	41.0	43.0
2147483648.000-4294967296.000	39.0	0.0	40.5	37.6	38.9	39.3	39.7	40.0	42.0
4294967296.000-8589934592.000	38.0	0.0	39.5	36.6	37.9	38.3	38.7	39.0	41.0
8589934592.000-17179869184.000	37.0	0.0	38.5	35.6	36.9	37.3	37.7	38.0	40.0
17179869184.000-34359738368.000	36.0	0.0	37.5	34.6	35.9	36.3	36.7	37.0	39.0
34359738368.000-68719476736.000	35.0	0.0	36.5	33.6	34.9	35.3	35.7	36.0	38.0
68719476736.000-137438953472.000	34.0	0.0	35.5	32.6	33.9	34.3	34.7	35.0	37.0
137438953472.000-274877906944.000	33.0	0.0	34.5	31.6	32.9	33.3	33.7	34.0	36.0
274877906944.000-549755813888.000	32.0	0.0	33.5	30.6	31.9	32.3	32.7	33.0	35.0
549755813888.000-1099511627776.000	31.0	0.0	32.5	29.6	30.9	31.3	31.7	32.0	34.0
1099511627776.000-2199023255552.000	30.0	0.0	31.5	28.6	29.9	30.3	30.7	31.0	33.0
2199023255552.000-4398046511104.000	29.0	0.0	30.5	27.6	28.9	29.3	29.7	30.0	32.0
4398046511104.000-8796093022208.000	28.0	0.0	29.5	26.6	27.9	28.3	28.7	29.0	31.0
8796093022208.000-17592186044416.000	27.0	0.0	28.5	25.6	26.9	27.3	27.7	28.0	30.0
17592186044416.000-35184372088832.000	26.0	0.0	27.5	24.6	25.9	26.3	26.7	27.0	29.0
35184372088832.000-70368744177664.000	25.0	0.0	26.5	23.6	24.9	25.3	25.7	26.0	28.0
70368744177664.000-140737488355328.000	24.0	0.0	25.5	22.6	23.9	24.3	24.7	25.0	27.0
140737488355328.000-281474976710656.000	23.0	0.0	24.5	21.6	22.9	23.3	23.7	24.0	26.0
281474976710656.000-562949953421312.000	22.0	0.0	23.5	20.6	21.9	22.3	22.7	23.0	25.0
562949953421312.000-1125899906842624.000	21.0	0.0	22.5	19.6	20.9	21.3	21.7	22.0	24.0
1125899906842624.000-2251799813685248.000	20.0	0.0	21.5	18.6	19.9	20.3	20.7	21.0	23.0
2251799813685248.000-4503599627370496.000	19.0	0.0	20.5	17.6	18.9	19.3	19.7	20.0	22.0
4503599627370496.000-9007199254740992.000	18.0	0.0	19.5	16.6	17.9	18.3	18.7	19.0	21.0
9007199254740992.000-18014398509481984.000	17.0	0.0	18.5	15.6	16.9	17.3	17.7	18.0	20.0
18014398509481984.000-36028797018963968.000	16.0	0.0	17.5	14.6	15.9	16.3	16.7	17.0	19.0
36028797018963968.000-72057594037927936.000	15.0	0.0	16.5	13.6	14.9	15.3	15.7	16.0	18.0
72057594037927936.000-144115188075855872.000	14.0	0.0	15.5	12.6	13.9	14.3	14.7	15.0	17.0
144115188075855872.000-288230376151711744.000	13.0	0.0	14.5	11.6	12.9	13.3	13.7	14.0	16.0
288230376151711744.000-576460752303423488.000	12.0	0.0	13.5	10.6	11.9	12.3	12.7	13.0	15.0
576460752303423488.000-1152921504606846976.000	11.0	0.0	12.5	9.6	10.9	11.3	11.7	12.0	14.0
1152921504606846976.000-2305843009213693952.000	10.0	0.0	11.5	8.6	9.9	10.3	10.7	11.0	13.0
2305843009213693952.000-4611686018427387904.000	9.0	0.0	10.5	7.6	8.9	9.3	9.7	10.0	12.0
4611686018427387904.000-9223372036854775808.000	8.0	0.0	9.5	6.6	7.9	8.3	8.7	9.0	11.0
9223372036854775808.000-18446744073709551616.000	7.0	0.0	8.5	5.6	6.9	7.3	7.7	8.0	10.0
18446744073709551616.000-36893488147419103232.000	6.0	0.0	7.5	4.6	5.9	6.3	6.7	7.0	9.0
36893488147419103232.000-73786976294838206464.000	5.0	0.0	6.5	3.6	4.9	5.3	5.7	6.0	8.0
73786976294838206464.000-147573952589676412928.000	4.0	0.0	5.5	2.6	3.9	4.3	4.7	5.0	7.0
147573952589676412928.000-295147905179352825856.000	3.0	0.0	4.5	1.6	2.9	3.3	3.7	4.0	6.0
295147905179352825856.000-590295810358705651712.000	2.0	0.0	3.5	0.6	1.9	2.3	2.7	3.0	5.0
590295810358705651712.000-1180591620717411303424.000	1.0	0.0	2.5	-0.4	0.9	1.3	1.7	2.0	4.0
1180591620717411303424.000-2361183241434822606848.000	0.0	0.0	1.5	-1.4	-0.1	0.3	0.7	1.0	3.0
2361183241434822606848.000-4722366482869645213696.000	-1.0	0.0	0.5	-2.4	-1.1	-0.7	-0.3	0.1	2.0
4722366482869645213696.000-9444732965739290427392.000	-2.0	0.0	-0.5	-3.4	-2.1	-1.7	-1.3	-0.9	1.0
9444732965739290427392.000-18889465931478580854784.000	-3.0	0.0	-1.5	-4.4	-3.1	-2.7	-2.3	-1.9	0.0
18889465931478580854784.000-37778931862957161709568.000	-4.0	0.0	-2.5	-5.4	-4.1	-3.7	-3.3	-2.9	-1.0
37778931862957161709568.000-75557863725914323419136.000	-5.0	0.0	-3.5	-6.4	-5.1	-4.7	-4.3	-3.9	-2.0
75557863725914323419136.000-151115727451828646838272.000	-6.0	0.0	-4.5	-7.4	-6.1	-5.7	-5.3	-4.9	-3.0
151115727451828646838272.000-302231454903657293676544.000	-7.0	0.0	-5.5	-8.4	-7.1	-6.7	-6.3	-5.9	-4.0
302231454903657293676544.000-604462909807314587353088.000	-8.0	0.0	-6.5	-9.4	-8.1	-7.7	-7.3	-6.9	-5.0
604462909807314587353088.000-1208925819614629174706176.000	-9.0	0.0	-7.5	-10.4	-9.1	-8.7	-8.3	-7.9	-6.0
1208925819614629174706176.000-2417851639229258349412352.000	-10.0	0.0	-8.5	-11.4	-10.1	-9.7	-9.3	-8.9	-7.0
2417851639229258349412352.000-4835703278458516698824704.000	-11.0	0.0	-9.5	-12.4	-11.1	-10.7	-10.3	-9.9	-8.0
4835703278458516698824704.000-9671406556917033397649408.000	-12.0	0.0	-10.5	-13.4	-12.1	-11.7	-11.3	-10.9	-9.0
9671406556917033397649408.000-19342813113834066795298816.000	-13.0	0.0	-11.5	-14.4	-13.1	-12.7	-12.3	-11.9	-10.0
19342813113834066795298816.000-38685626227668133590597632.000	-14.0	0.0	-12.5	-15.4	-14.1	-13.7	-13.3	-12.9	-11.0
38685626227668133590597632.000-77371252455336267181195264.000	-15.0	0.0	-13.5	-16.4	-15.1	-14.7	-14.3	-13.9	-12.0
77371252455336267181195264.000-154742504910672534362390528.000	-16.0	0.0	-14.5	-17.4	-16.1	-15.			

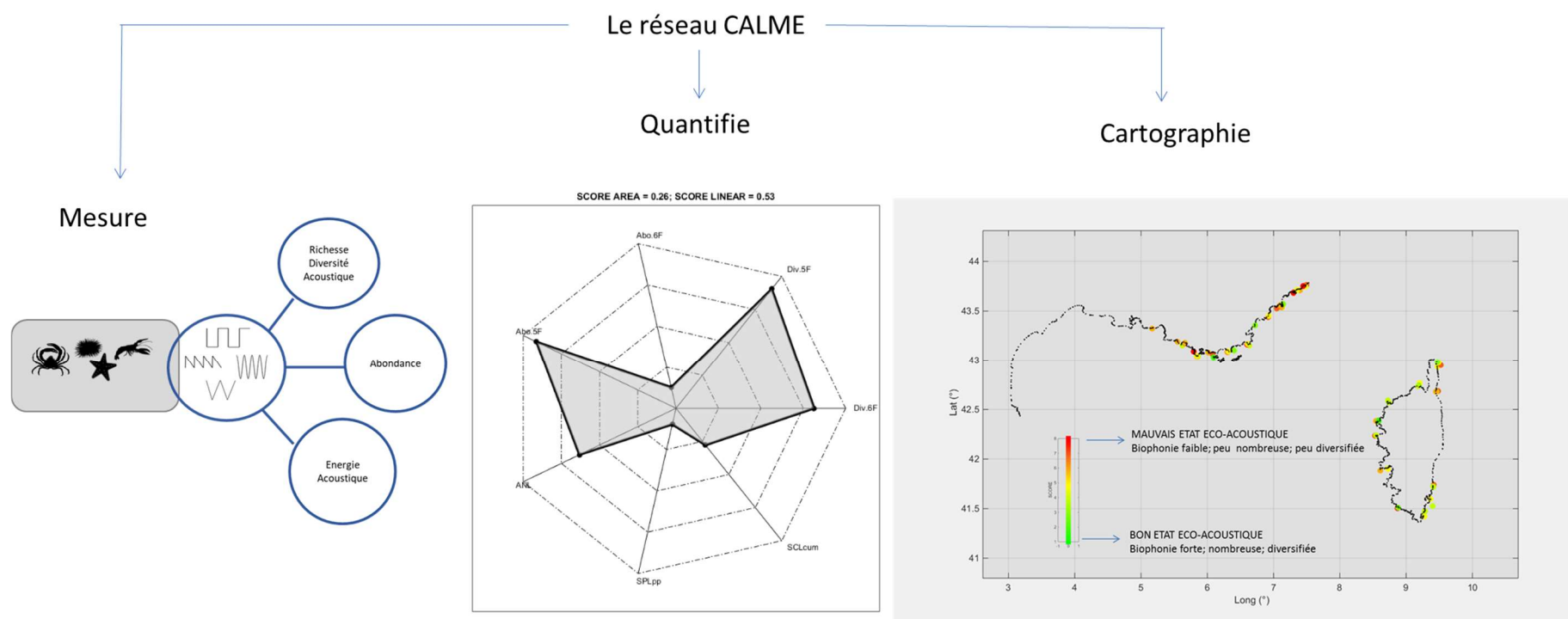
caractérise

Le réseau CALME

quantifie



Le trafic maritime en zone écologiquement sensible



L'état éco-acoustique des herbiers de posidonie et des assemblages coralligènes

2 Nature et contenu du document

2.1 Un document unique, incrémental pour suivre le réseau CALME dans son cycle de vie

Le présent rapport a pour objectif de synthétiser dans un document unique la vie du réseau CALME.

Sa version 0.3 dresse l'état des lieux pour la période du 01 Janvier 2015 au 15 Aout 2018.

A partir du 15 Aout 2018, une version sera éditée chaque semestre. Des repères calendaires sont incorporés pour identifier les principaux apports et évolutions.

La synthèse aborde tous les aspects du réseau CALME en :

- Présentant la nature et les objectifs du réseau traduits dans son architecture fonctionnelle,
- Recensant et détaillant les développements méthodologiques et techniques réalisés au fil de l'eau afin de permettre au réseau CALME de traiter et analyser ses mesures avec le meilleur de l'état de l'art¹,

- Suivant avec précision et exhaustivité les échantillonnages réalisés,
- Identifiant les traitements appliqués aux données,

2.2 Objectifs et contenu de chaque partie

La partie 3, page 20 présente l'écologie acoustique, discipline sur laquelle repose la science du réseau CALME. Nous expliquons comment le monitoring par acoustique passive permet d'étudier l'état écologique des habitats marins à partir de la biophonie et de quantifier les usages anthropiques et les pressions acoustiques qu'ils génèrent à partir de l'anthropophonie. Nous proposons une méthodologie générique pour analyser les mesures réalisées par un observatoire acoustique pour les traduire en indicateur environnemental de l'état des écosystèmes ou du niveau de pressions anthropiques. Cette méthodologie est déclinée au sein du réseau CALME. Cette partie s'achève en identifiant les différents étages fonctionnels que doit intégrer un réseau de surveillance basé sur l'acoustique passive et les différents développements nécessaires à la mise au point et la mise en œuvre opérationnelle du réseau.

¹ Notamment développé dans les actions R&D SEACOUSTICS menées en partenariat entre l'Agence de l'Eau RMC et CHORUS depuis 2014

La partie 4, page 33 présente la matière première acoustique utilisée par le réseau CALME. Nous passons en revue l'anthropophonie et la biophonie en identifiant les entités qui la génère, notamment les navires, les mammifères marins, les poissons et les invertébrés benthiques. Par type de sources, nous expliquons les processus utilisés pour émettre des sons puis nous identifions les principales caractéristiques des sons produits, qui déterminent notamment les outils de traitement à mettre en place.

La partie 5, page 39, décrit l'architecture fonctionnelle du réseau CALME. Cette structure est matricielle. Elle comprend 4 composantes fonctionnelles s'enchaînant séquentiellement pour mesurer les données, les traiter, produire les analyses et les interprétations écologiques puis diffuser les résultats. Ces composantes servent à 6 thématiques de surveillance, i) les mesures des niveaux sonores, ii) l'évaluation des usages anthropiques sur un site d'étude et des pressions acoustiques qu'ils induisent, iii) l'étude et la cartographie des effets de l'anthropophonie sur la faune marine, iv) de l'état du compartiment benthique, v) du compartiment ichtyologique et vi) des cétacés.

La partie 6, page 52, s'intéresse à la composante fonctionnelle dédiée à l'acquisition de données. Nous identifions l'instrumentation acoustique utilisée dans le réseau CALME puis nous présentons exhaustivement les collectes de données réalisées par le screening de façade, les points de mesure fixes en continu et les explorations par le glider SeaExplorer. Cette collecte ambitieuse repose sur les compétences d'acteurs de terrain identifiés en fin de partie.

Pour exposer les travaux réalisés entre le 01 Janvier 2015 et le 15 Aout 2015 en termes de traitements et d'analyses écologiques, nous avons choisi une présentation par thématique de surveillance. Pour les thématiques les plus

avancées, nous détaillons les développements méthodologiques et d'outils réalisés puis nous identifions les traitements réalisés et nous reportons nos analyses. Les composantes moins avancées sont dûment identifiées, alors un résumé succinct est proposé et des perspectives et l'agenda associé sont fournis. Ainsi :

- *la partie 7, page 60* est dédiée à la surveillance des niveaux de bruit en méditerranée. Thématique bien avancée, la partie débouche sur l'exposé des distributions statistiques et la cartographie des niveaux de bruit identifiés par la DCSMM ((Tasker et al. 2010, Dekeling et al. 2016) , descripteur 11, critère 2, tiers d'octave 63 Hz, 125 Hz) pour la Méditerranée Occidentale et dresse une comparaison avec les autres mesures connues en Europe,
- *la partie 8, page 69* aborde le monitoring par acoustique des usages avec un focus sur le comptage du nombre de passage d'embarcations motorisées petites et grandes dans le rayon de captation (~500 m) autour de l'hydrophone et une mesure des niveaux sonores induits par ces passages. Thématique bien avancée, la partie présente les séries annuelles de fréquentation dans la réserve de Cap Couronne et dans la baie de la Revellata,
- *la partie 9, page 74* s'intéresse à la surveillance des effets acoustiques des activités anthropiques sur la faune marine. Cette partie étant à peine débutée, nous exposerons nos perspectives de développement pour la fin de l'année 2018 et l'année 2019,
- *la partie 10, page 75* aborde la surveillance de l'état du compartiment benthique par acoustique passive. Cette thématique est bien avancée. Nous présentons une chaîne de traitement totalement automatisée qui

débouche sur une notation de l'état éco-acoustique du compartiment benthique et sur la cartographie de cet état à l'échelle de la façade Méditerranée Occidentale,

- [la partie 11, page 81](#) aborde la surveillance de l'état du compartiment ichtyologique par acoustique passive. Bien qu'il manque quelques outils de traitement automatique, cette thématique est bien avancée grâce à une analyse manuelle des données lorsque les outils ont fait défaut. La partie débouche sur le portrait des productions ichtyo-sonores des biocénoses « herbier », « limite inférieure » et « coralligène » à l'échelle de la façade, établit les différences entre biocénoses et entre le continent et la corse. Finalement, la partie s'achève par une notation en trois états (bon, moyen, mauvais) de la production sonore ichtyologique des points de screening de façade,
- [la partie 12, page 90](#) s'intéresse à la surveillance des cétacés. Cette thématique n'a pas encore été mise en œuvre à date et sera implémentée en 2019 sans problème puisque CHORUS possède d'ores et déjà tous les outils d'analyse qui seront identifiés.

[La partie 13, page 91](#) expose les travaux réalisés pour la composante fonctionnelle « diffusion », elle identifie les résultats mis à disposition sur la plateforme MedTRIX à la date du 15 Aout 2018 et prévus pour le 31 Décembre 2018. Nous présentons ensuite les articulations entre la plateforme MedTRIX communautaire aux réseaux de l'Agence de l'Eau RMC et la plateforme WEB-CALME spécifique au réseau CALME en cours de développement (date prévisionnelle de mise en ligne, mars 2019).

[La partie 14, page 92](#), recense toutes les actions de diffusion de connaissance et de valorisation scientifique visant un public professionnel. Quatre items sont suivis, i) les publications en revues internationales à comité de lecture de CHORUS connexes au réseau CALME mais fournissant des outils et/ou des données d'entrée nécessaire au réseau, ii) les publications en revues internationales à comité de lecture présentant le réseau et/ou utilisant ses données, iii) les communications scientifiques internationales présentant le réseau CALME et/ou utilisant ses données, iv) les communications scientifiques présentant le réseau CALME et/ou utilisant ses données dans des ateliers et journées d'études en France.

[La partie 1, page 7](#), « Résumé exécutif », fait office de synthèse et de conclusion dans une partie auto-suffisante, de volume réduit et présentée en début de document.

Le rapport s'achève par 10 annexes détaillant des développements spécifiques de nos travaux.

Bonne lecture. CG/LDI/JL/PB

3 Le contexte du réseau CALME

Nous présentons l'écologie acoustique, discipline sur laquelle repose la science du réseau CALME. Nous expliquons comment le monitoring par acoustique passive permet d'étudier l'état écologique des habitats marins à partir de la biophonie et de quantifier les usages anthropiques et les pressions acoustiques qu'ils génèrent à partir de l'anthropophonie. Nous proposons une méthodologie générique pour analyser les mesures réalisées par un observatoire acoustique pour les traduire en indicateur environnemental de l'état des écosystèmes ou du niveau de pressions anthropiques. Cette méthodologie est déclinée au sein du réseau CALME. Cette partie s'achève en identifiant les différents étages fonctionnels que doit intégrer un réseau de surveillance basé sur l'acoustique passive et les différents développements nécessaires à la mise au point et la mise en œuvre opérationnelle du réseau.

3.1 Ondes acoustiques, Environnements marins, écologie et paysages acoustiques

Alors que les ondes électromagnétiques pénètrent l'eau de quelques centimètres et les ondes lumineuses de quelques mètres, les ondes acoustiques s'y propagent très bien en tirant parti de l'incompressibilité de l'eau. La vitesse du son dans l'eau est 5 fois supérieure à celle dans l'air, 1500 m/s contre 330 m/s et ceci sur des centaines de kilomètres pour les infrasons des baleines à fanon et des émissions sismiques humaines. Les mers n'ont jamais été silencieuses. Depuis 15 ans, l'écologie acoustique ([Krause 1987](#), [Sueur & Farina 2015](#)) s'impose comme une solution novatrice pour mieux comprendre la structure, le fonctionnement

et la dynamique des écosystèmes marins ; elle consiste à inférer les processus biologiques, écologiques, océanographiques ou anthropiques en cours au sein d'un écosystème à partir du paysage acoustique qu'il génère.

Un paysage acoustique sous-marin est constitué de tous les sons, émis dans une aire d'intérêt ou transitant à travers celle-ci ([Krause 1987](#)), associés à leurs variabilités spatio-temporelles. Il rassemble en un seul vecteur d'information les émissions sonores des phénomènes naturels abiotiques (la géophonie, ([Nystuen 1986](#), [Kinda et al. 2015](#), [Mathias et al. 2016](#))), humaines (l'anthropophonie, ([Gervaise, Simard, et al. 2012](#))), et de la faune marine (la biophonie). Les principaux producteurs de la biophonie marine sont les cétacés, les poissons ([Amorim 2006](#), [Di Iorio et al. 2018](#), [Parmentier et al. 2018](#)) et les invertébrés benthiques ([Versluis et al. 2000](#), [Di Iorio et al. 2012](#), [Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016](#)). Pour un grand nombre d'espèces marines, le son joue un rôle vital car il sert à la communication, la défense du territoire, la reproduction, la recherche de nourriture et d'habitat idéal ([Tolimieri et al. 2000](#), [Popper et al. 2001](#), [Bass & Clark 2003](#)). Les sons sous-marins constituant un paysage acoustique couvrent une très vaste gamme de fréquences, des infrasons de quelques Hertz aux ultrasons de plus de 100 kilohertz et explorent une très grande dynamique de niveaux sonores de 80 dB pour les bruits ambiants les plus faibles à plus de 230 dB pour les battages de pieux et les explosions sous-marines. Les portées des sons vont de quelques mètres au millier de kilomètres. La portée croît avec le niveau sonore émis et décroît avec la fréquence.

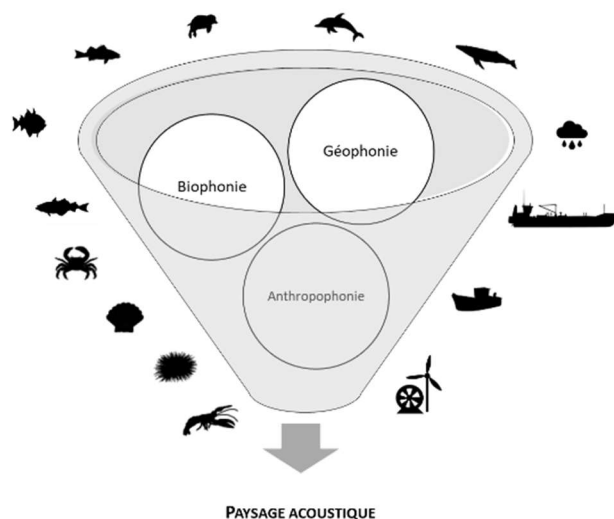


Figure 1 : Les sons émis par la faune marine, les phénomènes naturels abiotiques et les activités humaines forment la biophonie, la géophonie et l'anthropophonie qui se mélangent pour donner naissance à un paysage acoustique

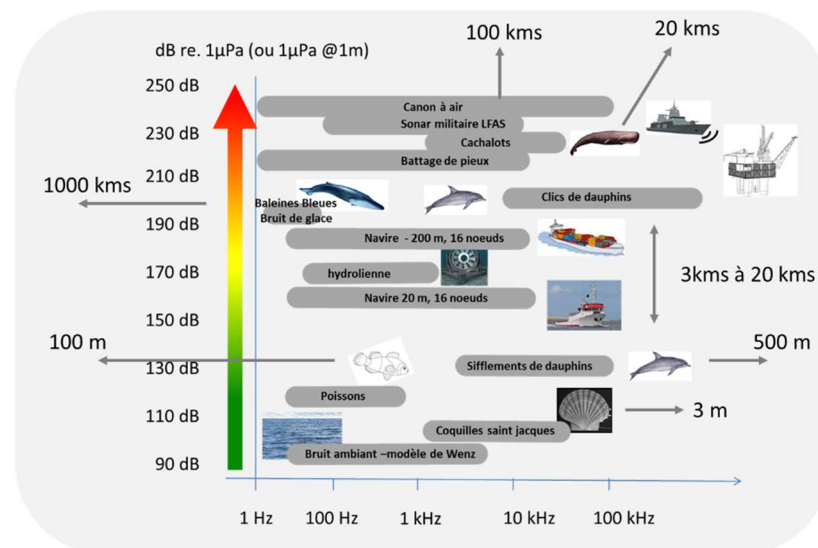


Figure 2 : Panorama des sources sonores sous-marines : fréquence, niveau sonore, portée

3.2 Les développements instrumentaux de la dernière décennie permettent la mesure des paysages acoustiques sous-marins pour des applications environnementales

A la fin des années 1990 apparaît une offre de location d'enregistreurs acoustiques de type PoP-Up de Cornell University. Le premier enregistreur destiné aux usages civils disponible à l'achat fut commercialisé en 2004 (système AURAL de la société MTE (<http://www.multi-electronique.com>) créé grâce à un partenariat avec Y. Simard, du ministère des pêches et océans canadien et de l'institut des sciences de la mer de l'université du Québec à Rimouski). Le premier enregistreur à plusieurs hydrophones permettant une écoute directionnelle fut commercialisé en 2010 par la société lorientaise RTSYS (<https://rtsys.eu/fr/>). Depuis l'offre commerciale internationale explose ((*Sousa-Lima et al. 2013*): CMST – Curtin University (AUS), Cetacean Research Technology (USA), JASCO (CA), DBV Technology (USA), EAR Technology NOAA (USA), Loggerhead (USA), MTE (CA), Ocean Instrument (NZ), Osean Underwater technology (fr), RTSYS (Fr), SAES Electronica Submarina (SP), Seiche Marine Technology (UK), Wildlife (USA).

L'annexe 1 page 103 présente des caractéristiques essentielles et les points clés d'une instrumentation de mesure des sons sous-marins.



Figure 3 : Panel d'enregistreurs acoustiques disponibles sur le marché (de gauche à droite des développeurs : Loggerhead, Ocean Instrument NZ, Seiche Marine Technology, JASCO, RTSys, Osean Underwater technology, Wildlife, MTE, Cetacean Research Technology, SAEZ Electronica Submarina DBV Technology

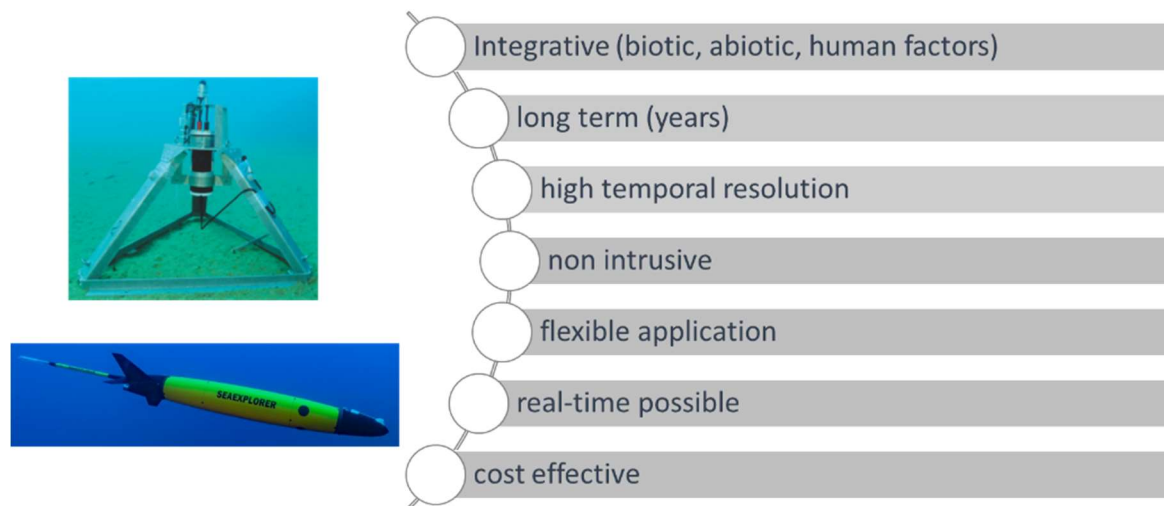


Figure 4 : Points forts opérationnels d'un suivi acoustique, apportés par les performances des enregistreurs acoustiques récents

3.3 La biophonie permet une évaluation de l'état des écosystèmes

La discipline nouvelle de l'écologie acoustique ou de l'écologie des paysages acoustiques (*Pijanowski et al. 2011*) mesure les paysages acoustiques et les utilise comme proxy environnemental pour évaluer la biodiversité, les communautés animales (*Sueur et al. 2008, Zenil et al. 2011, Sueur et al. 2014, Nedelec et al. 2015, Hastings & Širović 2015, Harris et al. 2016*), les activités de la faune marine et les processus écologiques (Hawkins 1986, Crawford et al. 1997, Acevedo-Gutiérrez & Stienessen 2004, Amorim 2006, Radford et al. 2008, Di Iorio et al. 2012, Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016, Ricci et al. 2016), puis les relier avec les processus océanographiques, les propriétés de l'habitat et de l'environnement (*Mann & Grothues 2009, Kennedy et al. 2010, Radford et al. 2010, McWilliam & Hawkins 2013, Staatterman et al. 2013, 2014, Lillis et al. 2014, Nedelec et al. 2015, Bertucci et al. 2015, Ruppé et al. 2015*) et leur état de conservation/dégradation, qualité (*Watanabe et al. 2002, Piercy et al. 2014, Rossi, Connell, et al. 2016, Rossi, Nagelkerken, et al. 2016, Harris et al. 2016, Coquereau, Jolivet, et al. 2016, Bertucci et al. 2016, Coquereau et al. 2017*).

Les différents travaux de la communauté scientifique démontrent une différence significative entre la biophonie des écosystèmes en « bon état » et des écosystèmes en « mauvais état ». Ces résultats démontrent que les sons émis par les poissons et par les invertébrés benthiques sont de bons candidats pour l'écologie acoustique, ils sont nombreux et disponibles en tout temps et leurs assemblages sont conditionnés par les paramètres environnementaux. Aligné avec ces travaux, le réseau CALME se focalise dans un premier temps sur la surveillance des biophonies benthiques et ichthyologiques.

L'annexe 2, page 105 , présente une synthèse des travaux réalisés en écologie acoustique appliquée aux écosystèmes marins entre 2010 et 2018, à notre connaissance, en fonction de l'échelle spatiale étudiée, de la plus large à la plus fine.

3.4 L'anthropophonie permet le monitoring des usages, elle est une pression 'nouvelle' sur les écosystèmes marins

Depuis la révolution industrielle la présence humaine en mer n'a cessé d'augmenter. Dans un laps de temps bien plus court que celui de l'évolution des espèces animales, la production sonore liée à ces activités s'est imposée aux animaux marins ([Ross 2005](#), [Hildebrand 2009](#)).

Les travaux liés aux constructions des installations portuaires, EMR (Energies Marines Renouvelables) et offshore (dragage, tranchage, charriage, forage, pompage, vibrofonçage, battage de pieux, déroctage à l'explosif), les activités géophysiques et sonar (sismique, sonar militaire, sondeurs sédiment, sondeur bathymétrique, tomographie acoustique), les explosions sous-marines, les EMR en production (éoliennes, hydroliennes, récupération de l'énergie de la houle), les embarcations motorisées (navires commerciaux transports de biens et de passagers, barges, câbliers, navires militaires, navires sismiques, navires scientifiques, navires de pêches, plaisance récréative, jet-ski ..) sont autant de sources sonores anthropiques.

De la même façon que les activités biologiques peuvent être suivies par acoustique passive, la communauté a recours à l'acoustique passive pour détecter, localiser et caractériser les activités humaines. Historiquement, ces observations ont été développées pour des applications de défense comme la détection de sous-marins ([Cummings & Thompson 1994](#)) la détection d'explosions nucléaires sous-marines dans le cadre du traité de non-prolifération des expériences nucléaires ([Roueff et al. 2004](#)), la surveillance de trafic maritime en zones portuaires et fluviales ([Sorensen et al. 2010](#), [Sutin et al. 2010](#), [Das et al. 2011](#), [Sutin et al. 2013](#)). En fonction de la nature des activités humaines réalisées, les émissions sonores couvrent une large gamme de niveau à la source, de fréquences et prennent la forme de signaux dit impulsifs² et des signaux continus³.

Les échouages massifs de cétacés après des émissions sonar lors d'exercices militaires ([Evans & England 2001](#), [Fernandez et al. 2004](#), [Cox et al. 2006](#)) ont mis sur la place publique l'existence d'effets négatifs des émissions sonores humaines sur la faune marine. Les émissions sonores humaines génèrent une large gamme d'impacts négatifs adressant les mammifères marins, les poissons, les tortues marines et les invertébrés benthiques :

² Signaux courts de forte puissance comme les sons générés par les explosions sous-marines, la sismique marine, le battage de pieux...

³ Bruit des navires, du dragage, du forage ...

- En réponse à des sources de niveau modéré à fort, le masquage des communications, les réactions comportementales⁴, les perturbations physiologiques⁵ forment une première famille d'impacts considérés comme modérés à l'échelle de l'individu et à court terme mais pouvant avoir des retentissements plus importants sur le long terme et à l'échelle des populations. Ces impacts, bien qu'importants, restent mal connus ([NRC 2005](#)).
- En réponse à des sources de niveau fort à extrême, les dégradations temporaires ou permanentes de l'appareil auditif, les réactions de panique pouvant entraîner des accidents de décompression chez les cétacés plongeurs comme les baleines à bec et les globicéphales, les dégradations des tissus et des organes vitaux comme la vessie natatoire des poissons forment la famille des impacts « forts » ou « aigus » possiblement léthaux à l'échelle des individus et à courts termes. Ces impacts et les seuils associés sont mieux connus⁶ car plus étudiés même s'il persiste encore des incertitudes considérables.

Les défenseurs de l'environnement, la société civile, les pouvoirs publics et les professionnels de monde marins ont pris conscience, depuis une décennie, des impacts potentiels des émissions sonores humaines sur la faune marine, de la nécessité d'évaluer le niveau de pression appliqué aux animaux et produire des recommandations, de prendre des décisions et d'émettre des règlements visant à réduire ces impacts. Cette prise de conscience est mondiale⁷, européenne⁸ et française (Plan d'Action pour le Milieu Marin). Elle adresse autant les sons impulsionnels forts que les sons chroniques comme le bruit engendré par le trafic maritime.

Alors que le trafic maritime hauturier est très bien décrit par le système AIS, ce n'est pas du tout le cas pour les environnements côtiers (exemple : pour la baie de la Revellata et la période du 21 au 28 juillet 2016, 1200 passages d'embarcations ont été relevés par un suivi vidéo alors 76 navires possédaient un AIS, données non publiées de CHORUS). Sauf si il s'agit de caractériser les niveaux sonores induits par le trafic maritime (McKenna et al. 2012, Gervaise, Simard, et al. 2012, Veirs et al. 2016, Simard et al. 2016) pour lesquels toutes les

⁴ Evitement, fuite, modification des rythmes de plongées et des profondeurs d'immersion, agressivité, déficit de l'attention induisant une moindre efficacité des actions de chasses ou une réduction de la distance minimale avec les prédateurs

⁵ Augmentation du rythme cardiaque, génération d'hormones de stress...

⁶ ([Southall et al. 2007](#), [National Marine Fisheries Service 2016](#)) pour les mammifères marins, ([Popper et al. 2014](#)) pour les poissons et les tortues marines

⁷ IMO guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life ([ASCOBANS 2014](#)).

⁸ Parlement européen et Conseil de l'Union Européenne. (2008). Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre "stratégie pour le milieu marin").

capacités techniques sont disponibles, il existe très peu d'exemples de suivi acoustique des usages (trafic professionnel et récréatif, pêches professionnelles et récréatives, jet-ski, plongée sous-marine etc.). Cette application inexplorée à ce jour sera l'un des axes de développement du réseaux CALME.

3.5 L'approche originale proposée par CHORUS pour réaliser une surveillance acoustique

Les paysages acoustiques, via leur biophonie et leur anthropophonie, portent des informations sur les communautés animales émettrices de sons et les communautés d'usagers présentes au sein d'un écosystème. Les développements récents en acoustique sous-marine (enregistreurs, algorithmes de traitement) et en écologie acoustique laissent penser que l'on peut extraire ces informations à partir de la mesure des paysages acoustiques. Le parti-pris méthodologique que nous avons retenu spécifiquement pour le réseau CALME consiste à décrire, quantifier et évaluer la biophonie et l'anthropophonie de la même façon que les communautés animales et les communautés d'usage (cf. Figure 5) où trois axes de quantification sont utilisés :

- L'axe « Richesse et Diversité spécifique » : richesse = combien d'espèces ou d'usages sont présents ? diversité = les animaux et les usages se répartissent-ils uniformément par espèce ou type d'usages ?
- L'axe « Abondance » : Quel est le nombre d'animaux présents ou le nombre d'usagers ?

- L'axe « biomasse ou intensité des usage » : quel est le poids total des animaux ? quelle est l'intensité des usages (les bateaux vont-ils doucement ou vite, les pêcheurs sont-ils bien équipés...).

Ainsi nous considérons la biophonie et l'anthropophonie comme des communautés acoustiques dont la description quantitative est réalisée suivant 3 axes :

- L'axe « Richesse et Diversité acoustique » : Richesse = combien de familles de sons constituent le répertoire acoustique ? Diversité = comment les sons se distribuent-ils au sein des familles ? équitablement ? de manière déséquilibrée ?
- L'axe « Abondance » : combien de sons sont produits par unité de temps et/ou de surface ?
- L'axe « Energie acoustique » : cet axe établit un parallèle avec l'axe biomasse, il évalue le « poids global » des sons émis en calculant l'énergie acoustique produite par unité de temps et/ou de surface et plus globalement les niveaux sonores.

Nous noterons dans notre approche que la caractérisation de la biophonie et de l'anthropophonie est quantitative et est compatible avec la proposition de scores acoustiques : une biophonie est en « bon état » si elle est riche, diversifiée, abondante et forte, une anthropophonie est « une pression importante » si elle est riche, diversifiée, abondante et forte.

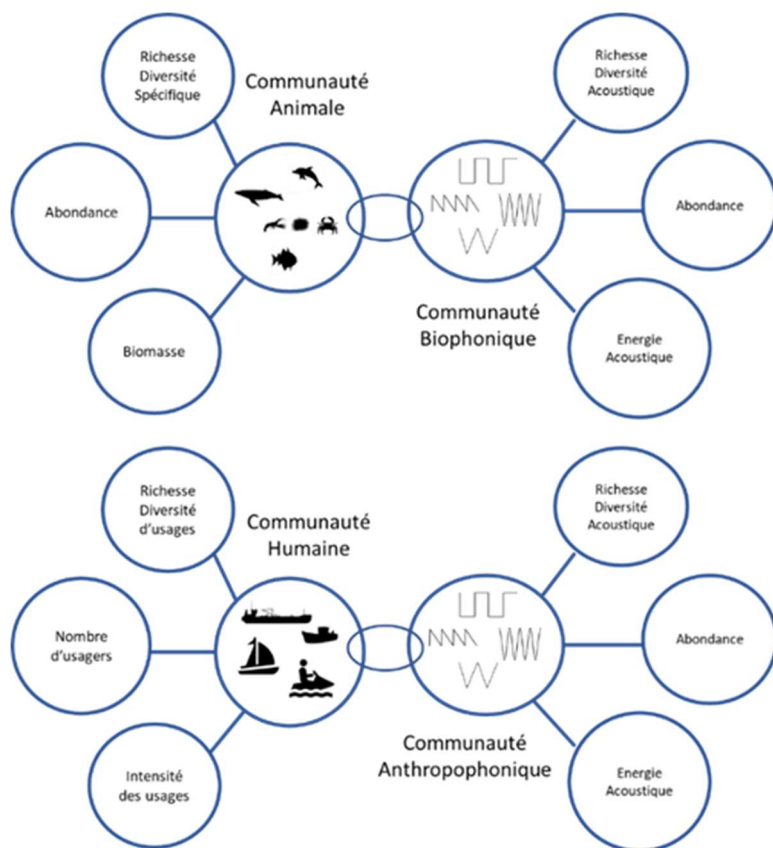


Figure 5 : Cadre méthodologique de l'approche proposée par CHORUS : décrire les communautés biophoniques et anthropophoniques suivant les mêmes axes que la description des communautés animales ou des communautés d'usages

Après réalisation des mesures sur des périodes adaptées et application d'algorithmes de traitement et d'analyses des paysages acoustiques, les communautés biophoniques et anthropophoniques sont quantifiées et servent dans un premier temps de proxy global pour la surveillance des communautés animales et des usages (cf. Figure 6). Pour la biophonie, nous ne cherchons pas à associer de façon univoque un son avec une source donnée, mais nous considérons que la production sonore vue dans son ensemble renseigne globalement sur la communauté animale et sur l'habitat l'hébergeant. Cette vision globale est suffisante pour faire un diagnostic environnemental novateur, car il existe à notre connaissance peu de méthodes permettant de recueillir un témoignage de l'activité animale de façon non intrusive, sur de longues durées et sur des surfaces importantes (rayon d'écoute estimé de l'ordre de 500 mètres pour les sons des poissons et des invertébrés benthiques). D'autre part, elle permet de ne pas attendre l'identification de toutes les espèces sonifères. Pour les espèces animales dont les vocalisations sont connues et stéréotypées comme les corbs, les mérus ou les ophidions, une approche par espèces peut être implémentée où nous rechercherons plus spécifiquement à détecter la diversité, l'abondance et la puissance sonore d'une famille donnée de signatures. Finalement, le choix d'espèces animales ciblées dont nous connaissons les capacités auditives et la puissance sonore des activités anthropiques d'étudier les effets des émissions sonores anthropiques sur ces espèces.

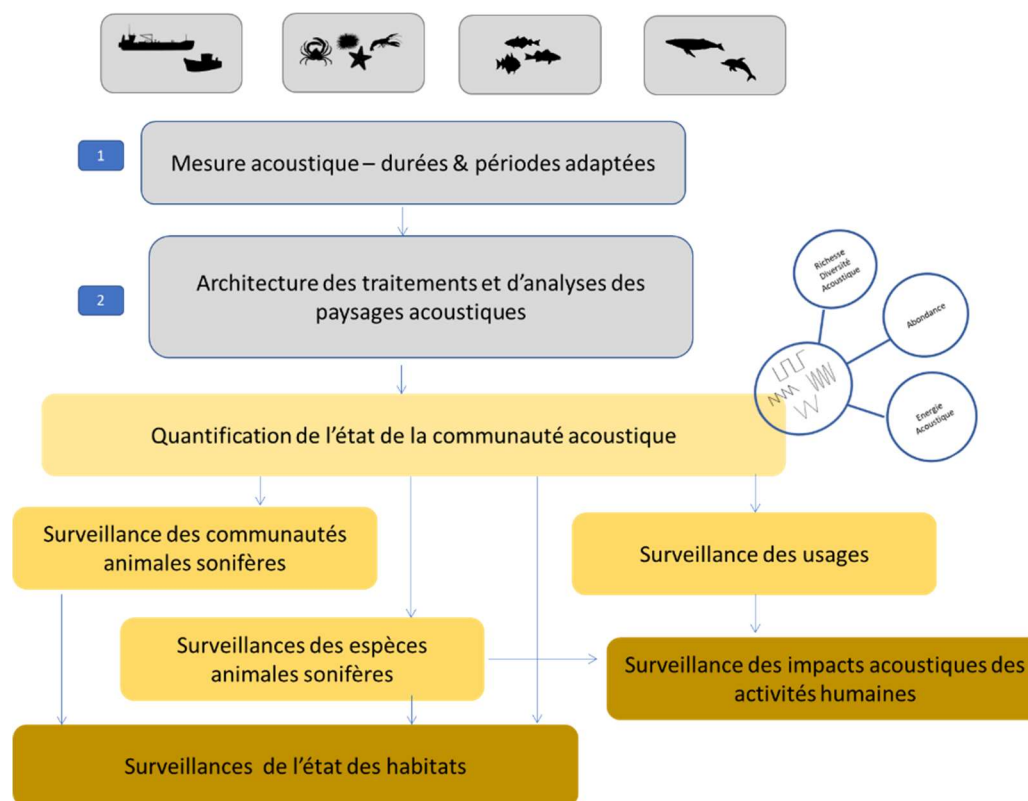


Figure 6 : Utilisation des communautés acoustiques quantifiées pour la surveillance des communautés animales et des usages

3.6 Les objectifs, les attendus et le workflow du réseau CALME

L'institut de recherche CHORUS et l'Agence de l'Eau RMC ont établi un partenariat depuis 2015 pour créer et opérer de manière pérenne un réseau de monitoring par acoustique passive de la façade « Méditerranée Occidentale ». Ce réseau dénommé CALME pour Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes a pour objectif principal de tirer profit des avancées rapides en écologie acoustique pour mieux surveiller la méditerranée. Plus précisément les objectifs déclinés sont :

- De mesurer et cartographier le bruit ambiant en Méditerranée Française via un mix mesure-simulation,
- D'interpréter et de décrire ces mesures en termes de paysages acoustiques,
 - o Quelles sont les propriétés des sons sous-marins (fréquence, niveau...) ?
 - o Quelle est la nature des sources générant ces sons (anthropophonie, géophonie, biophonie) ?
 - o Quelles sont les variabilités spatio-temporelles ?
- D'utiliser les paysages acoustiques comme un proxy de la qualité environnementale,
 - o Pour quantifier la vitalité biologique des sites (diversité spécifique, abondance, utilisation fonctionnelle) via la biophonie,
 - o Pour décrire les liens entre l'état biologique et les paramètres environnements comme la qualité des habitats

- o Pour quantifier les pressions acoustiques de nature anthropique et étudier leurs impacts potentiels sur la faune marine,
 - o Etudier les liens entre les états biologiques et les pressions anthropiques,
- De contribuer à la réalisation des mandats de l'Agence de l'Eau RMC pour la surveillance du bassin méditerranéen et le recueil de mesures *in situ* pour les directives cadres européennes sur l'eau (DCE) et sur la stratégie pour le milieu marin (DCSMM), dans le domaine des sons sous-marins.
- De contribuer aux recherches en écologie des paysages acoustiques et en impacts de l'anthropophonie sur la faune marine menées par CHORUS.

Depuis sa création en 2015, le réseau CALME possède un ancrage côtier en se focalisant sur deux habitats d'intérêt communautaire, les herbiers de posidonie et les assemblages coralligènes. Le principe sous-tendant au développement du réseau CALME est la mutualisation avec les réseaux de surveillance soutenus par l'Agence de l'Eau RMC adressant ces deux habitats. La mutualisation s'opère tant dans une logique de réduction des coûts et efforts de mise en œuvre que dans l'amélioration de la surveillance par un croisement d'observations multidisciplinaires.

Sous l'impulsion de la DCSMM, le réseau CALME a vécu une ouverture hauturière. En effet la directive recommande de suivre les niveaux de bruit sous-

marins dans les tiers d'octave centrés sur 63 Hz et 125 Hz (descripteur 11 – critère 2) pour rendre compte de la pression induite par le trafic maritime. Comme les points côtiers dédiés à la posidonie et aux assemblages coralligènes sont éloignés des grandes lignes de trafic commercial et de transport de passager et puisque les environnements de profondeur limitée ne permettent pas une bonne écoute des sons de basses fréquences, le réseau CALME s'est enrichi en 2017 de mesures hauturières par glider et sera complété en 2019 par de points de mesure profond (~ 150 mètres) dans le golfe du Lion et en tête de canyon de Calvi.

Le réseau CALME repose sur la notion des descripteurs et d'indicateurs acoustique :

- ✓ Les descripteurs acoustiques évaluent les sons présents au sein d'un paysage acoustique en termes de propriétés (niveaux, formes temporelles et spectrales), de diversité (nombre de familles/signatures sonores), d'abondance et de puissances sonores, ils mettent en chiffre une communauté acoustique (*Farina & James 2016*),
- ✓ Un indicateur est défini pour un besoin d'observation d'un processus cible ayant lieu au sein de l'écosystème étudié, il se présente comme une fonction d'un ou plusieurs descripteurs acoustiques dont la valeur peut être reliée à l'existence et à l'intensité du processus cible.

Durant la période du 1^{er} janvier 2015 au 15 août 2018, des travaux de deux natures bien distinctes ont été réalisés en parallèle : la création pas à pas du réseau du réseau CALME et la mise en œuvre opérationnelle de chaque composante dès

leur création. La Figure 7 expose l'architecture fonctionnelle du réseau et les travaux de développement qui ont dû être réalisés :

- Une première composante fonctionnelle (CF1, Figure 7) assure l'acquisition des données, les points abordés pour la création du réseau ont été le choix de l'instrumentation, la définition des protocoles de mesure et la création d'une équipe d'opérateurs de terrain en s'appuyant sur les réseaux déjà existants,
- Deux composantes abordent l'interprétation des données. La première composante (CF2, Figure 7) purement acoustique traite les données brutes pour en extraire des descripteurs quantifiant la diversité, l'abondance et l'énergie sonore des sons d'intérêt. Les points de développement ont été la création d'algorithmes spécifiques et l'acquisition de serveurs de calcul, certains algorithmes sont encore en cours de développement. La seconde composante (CF3, Figure 7) effectue le lien entre les descripteurs acoustiques et l'état des communautés animales, des habitats et quantifie les pressions, la composante fournit des indicateurs environnementaux basés sur la mesure acoustique. Les points de développement ont été la proposition de méthodes d'analyse intégrant les données des autres réseaux de surveillance de l'Agence de l'Eau RMC. Certaines méthodes sont encore en cours de développement.
- Une quatrième composante (CF4, Figure 7) aborde la diffusion des cartes et séries temporelles via deux plateformes complémentaires, la plateforme MedTRIX dédiée à l'intégration et la mutualisation des résultats des réseaux du surveillance de l'Agence de l'Eau RMC et la

plateforme WebCALME créée spécifiquement pour la diffusion des résultats du réseau CALME. Les travaux développés ou en cours sont l'acquisition d'un serveur de stockage, l'établissement des liens avec l'équipe MedTRIX.

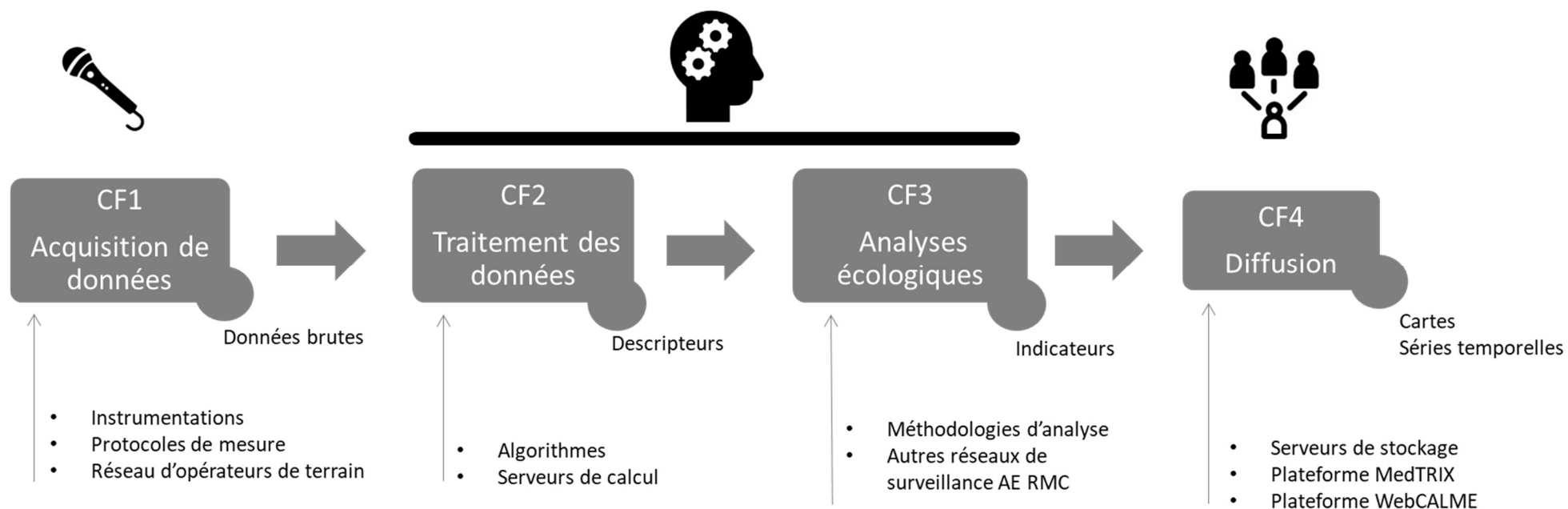


Figure 7 : Chaîne fonctionnelle du réseau de surveillance CALME en opération (rectangle gris – texte blanc) et Actions de développement réalisées entre 2015 et 2018 (textes noirs et flèches grises)

4 La matière première du réseau CALME : sources productrices de sons et les principales caractéristiques de la biophonie et de l'anthropophonie

4.1 A propos du choix des sources sonores étudiées par le réseau CALME [2015-2018]

Le réseau CALME s'intéresse à l'évaluation de l'état écologique des écosystèmes grâce à la biophonie considérée comme un proxy de l'état des communautés animales et des habitats. Il s'agit de choisir les sons ou les familles de sons possédant un bon potentiel pour servir de « sons indicateurs » : production sonore nombreuse et/ou régulière par des animaux marins plutôt grégaires et dont la distribution, l'abondance et le niveau d'activités sont conditionnés par l'état de l'habitat. Après une découverte des paysages acoustiques méditerranéens lors du projet pilote SEACOUSTICS 2014 et conformément la bibliographie des acteurs de la communautés de l'écologie acoustique (cf. paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, page 24), nous avons choisi d'exploiter la production sonore des invertébrés benthiques (*Lossent et al. 2017*) et la production sonore des poissons qu'elle soit très abondante et stéréotypée (*Di Iorio et al. 2018*) ou régulière et très diversifiée (*Desidera et al. 2018*).

Concernant l'anthropophonie, le choix est imposé par le type d'activités humaines et d'usages que l'on souhaite monitorer et dont on doit étudier l'impact. Pour la période [2015, 2021] et en ligne avec la DCSMM, nous avons choisi de travailler sur le bruit de trafic maritime et notamment sur les embarcations motorisées en transit tant pour les domaines côtiers qu'hauturier.

4.2 L'anthropophonie

4.2.1 Les sources productrices de sons

Les activités humaines en mer dans leur grande majorité produisent des émissions sonores, volontaires ou non (*Hildebrand 2009*). En fonction de la nature des activités humaines réalisées, les émissions sonores couvrent une large gamme de niveaux à la source, de fréquences et prennent la forme de signaux dit impulsionnels⁹ et des signaux continus¹⁰.

Les constructions d'infrastructures en mer sont productrices de sons notamment pour les installations de production d'Energies Marines Renouvelables (EMR), les infrastructures portuaires et offshore. Les activités

⁹ Signaux courts de forte puissance comme les sons générés par les explosions sous-marines, la sismique marine, le battage de pieux...

¹⁰ Bruit des navires, du dragage, du forage ...

sonores impliquées sont le dragage, le clapage, le tranchage, le charruage, le forage, le pompage, le vibro-fonçage, le battage de pieux, le déroctage à l'explosif.

Alors que les travaux de construction sont temporaires, les activités permanentes d'exploitation et d'utilisation du domaine marin sont elles aussi productrices de sons. Les activités sonores impliquées sont les installations EMR en phase de production (éolienne, hydrolienne, récupération d'énergie de la houle), la pêche, l'extraction de granulats marins, les plateformes offshore gaz et pétrole, le trafic maritime *sensu largo* (navires commerciaux, transports de biens et de passagers, barges, câbliers, navires militaires, navires sismiques, navires scientifiques, navires de pêches, plaisance récréative, jet-ski ...).

En plus des activités humaines précédemment citées, il existe des activités anthropiques qui émettent volontairement des sons à des fins de monitoring de l'environnement comme la géophysique ou la reconnaissance sonar. Les activités considérées sont la sismique marine, les sonars militaires LSM, les sondeurs de sédiments, les sondeurs bathymétriques, la tomographie acoustique.

Finalement, nous mettons en avant le cas spécifique des explosions marines, dont le pétardage en mer d'anciennes munitions et bombes de la seconde guerre mondiale, qui génèrent des sons d'une puissance extrême.

4.2.2 Focus sur Les sources productrices de sons dans un bateau

Les sources sonores au sein d'un bateau sont issues de 4 phénomènes principaux (*Urlick 1967, Arveson & Vendittis 2000*) i) les bruits hydrodynamiques créés par la vague d'étrave, ii) les vibrations des pièces tournantes au sein du navire transmises dans l'eau par la coque, iii) les vibrations de la ligne de propulsion transmises dans l'eau par l'hélice, iv) la cavitation de l'hélice. La vague d'étrave et la cavitation génèrent un bruit large bande allant de 10 Hz à 10 kHz. Les bruits générés par les vibrations mécaniques des pièces tournantes excitent des fréquences particulières et génèrent un spectre de raies.

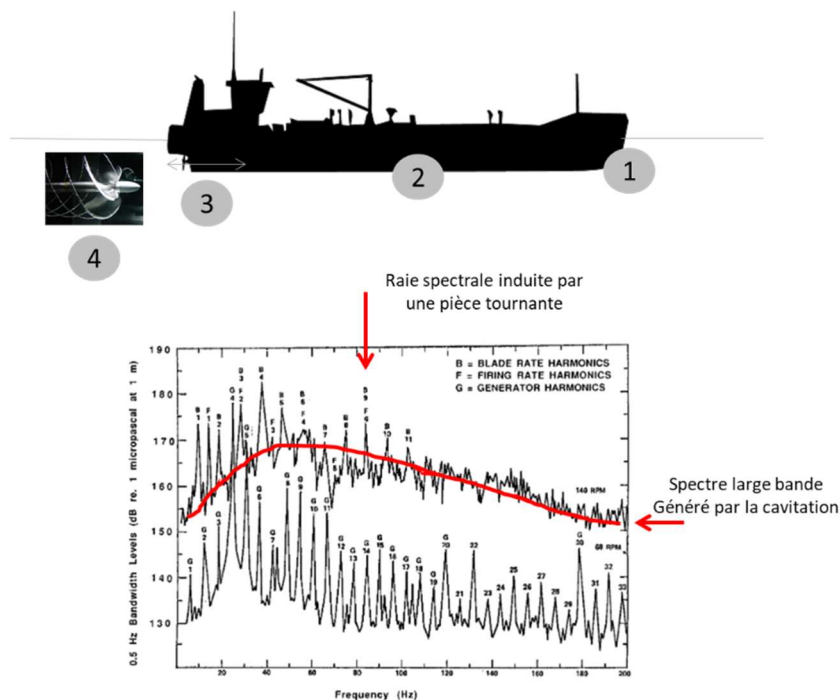


Figure 8 : Sources de production sonore au sein d'un navire et structure du spectre acoustique rayonné.

4.2.3 Les principales caractéristiques des sons rayonnés par les bateaux en transit

La large gamme de fréquences émises par les navires, leurs mouvements et la propagation multi-trajets entre le navire et le système de mesure dotent le signal mesuré d'une structure particulière dite de 'Miroir de Lloyds' en milieu hauturier ou 'Bath tube effect' en milieu côtier (Gervaise, Kinda,

et al. 2012). Pour une fréquence émise particulière et une position donnée, les échos arrivent en phase et se somment pour donner un signal de forte puissance pour une autre fréquence à cette même position ou cette même fréquence à une position différente les échos peuvent arriver en opposition de phase et se soustraient pour donner un signal de faible puissance (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette alternance crée une structure d'interférence dans le plan temps-fréquence. Cette structure particulière facilite la détection des navires en transit.

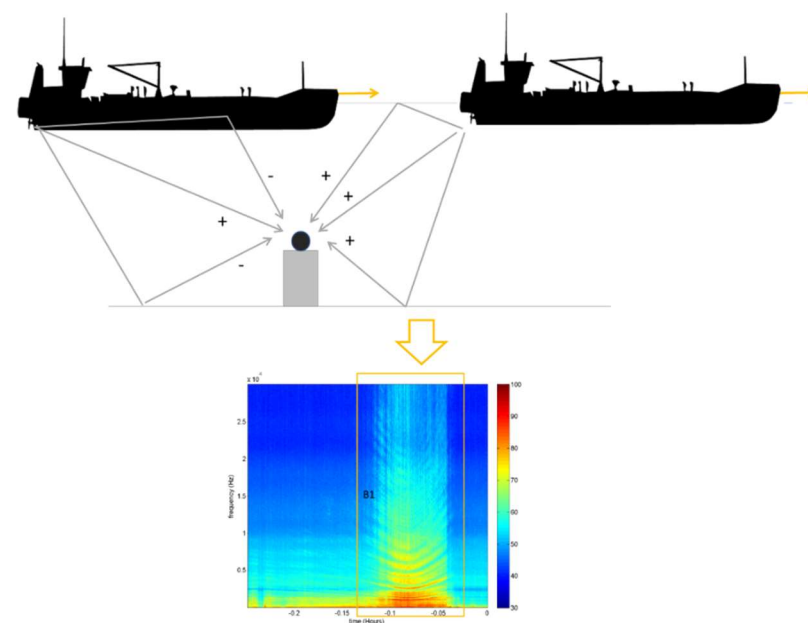
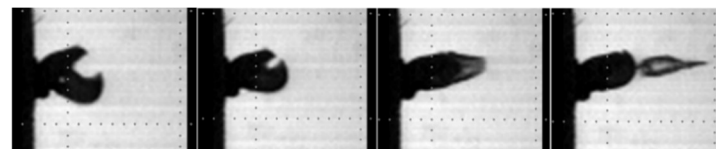


Figure 9 : Physique de la formation de la structure d'interférences dite 'Miroir de Lloyds' et exemple de miroir de Lloyds extrait des données du réseau CALME

4.3 La biophonie benthique

Les invertébrés émetteurs de la biophonie benthique

Peu mobiles et très nombreux, les invertébrés benthiques émettent, volontairement ou involontairement, des sons formant une biophonie benthique. Les crevettes claqueuses produisent des sons en fermant si rapidement leurs pinces que des bulles de cavitation sont créées et produisent des « mini-explosions » (cf. Figure 10). Ces claquements sont suffisamment forts et réguliers pour créer le bruit ambiant des environnements côtiers ([Johnson et al. 1947](#), [Au & Banks 1998](#), [Versluis et al. 2000](#), [Chitre et al. 2012](#)). Cependant la biophonie benthique ne se résume pas à la seule contribution des crevettes claqueuses, les oursins créent des sons lors de leurs mouvements et lors de la nutrition. La fermeture de leur lanterne d'Aristote produit un craquement, qui est amplifié par le squelette sphérique de l'oursin ([Radford et al. 2008](#)). Les décapodes créent des sons lors de leurs mouvements, leur nutrition, une communication acoustique est même soupçonnée chez certaines espèces ([Popper et al. 2001](#), [Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016](#)). La fermeture et l'ouverture des valves des bivalves marines produisent des sons ([Di Iorio et al. 2012](#)). Les sons individuels de ces peuplements benthiques se mélangent pour former une biophonie benthique ([Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016](#), [Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016](#)). L'annexe 3, page 108, liste les espèces d'invertébrés benthiques sonifères (à notre connaissance).



*Figure 10 : La fermeture d'une pince de crevette claqueuse *Alpheus macrocheles* génère une bulle de cavitation – adapté de Versluis et al, 2000*

La forme des signaux constituant la biophonie benthique

Les sons émis par les invertébrés benthiques sont issus de claquement de pinces, de chocs et de mouvements des parties dures du squelette calcaire des invertébrés. Suivant la proximité de l'animal émetteur et la puissance du signal émis, ils se détachent du bruit ambiant et nous pouvons les individualiser. Dans ce cas, ils prennent la forme d'impulsions, signaux très brefs et très forts constitués d'une enveloppe « transitoire » ou « impulsienne » concentrant son énergie sur une durée très courte et modulant une porteuse dont la fréquence correspond à la fréquence de vibration naturelle des pièces calcaires s'entrechoquant ou des bulles d'air créées dans l'eau ([Clay & Medwin 1977](#), [Medwin & Clay 1997](#)). La biophonie benthique de méditerranée génère des fréquences supérieures à 1.5 kHz ([Lossent et al. 2017](#)).

La Figure 11 présente la forme d'onde et le spectrogramme d'un échantillon de 2 secondes de mesures issues du réseau CALME. Le spectrogramme présente des lignes verticales correspondant à des signaux courts, de forte puissance avec un large support fréquentiel. Chaque ligne verticale du spectrogramme est une impulsion sur la forme d'onde (flèche rouge, Figure 11) et correspond à un son

émis par un invertébré benthique. La Figure 12 présente un échantillon typique de 12 impulsions benthiques montrant la diversité des durées, des fréquences peak etc.

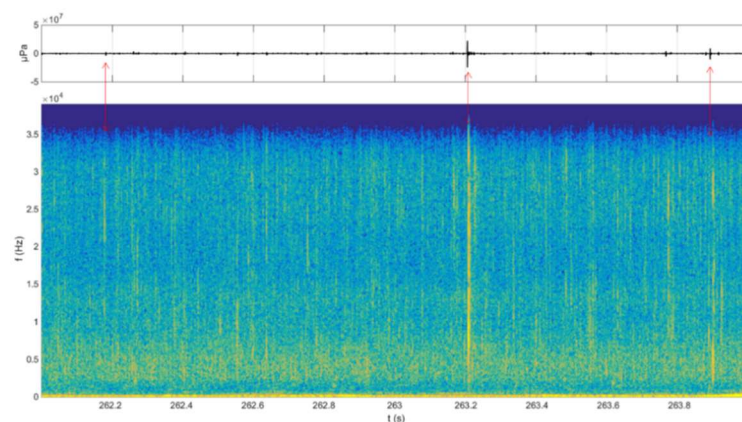


Figure 11 : Forme d'onde (en haut) et spectrogramme ($f_e=78125$ Hz, $LFFT=1024$, $REC = 0.85$, Kaiser 180 dB, zéro padding facteur 2) en bas (bleu : 40 dB re. $1\mu Pa^2/Hz$, jaune : 80 dB re. $1\mu Pa^2/Hz$), les 3 flèches identifient 3 impulsions correspondant à des sons émis par les invertébrés benthiques

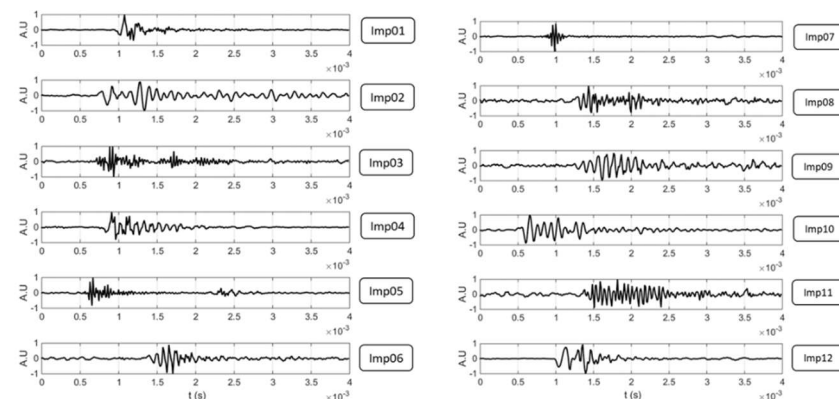


Figure 12 : Echantillons typiques de 12 impulsions benthiques extraits de la première session de mesure du réseau CALME

4.4 La biophonie ichtyologique

Les poissons, émetteurs de la biophonie ichtyologique

Parmi les 28 000 espèces de poissons, au moins 700 ont été identifiées comme productrices de sons ([Rountree et al. 2006](#)). A titre d'exemple, l'annexe 4, page 110, identifie 37 espèces de poissons sonifères sur les 400 espèces de poissons méditerranéens ([Di Iorio et al. 2018](#)). Les poissons produisent des sons de communication par 4 mécanismes différents ([Amorim 2006](#), [Parmentier et al. 2017, 2018](#)) i) la stridulation en faisant vibrer leurs dents, deux os les uns sur les autres ou les aiguilles des nageoires, ii) en faisant vibrer leurs vessies natatoires avec des muscles spécialement conçus pour les émissions sonores, iii) en faisant vibrer des tendons ou autre organe interne avec des muscles spécialement conçus pour les émissions sonores, iv) par relâchement de gaz contenu dans la

vessie natatoire. Ils utilisent ces sons pour la reproduction (choix de partenaires, synchronisation des émissions de gamètes lors de la fraie) et pour la défense de territoire (signaux d'alerte, signaux agonistiques). A cette communication volontaire, s'ajoute une production sonore involontaire lors de la nutrition.

La forme des signaux constituant la biophonie ichtyologique

Sauf cas particulier, la production sonore des poissons suit un pattern commun : un excitateur vient mettre en vibration un résonnateur et ceci plusieurs fois consécutivement. Les sons émis sonnent comme un bruit de tambour pour les rythmes les plus lents et comme des « signaux de grenouilles » pour les rythmes les plus rapides. Les sons de poissons ont des fréquences comprises entre 50 Hz et 1500 Hz. Pour une espèce et un individu, les sons varient en durée, fréquence centrale, rythme de répétition et puissance en fonction de l'âge, de la taille et de la température de l'eau. La Figure 13 illustre la production sonore de 3 espèces de poissons (2 connues, 1 inconnue) à partir de mesures réalisées en Juin 2017 au sein de réseau CALME. Pour ces trois espèces, les sons se présentent comme une succession plus ou moins rapide d'impulsions pour lesquelles la fréquence dominante varie en fonction de l'espèce.

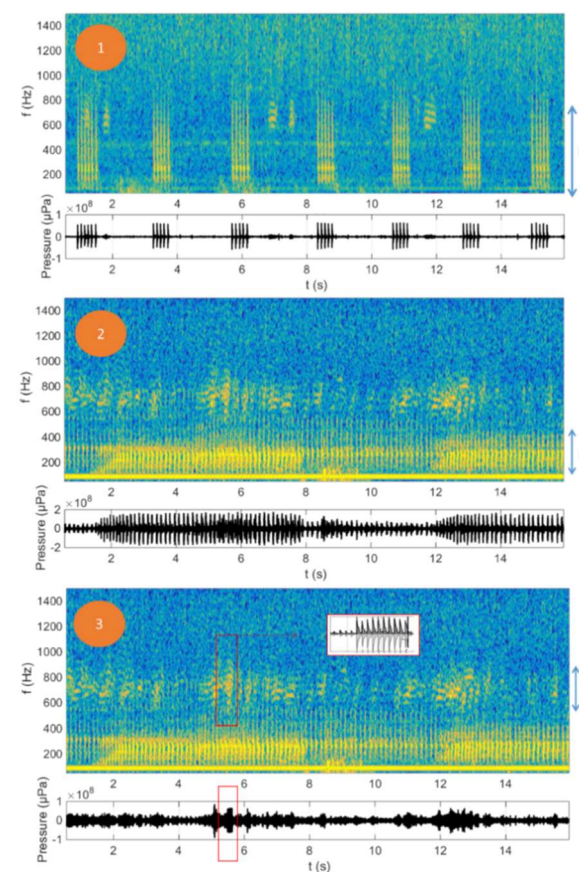


Figure 13 : Exemple de la production sonore de 3 espèces de poissons, mesures du réseau CALME, année 2017. Chaque son est représenté par un spectrogramme suivi de la forme d'onde filtrée dans la bande B indiquée à droite sur le spectrogramme. 1) production sonore du corb (*Sciaena umbra*, (Parmentier et al. 2018)), 2) de *Ophidion rochei* (Parmentier et al. 2010) et 3) d'une espèce inconnue, ubiquiste des herbiers de posidonie (Di Iorio et al. 2018)

5 Le réseau CALME : une matrice comprenant 4 composantes fonctionnelles et 6 thèmes de surveillance pour traduire les sons marins en connaissances environnementales

5.1 Le réseau CALME est organisé en 4 composantes fonctionnelles et 6 thématiques de surveillance

Conformément au workflow du réseau CALME présenté chapitre 3.6, page 30, le réseau CALME contient 4 composantes fonctionnelles (Acquisition de données, Traitement de données, Analyses écologiques et diffusion). Enrichies de 2 outils complémentaires (la modélisation acoustique, les données complémentaires non acoustiques issues des autres réseaux de surveillance), elles permettent l'implémentation de la surveillance acoustique de la Méditerranée Occidentale suivant 6 thèmes complémentaires :

- Thématiques orientées « Anthropophonie » :

- o Thème 1 : La mesure des niveaux de bruit en Méditerranée,

- o Thème 2 : Le monitoring acoustique des usages et des pressions acoustiques induites,
- o Thème 3 : Quantification des effets acoustiques des activités anthropiques sur la faune marine,
- Thématiques orientées « Biophonie » :
 - o Thème 4 : Monitoring acoustique du compartiment benthique,
 - o Thème 5 : Monitoring acoustique du compartiment ichtyologique,
 - o Thème 6 : Monitoring acoustique des cétacés.

La Figure 14 présente l'architecture fonctionnelle et les thématiques de surveillance du réseau CALME.

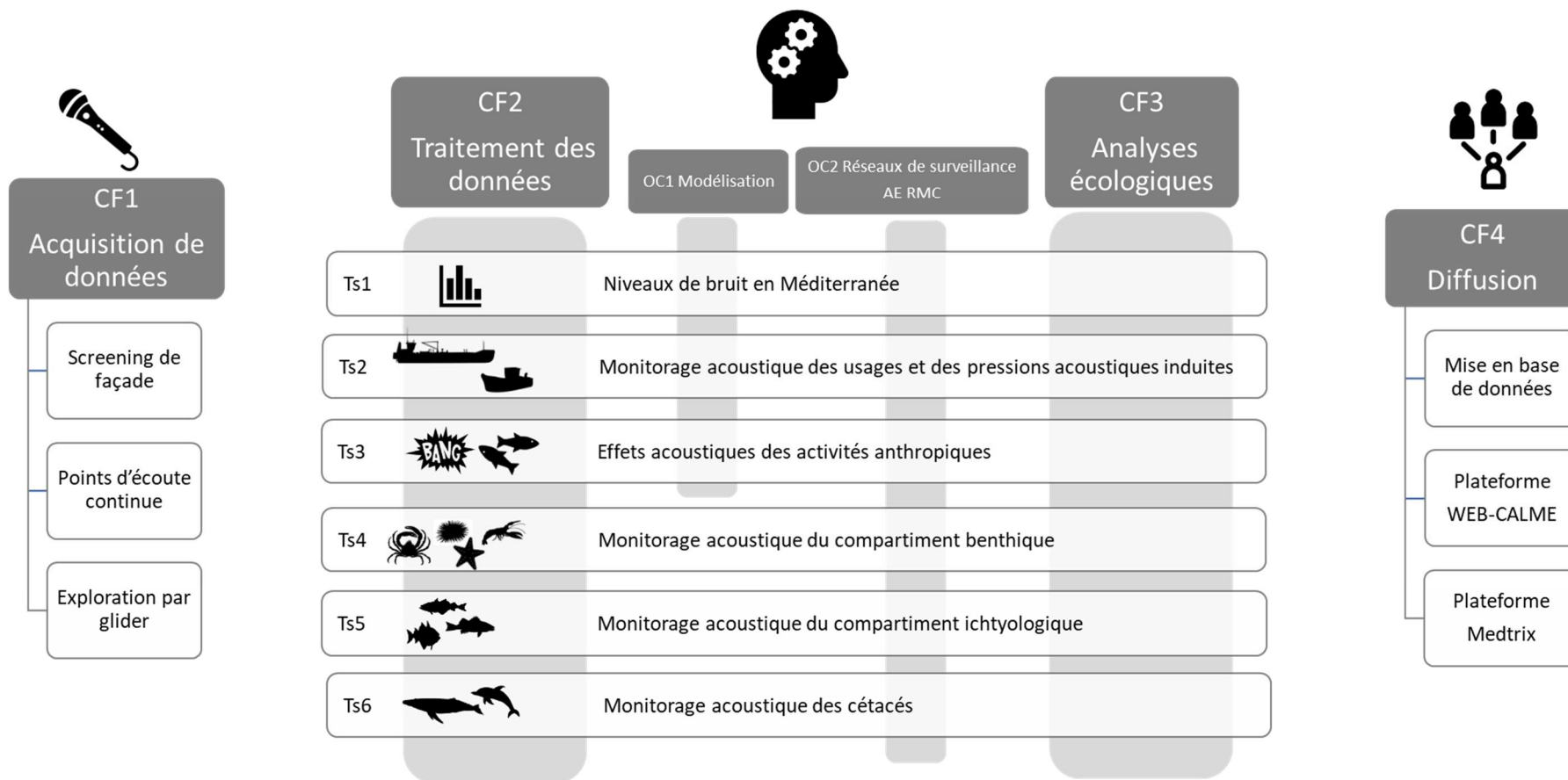


Figure 14 : Architecture fonctionnelle et thèmes de surveillance du réseau CALME.

5.2 Présentation de la Composante fonctionnelle 1 : Acquisition de données

L'objet de cette composante est la mesure des paysages acoustiques à l'échelle de la Méditerranée. L'acquisition de données, d'une ambition unique en Europe par son ampleur et sa pérennité, intègre i) un screening de façade, ii) des stations de mesure en continue et iii) des explorations en glider.

Le screening de façade a pour objectif de capturer la variabilité spatiale des paysages acoustiques et la relier à l'état des écosystèmes. La façade méditerranéenne française est échantillonnée en 3 ans par tiers chaque année (Régions Occitanie, PACA, Corse) et dans sa totalité les années de suivi DCE. Le focus est porté sur les deux habitats sensibles identifiés par la DCE : les herbiers de posidonie et les assemblages coralligènes. Le screening se fait par bond. Chaque nuit, un premier enregistreur est déposé dans un herbier à 15 mètres de profondeur, un second enregistreur est déposé à proximité à la limite inférieure de l'herbier et un dernier enregistreur est installé non loin sur un massif de coralligènes. Les enregistreurs sont laissés en place une nuit puis relevés le matin.

La journée suivante est réservée pour le transit des enregistreurs vers d'autres sites, ils seront immergés avant la tombée de la nuit, ainsi de suite jusqu'à explorer toute la façade. Les positions retenues sont les mêmes que celles des réseaux herbier de posidonies (TEMPO), coralligène (RECOR), et température (CALOR) d'Andromède Océanologie et de l'Agence de l'Eau RMC¹¹

Les stations de mesure continues ont pour objectif de capturer les variabilités temporelles et les tendances des paysages acoustiques en plusieurs positions choisies pour servir de références aux questions clés de l'écologie acoustique. Trois points de mesure sont opérationnels depuis Novembre 2016 :

- La station de mesure dans la réserve de cap Couronne, située sur le territoire du Parc Marin de la Côte Bleue vise à étudier la détection acoustique des frayères de loups et de daurades et étudier les usages et les impacts acoustiques de ces usages sur la faune marine ;
- La station de mesure de la baie de la Revellata près de Calvi en Corse permet d'étudier la signature acoustique d'un herbier de posidonie en bon état ;

¹¹ La présentation des réseaux TEMPO, RECOR, CALOR sont accessibles sur la plateforme Medtrix : <http://medtrix.fr/>

- La station de mesure de Cala Gonone en Sardaigne sert de référence pour les habitats rocheux et les canyons sous-marins.

Le réseau de stations continues sera complété :

- En 2018 par un point de mesure dans l'aire marine protégée Agathoise avec un focus sur l'évaluation des usages par acoustique passive et par un point de mesure dans l'aire marine protégée de Tavolara, Sardaigne avec un focus sur le coralligène et l'évaluation par acoustique passive des effets positifs sur le milieu des actions de zonage dans les aires marines protégées,
- En 2019 par un point de mesure au large (~ 100 mètres de profondeur) dans le golfe du Lion et un point de mesure en tête du canyon de Calvi (~150 mètres de profondeur) pour contribuer à la mesure du descripteur 11-critère 2 de la DCSMM.

Les explorations hauturières par glider SeaExplorer (Alseamar) sont dédiées en priorité à la collecte des niveaux de bruit ambiant pour la DCSMM (descripteur 11-critère 2, tiers d'octave 63 Hz, 125 Hz). Avec une période de répétition à définir, nous explorons pendant 30 jours et 700 kilomètres les paysages acoustiques de la mer ligure (première itération réalisée en 2017), du golfe du

Lion (prévision 2018) en prenant soin d'échantillonner des zones au plus proche du trafic et des zones plus éloignées.

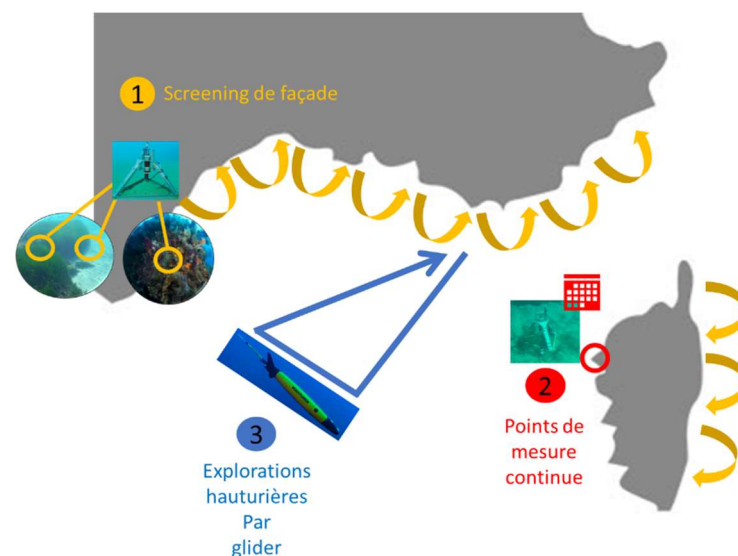


Figure 15 : Plan d'échantillonnage de la composante « Acquisition de données » du réseau CALME

5.3 Présentation de la Composante fonctionnelle 2 : Traitement de données

Cette composante traite les données brutes recueillies pour les traduire en descripteurs acoustiques. Les descripteurs acoustiques évaluent les sons présents au sein d'un paysage acoustique en termes de propriétés (niveaux, formes temporelles et spectrales), de diversité (nombre de familles/signatures sonores), d'abondance et de puissances sonores. Conformément à notre approche (cf. chapitre 3.5, page 27) ils mettent en chiffre une communauté acoustique suivant 3 axes – diversité – abondance – puissance sonore.

A ce jour, il existe les ressources algorithmiques pour réaliser ces traitements pour la biophonie benthique, la biophonie ichtyologique et l'anthropophonie.

Les blocs 1 à 3 (3-a, 3-b, 3-c, 3-d) de la Figure 16 proposent une approche commune pour ces trois communautés acoustiques. Dans un premier temps (step 1, Figure 16), nous réalisons une mesure sonore sur une durée et une période adaptée pour capturer toute la richesse des sons émis par la communauté acoustique d'intérêt. Nous utilisons ensuite (step 2, Figure 16) notre connaissance *a priori* sur la forme des sons émis par la communauté acoustique pour détecter et extraire « tous » les signaux individualisables et les chorus acoustiques relatifs à cette communauté. Dans un troisième pas (step 3, Figure 16), nous préparons la quantification de la biophonie en caractérisant les signaux extraits. La forme de chaque signal est caractérisée au travers d'un jeu des descripteurs de forme (step 3-a, Figure 16). Nous formons une matrice SIGNAUX.FEATURES où une ligne correspond à un signal détecté et une colonne à un descripteur. Cette matrice alimente l'étape 3-d de construction du dictionnaire biophonique ou anthropophonique en appliquant des techniques

de clustering sur la matrice SIGNAUX.FEATURES. La sortie de cet étage est le nombre de familles ou classes de sons présents au sein des détectations et un rattachement de chaque son à une classe. Les dates de détectations des signaux servent à évaluer, avec un pas temporel régulier et le long de la période de mesure, le nombre de sons détectés par unité de temps (step 3-b, Figure 16). Finalement, la puissance sonore de chaque signal individualisable est évaluée ainsi que celle des chorus avec un pas temporel régulier et le long de la période de mesure. Ces données alimentent la quatrième pas (step 4, Figure 16) pour quantifier la biophonie à l'échelle de la communauté acoustique.

Le step 4 (Figure 16) est alimenté par la totalité de la session de mesure prétraitée par les steps 2 et 3.

Le step 4.a dédié à la richesse et la diversité acoustique est alimenté par les résultats de l'algorithme de clustering. La richesse acoustique est définie comme le nombre de classes définies par l'algorithme. A partir des effectifs de signaux contenus dans chaque famille, nous pouvons définir la probabilité d'appartenance à chaque classe et utiliser cette probabilité pour évaluer l'index de diversité de Shannon ([Gotelli & Chao 2013](#)).

Le step 4.b dédié à l'évaluation de l'abondance de la communauté acoustique est alimenté par une série temporelle (pas : 30 secondes) du nombre de sons détectés par minute. Nous proposons de définir l'abondance de la communauté comme la médiane de la série temporelle.



Le step 4.c dédié à l'évaluation de l'énergie sonore de la communauté acoustique est alimenté par une série temporelle (pas : 30 secondes) de l'ANL calculé sur 1 minute, de tous les SPL_{rms} , SPL_{p-p} et SCL des signaux individualisables. Nous proposons de définir l'énergie sonore de la communauté par 4 paramètres définis comme la médiane de chacune des 3 quantités. ANL, SPL_{rms} , SPL_{p-p} et par le SCL global de tous les signaux détectés.

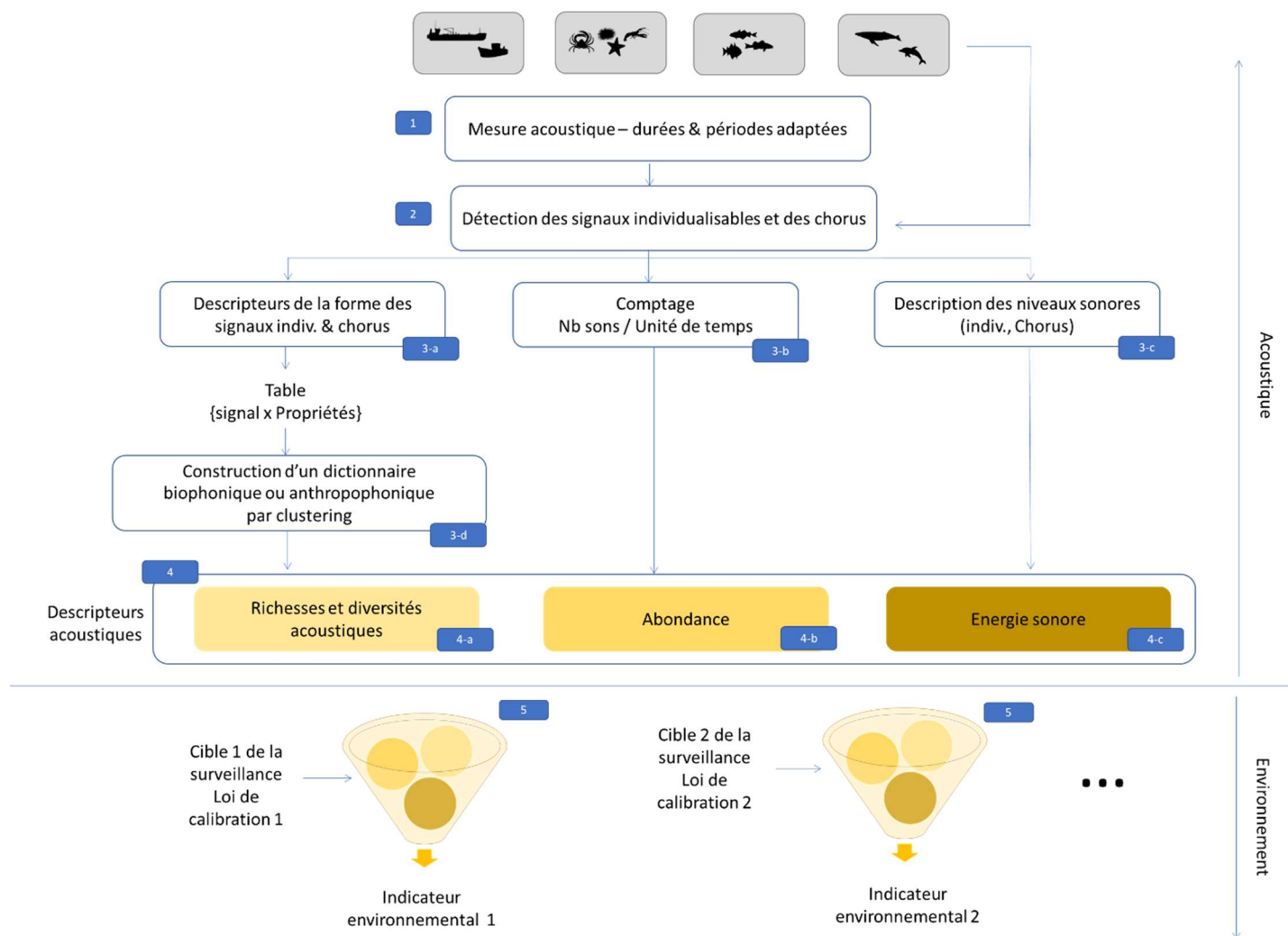


Figure 16 : Architecture générique pour le traitement des données et les analyses écologiques

5.4 Présentation de la Composante fonctionnelle 3 : Analyses des données et Interprétations écologiques

La composante fonctionnelle 3 a pour objectifs de transformer les descripteurs acoustiques en indicateurs environnementaux. Elle fait le lien entre l'acoustique d'un site et l'écologie de ce site. Les indicateurs servent de matériel aux scientifiques pour l'interprétation écologique qui répondra aux questions suivantes :

- L'état de l'écosystème est-il bon ou mauvais ?
- L'état de l'écosystème est-il en dégradation ou en amélioration ?
- Les pressions sont-elles impactantes ou négligeables ?
- Les pressions sont-elles en augmentation ou en diminution ?

Un indicateur est défini pour un besoin d'observation d'un processus cible ayant lieu au sein de l'écosystème étudié, il se présente comme une fonction d'un ou plusieurs descripteurs acoustiques dont la valeur peut être reliée à l'existence et à l'intensité du processus cible.

Dans l'architecture de traitement globale présentée Figure 16, la composante fonctionnelle est représentée par l'étage 5.

Il existe trois approches/ambitions pour la définition des descripteurs :

- Approche « communauté acoustique » : nous admettons que la communauté acoustique quantifiée est une donnée environnementale à part entière puisqu'elle porte un témoignage (acoustique) de la vie animale ou des activités humaines. Il s'agira alors de traduire des descripteurs acoustiques de diversité, d'abondance et de puissance sonore en un indicateur/une note qui quantifiera globalement la qualité

de la communauté acoustique en partant du principe qu'une communauté acoustique est « en bon état » et mérite « une bonne notation » si elle est diversifiée, abondante et puissante. Une solution simple est de normaliser les descripteurs de diversité, d'abondance et de puissance sonore puis de les sommer avec ou sans pondération pour obtenir une note globale. Cette approche « directe » est intéressante dans une logique de mutualisation des informations fournies par plusieurs réseaux de surveillance puisqu'elle apporte une information indépendante.

- Approche « communauté animale » : nous nous intéressons à construire un indicateur acoustique qui quantifie l'état de la communauté animale ou d'usages qui a généré la communauté acoustique. La construction est plus complexe, elle suit la méthodologie exposée dans le texte à suivre et exige une phase de calibration de l'indicateur. Cette approche est intéressante dans une logique où l'on cherche à remplacer une méthode de surveillance de la communauté animale difficile à mettre en œuvre par le monitoring par acoustique passive considéré comme simple et peu coûteux à opérer,
- Approche « habitat » : nous nous intéressons à construire un indicateur acoustique qui quantifie l'état de l'habitat qui héberge la communauté animale ou d'usages qui a généré la communauté acoustique. La construction est plus complexe, elle suit la méthodologie exposée dans le texte à suivre et exige une phase de calibration de l'indicateur. Cette approche est intéressante dans une logique où l'on cherche à remplacer une méthode de surveillance de l'habitat difficile à mettre en œuvre par

le monitoring par acoustique passive considéré comme simple et peu coûteux à opérer.

Méthodologie de construction des indicateurs

La Figure 17 décrit la méthodologie générale employée pour développer des indicateurs acoustiques puis les intégrer dans un réseau de surveillance opérationnel. Le point d'entrée de la définition d'indicateurs acoustiques est l'existence d'une question spécifique posée comme par exemple « *évaluer l'efficacité pour les peuplements de poisson d'un zonage (toute activité permise, interdiction de certaines activités, réserve intégrale) d'une aire protégée* ». Le développement d'indicateurs acoustiques passe par l'identification d'environnements de référence connus et des statuts écologiques bien contrastés (une réserve intégrale productive, une zone très pêchée...). Pour chacun de ces sites, les paysages acoustiques sont mesurés (bloc B1, Figure 17).

Sur ces mesures, on calcule exhaustivement tous les descripteurs acoustiques disponibles à date (bloc B2, Figure 17). On construit alors un ou plusieurs indicateurs comme une combinaison des descripteurs acoustiques, les bonnes combinaisons ou 'bons indicateurs' sont ceux qui présentent la plus grande sensibilité, le plus grand contraste lorsqu'ils sont évalués sur les sites de référence (bloc B3, Figure 17). La bonne connaissance du statut écologique des sites testés permet d'établir une loi de calibration entre le ou les indicateurs connus et l'état écologique. Les indicateurs identifiés et les lois de calibrations connues, permettent d'interpréter les données du réseau de surveillance. Les paysages acoustiques sont mesurés (bloc B5, Figure 17) puis les descripteurs et les indicateurs sont évalués (blocs B6, B7, Figure 17) et les lois de calibrations sont appliquées (bloc B8, Figure 17) pour quantifier grâce à l'acoustique l'état écologique de chaque site.

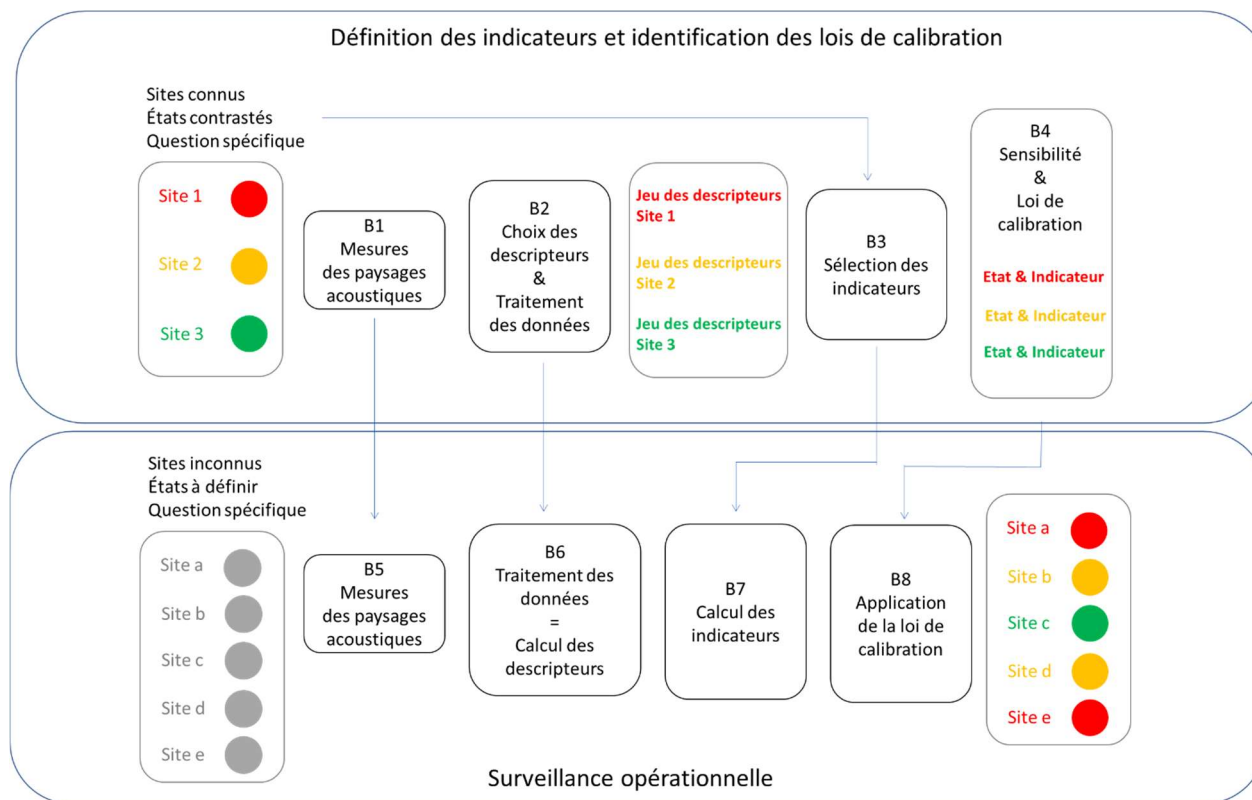


Figure 17 : Méthodologie de construction des indicateurs environnementaux basés sur l'acoustique

5.5 Présentation de la composante « Diffusion des résultats »

L'objectif de cette composante est de mettre à disposition les résultats du réseau de surveillance CALME auprès des utilisateurs potentiels dont les services de l'état devant faire remonter à l'Europe les données DCE et DCSMM, à l'Agence de l'Eau RMC pour sa politique de gestion de bassin et à la communauté scientifique et sociétale. Cette diffusion utilise deux médias complémentaires :

- La plateforme MedTRIX qui permet les ressorties cartographiques, qui intègre les données des réseaux de surveillance de l'Agence de l'Eau RMC et permet une approche multidisciplinaire en croisant des données de différents horizons,
- La plateforme WebCALME spécifique au réseau CALME qui archive et diffuse les caractéristiques des senseurs et des algorithmes utilisés, qui archive et diffuse les publications s'appuyant sur le réseau CALME et qui diffuse les résultats du réseau lorsque ceux-ci ne sont pas sous-forme cartographiques.

5.6 Présentation des outils complémentaires du réseau

Les composantes fonctionnelles du réseau CALME sont purement acoustiques et relatives aux positions des mesures.

La caractérisation des niveaux sonores (thématique de surveillance 1), des pressions anthropiques (thématique de surveillance 2) et la quantification de leurs impacts sur la faune marine (thématique de surveillance 3) basées sur les

données réelles donnent la vérité mais uniquement autour du point de mesure alors que le besoin peut être d'avoir une caractérisation complète à l'échelle du bassin et/ou de la façade. Ainsi pour ces trois thématiques de surveillance le recours à la modélisation acoustique ([Gervaise et al. 2015](#), [Le Courtois et al. 2016](#), [Aulanier et al. 2017](#)) permet de spatialiser l'effet des pressions, les mesures in situ et la modélisation sont complémentaires :

- Les mesures in situ fournissent certaines données d'entrée (niveaux sonores des sources anthropiques, distribution spatio-temporelle des sources)
- La modélisation fournit des cartes à l'échelle des bassins et des façades à partir d'hypothèses simplificatrices et de choix *a priori* des degrés de liberté,
- Les mesures *in situ* permettent de calibrer la modélisation en comparant aux points de sonde les sorties du modèle avec les mesures et ajustant les degrés de liberté en cas d'écarts constatés.

Un second outil utile/nécessaire au réseau CALME est l'accès aux mesures des autres réseaux pour comprendre la variabilité des descripteurs acoustiques en identifiant les paramètres environnementaux qui pilotent cette variabilité et pour construire les indicateurs environnementaux basés sur l'acoustique en suivant la méthodologie proposée Figure 17.

5.7 Présentation des thèmes de surveillance

Le premier thème de surveillance aborde les niveaux sonores en Méditerranée Occidentale, l'ambition est de décrire les niveaux de bruit dans une gamme de fréquence large allant de 10 Hz à 30 kHz. Cette gamme de fréquence comprend :

- Les fréquences indiquées par la DCSMM (Descripteur 11 – critère 2 63 Hz, 125 Hz),
- Les fréquences de prépondérance des sons émis par les bateaux, des sons émis par les poissons et le benthos et des sons de communication de cétacés – la gamme est donc bien adaptée au monitoring,
- Les fréquences d'audition des poissons, du benthos et des cétacés – la gamme est donc bien adaptée à l'étude des effets acoustiques des activités humaines sur la faune marine.

Dans cette gamme de fréquence, nous évaluerons les spectres sonores en densité spectrale de puissance (dB re. 1 μ Pa²/Hz) et en tiers d'octave (dB re. 1 μ Pa). Cette surveillance est côtière et hauturière.

Le second thème de surveillance aborde le monitoring acoustique des usages et des pressions acoustiques induites. La gamme d'activités humaines émettrices de sons est très large (cf. page 33). En ligne avec les recommandations de la DCSMM et pour la période [2015, 2021], nous nous sommes focalisés sur l'activité la plus présente, le trafic maritime et notre ambition est de caractériser les bateaux en transit dans le rayon de captation des hydrophones (~500 mètres en côtier, ~5000 mètres en hauturier) en les dénombrant, les classifiant et en mesurant le niveau acoustique qu'ils rayonnent. Cette surveillance est côtière.

Le troisième thème de surveillance est d'évaluer les effets acoustiques des activités anthropiques sur la faune marine. Pour la période [2015, 2021], en phase avec les objectifs du thème de surveillance n°2 et considérant le niveau de maturité des connaissances scientifiques sur les impacts acoustiques, nous nous concentrerons sur l'étude des effets acoustiques du trafic maritime, bateaux en transit, sur les poissons. L'implémentation de ce thème nécessite l'utilisation de la modélisation acoustique. Cette surveillance est côtière.

Le quatrième thème de surveillance aborde le monitoring acoustique du compartiment benthique. Nous produisons une chaîne complète de quantification de la biophonie benthique. Les stations de mesure continues sont utilisées pour établir la variabilité naturelle de cette biophonie pour un site de référence et le screening permet une évaluation complète à l'échelle de la façade. Le nombre d'états évalués est défini par le ratio entre i) la dynamique des notes sur le screening pour des habitats en bon et mauvais état et ii) la dynamique de la note à la station de référence. Cette surveillance est côtière et s'applique aux herbiers de posidonie et aux assemblages coralligènes. La même production sonore est utilisée pour les deux habitats avec des règles de notation spécifiques à chaque habitat.

Le cinquième thème de surveillance aborde le monitoring acoustique du compartiment ichtyologique. Nous produisons une chaîne complète de quantification de la biophonie ichtyologique. Les stations de mesure continues sont utilisées pour établir la variabilité naturelle de cette biophonie pour un site de référence et le screening permet une évaluation complète à l'échelle de la façade. Le nombre d'états évalués est défini par le ratio entre i) la dynamique des notes sur le screening pour des habitats en bonne et mauvais état et ii) la

dynamique de la note à la station de référence. Cette surveillance est côtière et s'applique aux herbiers de posidonie et aux assemblages coralligènes. Les productions sonores utilisées pour la surveillance sont différentes pour les herbiers (focalisation sur les sons de type /kwa/, ([Di Iorio et al. 2018](#))) et pour les coralligènes (focalisation sur les sons 'diversifiés', ([Desidera et al. 2018](#))).

Le sixième thème de surveillance aborde le monitoring acoustique des cétacés, mysticètes et odontocètes, pour les milieux hauturiers et côtiers. L'ambition est de fournir des séries spatio-temporelles de contacts acoustiques dans le rayon de captation des hydrophones (~ 500 mètres en côtier pour les odontocètes, ~ 30 000 mètres en hauturier pour les mysticètes).

5.8 Adéquation entre les protocoles d'acquisition de données et les thèmes de surveillance

Table 4 : Adéquation entre les protocoles d'acquisition de données et les thématiques de surveillance

	Screening de façade	Stations de mesure continue	Exploration en Glider
Thème de surveillance 1 : Niveaux de bruit en Méditerranée dont DCSMM	✓	✓	✓
Thème de surveillance 2 : Monitoring acoustique des usages	✗	✓	✓
Thème de surveillance 3 : Effets acoustiques des activités anthropiques sur la faune marine	✗	✓	✓
Thème de surveillance 4 : Monitoring acoustique du compartiment benthique	✓	✓	✗
Thème de surveillance 5 : Monitoring acoustique du compartiment ichtyologique	✓	✓	✗
Thème de surveillance 6 : Monitoring acoustique des cétacés	✓	✓	✓

✓ : le protocole d'acquisition est utile pour le thème de surveillance, ✗ : le protocole d'acquisition n'est pas utile pour le thème de surveillance

6 Bilan et perspectives de la composante fonctionnelle 1 « ACQUISITION DE DONNEES »

6.1 L'instrumentation acoustique du réseau CALME

Le réseau CALME dispose de :

- 5 enregistreurs SDA 14 de la société RTSYS. Ces enregistreurs i) sont « faible bruit », ii) possèdent 4 voies d'acquisition donc adaptés à une écoute directionnelle, iii) sont interfacés avec internet ce qui permet une prise en main à distance par CHORUS pour leur configuration et le téléchargement des données, iv) possèdent des batteries rechargeables sans ouverture de l'enregistreur et iv) possèdent une autonomie limitée (5 jours en version standard, 45 jours avec un pack batterie additionnel), vi) permettent un enregistrement sur une large gamme de fréquences. Ces enregistreurs sont indiqués lorsqu'un support logistique de proximité est présent. Ils sont utilisés pour le screening de façade, les stations de mesure continues de la réserve de Cap Couronne, de la baie de la Revellata et seront utilisés pour les stations de mesure continues du cap d'Agde, du Golfe du Lion et de la tête de Canyon de Calvi.
- 1 enregistreur SM2M de la société WildLife. Cet enregistreur i) possède une grande autonomie, ii) permet un enregistrement sur une large gamme de fréquences, mais iii) la configuration de l'enregistreur, le rapatriement des données et le changement des piles nécessitent une ouverture du système par un opérateur spécialiste. Cet enregistreur est indiqué pour les sites avec un faible support logistique. Nous utilisons cet enregistreur pour la station de mesure continue en tête de canyon de Cala Gonone.

- 10 hydrophones HTI92 WB, haute sensibilité, faible bruit et couvrant une gamme de fréquences de 5 Hz à 50 kHz, ces hydrophones sont performants mais leur connectique est fragile, ils sont utilisés pour le screening de façade,
- 2 hydrophones COLMAR 1280, haute sensibilité, couvrant une gamme de fréquences de 5 Hz à 50 kHz, bien que n'étant pas faible bruit, ces hydrophones sont performants pour les environnements côtiers où le bruit ambiant naturel est élevé, bien au-dessus du bruit propre de l'hydrophone. Leur connectique est robuste, ils sont utilisés pour les stations de mesure continue.
- Du temps (30 jours/an) de mission du glider SeaExplorer qui emmène une charge utile acoustique développée par Alseamar constituée d'un hydrophone HTI92 et d'un enregistreur acoustique faible bruit.

Pour le screening de façade l'enregistrement est continu, sur 24 bits et à une fréquence d'échantillonnage de 78 125 Hz. Pour les stations de mesure continue utilisant des enregistreurs RTSYS SDA 14, 40 minutes par heure sont enregistrées sur 24 bits à une fréquence d'échantillonnage de 78 125 Hz, pour la station de mesure continue de Cala Gonone utilisant l'enregistreur SM2M, 15 minutes par heure sont enregistrées sur 24 bits à une fréquence d'échantillonnage de 98 000 Hz. La charge utile acoustique du glider SeaExplorer enregistre les sons en continu sur 24 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 32 000 Hz.



Station de mesure continue du cap Couronne équipée d'un enregistreur SDA 14, d'un pack batterie additionnel et d'un hydrophone Colmar 1280



Glider SeaExplorer équipé dans son nez avant d'une charge utile acoustique sur le site de la baie de la Ciotat en 2016



Station d'écoute sur un herbier de Posidonie, screening de façade, 2018



Station d'écoute sur un assemblage coralligène, screening de façade 2018

6.2 Bilan de mise en œuvre du screening de façade

Le screening de façade est mis en œuvre depuis 2015. Entre 2015 et 2018, 189 points ont été échantillonnés récoltant 2 To de données brutes.

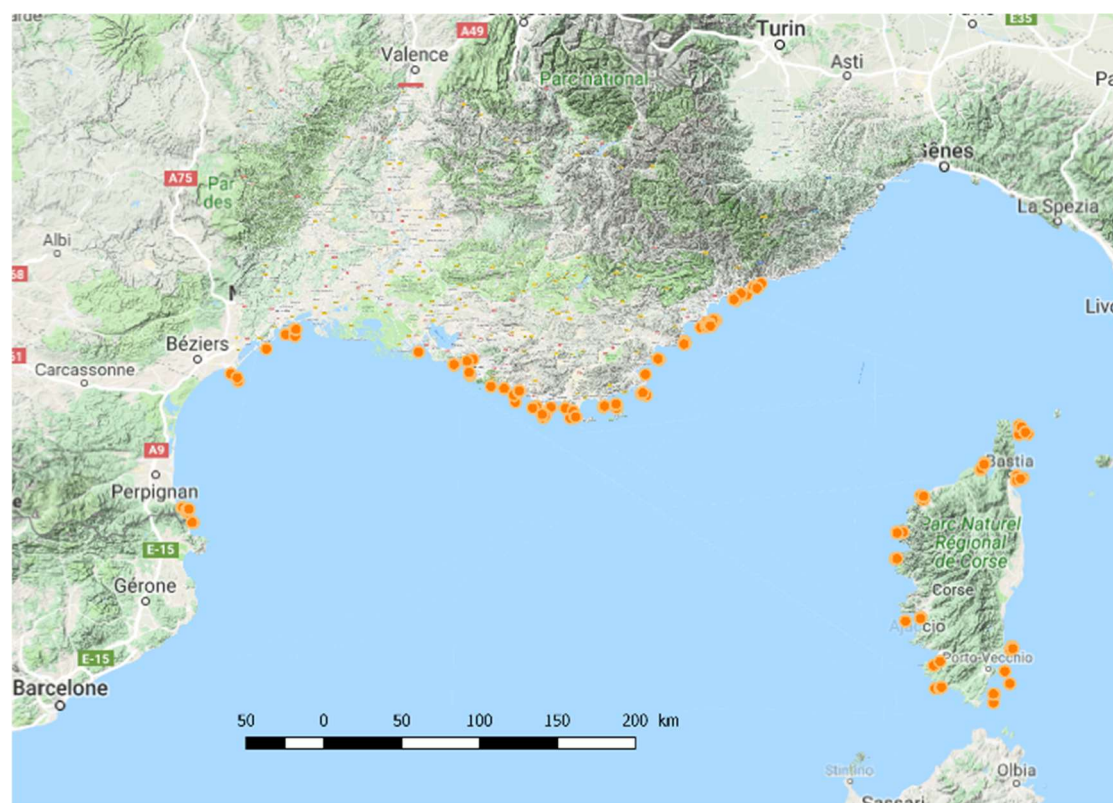


Figure 18 : Carte des positions échantillonnées depuis 2015 pour le screening de façade

Table 5 : Les chiffres clés du screening de façade

	Nb point Herbier 15 m	Nb point Limite Inférieure	Nb point Coralligène	Nb point total	Volume de données	Année DCE	Mois	Région
2015	28	16	19	63	693 Go	OUI	Oct.	Occit. PACA Corse
2016	14	15	13	42	470 Go	NON	Juin	Occit. PACA
2017	10	10	10	30	330 Go	NON	Juin	Corse
2018	19	17	18	54	590 Go	OUI	Juin Juil.	Occit. PACA Corse
Total	71	58	60	189	2 To			

L'annexe 5, page 113, et l'annexe 6, page 118, exposent année par année depuis 2015 les positions échantillonnées par le screening et les cartes de ces positions.

6.3 Bilan de mise en œuvre des stations de mesure continue

Plus de 1200 jours de mesures ont été réalisés depuis 2016 à partir des stations de mesure continue sur 3 sites, produisant 26 To de données brutes.

Table 6 : Synthèse des instrumentations et réglages utilisés pour les stations de mesure continue

<u>Site</u>	<u>Long ° dec</u>	<u>Lat ° dec</u>	<u>Instrumentation Acoustique (enregistreur, Hydrophone, fs, cycle d'enregistrement)</u>	<u>Date de début (mm/aaaa)</u>	<u>Point de référence pour</u>
Cala Gonone	9.6362	40.21877	SM2M Wildlife HTI 92 96 000 Hz 15 min/h la nuit 10 min/h le jour	10/2015	Habitats rocheux Tête de Canyon
Réserve de Caro	5.0628	43.3226	SDA 14 RSTYS Colmar 1280 78125 Hz 20 min/h	12/2016	Réserve Frayères Impact Anthropophonie
Golfe de la Revellata	8.7272	42.5806	SDA 14 RSTYS Colmar 1280 78125 Hz 20 min/h	12/2016	Herbier de <i>Posidonia oceanica</i>
Cap d'Agde	3.5085	43.2646	SDA 14 RSTYS Colmar 1280 78125 Hz 20 min/h	A venir 10/2018	Usages nautiques

Table 7 : Synthèse des sessions de mesure réalisées par les stations de mesure continue

[à date du 09/08/2018]

<u>Site</u>	<u>Nb de jours possible depuis la mise en place</u>	<u>Nb de jours de présence capteur / taux de couverture</u>	<u>Nb opérations de mise à l'eau / relevage</u>	<u>Partenaire logistique</u>	<u>Volume des données recueillies</u>
Réserve du cap Couronne	632	540 / 85%	31	Parc Marin de la Côte Bleue	11 To
Golfe de la Revellata	647	320 / 50%	18	STARESO	6 To
Cala Gonone	1033	730 / 70%	12	CHORUS	9 To

Les calendriers détaillés présentant les périodes de mesures actives, station par station, sont fournis dans l'annexe 7, page 120.

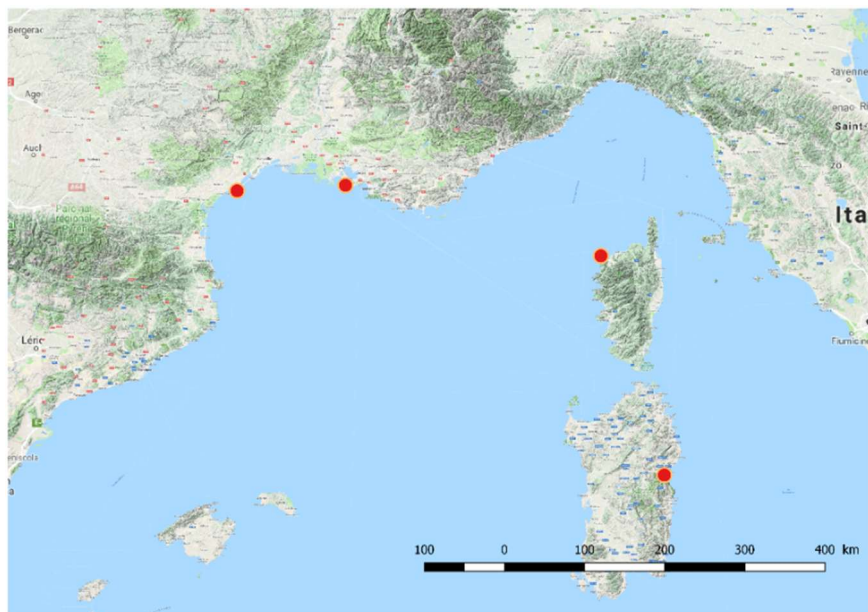


Figure 19 : Positions des 4 stations de mesure continue (points rouges) opérationnelles

6.4 Bilan de la mise en œuvre des explorations en GLIDER

L'usage des gliders SeaExplorer dans le réseau CALME a débuté en 2016 par des tests de faisabilité pour déboucher sur une exploration opérationnelle en 2017 en mer Ligure et une exploration du Golfe du Lion prévue en 2018.

Table 8 : synthèse des sessions de mesure CALME réalisées avec le glider SeaExplorer

Année	Thème/site	Date de début Date de fin Durée	Distance parcourue	Volume de données
2016	Test technique Anthropophonie Marseille	28/06/2016 05/07/2016 8 jours	153 kms	131 Go
2016	Test technique Biophonie La Ciotat	22/07/2016 03/08/2017 13 jours	35 kms	192 Go
2017	Test nouvelle charge utile Port cros	03/08/2017 08/08/2017 6 jours	102 kms	20 Go
2017	CALME opérationnel Mer Ligure	21/09/2017 18/10/2017 28 jours	595 kms	171 Go
2018*	CALME opérationnel Golfe du Lion	A définir A définir 30 jours	480 kms	150 Go

* : date de réalisation inconnue au 09/08/2018

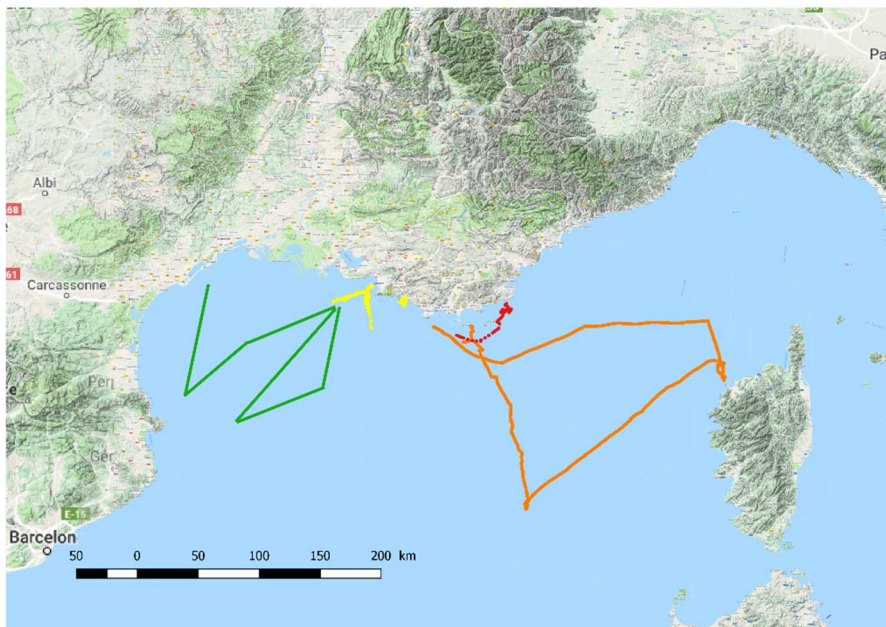


Figure 20 : Carte des explorations du SeaExplorer pour CALME, en jaune étude de faisabilité 2016, en rouge test de faisabilité 2017, en orange exploration opérationnelle CALME en 2017, en vert exploration opérationnelle CALME prévue en 2018.

6.5 Les acteurs

La réalisation des mesures du réseau CALME repose sur des opérateurs de terrain impliqués dans les réseaux de l'Agence de l'Eau RMC.

Table 9 : Les acteurs impliqués dans le recueil de mesures du réseau CALME

Acteur	Rôle	Composantes
CHORUS	Maitrise d'œuvre, d'ouvrage, cofinanceur	Toutes
Agence de l'Eau RMC	Partenaire, cofinanceur	Toutes
Andromède Océanologie	Logistique terrain	Screening de façade
Parc Marin de la Côte Bleu	Logistique terrain	Station de mesure Réserve de Cap Couronne
STARESO	Logistique terrain	Station de mesure Baie de la Revellata
CHORUS	Logistique terrain	Station de mesure Cala Gonone
Alseamar	Réalisation mission	Exploration GLIDER

7 Bilan et perspectives du thème de surveillance 1 « NIVEAU DE BRUIT »

7.1 Les outils de traitement et d'analyse développés

[2015-2018]

Nous avons développé les outils pour mesurer les niveaux de bruit à l'échelle de la façade :

- Les niveaux large bande (dB re. 1 μ Pa rms) dans les bandes de tiers d'octave allant de 10 Hz à 26 008 Hz en suivant le standard iso (ISO 2018),
- Dont les deux bandes de tiers d'octaves identifiées par la DCSMM, centrées sur 65 Hz et 123 Hz (Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne 2008),
- Le spectre en densité spectrale de puissance (dB re. 1 μ Pa²/Hz).

Ces niveaux et densités de puissance sont évalués directement sur les données réelles pour estimer les niveaux « classiques » du bruit dit « océanique » (ONL, Ocean Noise Level) au sens de (NRC 2005). Le bruit océanique inclut le bruit de fond et tous les sons individualisables produits par des sources proches de l'hydrophone (cf. Figure 21). De par les formules appliquées pour le calculer, il porte plus d'information sur les sources proches que sur le bruit de fond (Merchant et al. 2016). Pour avoir une meilleure idée du bruit de fond (cf. Figure 21) et s'extraire de l'influence des sources proches, nous calculons le niveau de bruit ambiant (ANL, Ambient Noise Level) par une méthode que nous avons mise au point à CHORUS (Kinda et al. 2013, Mathias et al. 2016).

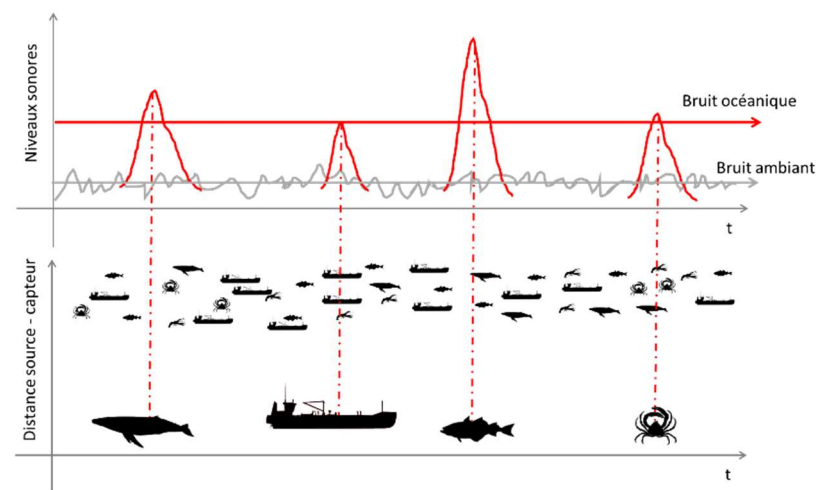


Figure 21 : Bruit océanique (en rouge) et bruit ambiant en gris, le premier (ONL) renseigne sur les sources sonores individualisables alors que le second (ANL) renseigne sur le bruit ambiant généré par le chorus des sources lointaines.

7.2 Les traitements réalisés et sorties produites

La

Table 3, page 13, synthétise les traitements réalisés. Toutes les données disponibles au 09/08/2018 ont été traitées. Pour chaque position de mesure, les lois de distributions des niveaux ONL et ANL ont été calculées et mises en

mémoire. Des sorties cartographiques des niveaux médians ont été réalisées. Des cartes similaires peuvent être reproduites à la demande pour n'importe quel centile. Pour chaque point de mesure, les spectrogrammes des données et les densités de probabilité des spectres ont été mis en mémoire.

7.3 Les résultats et analyses

7.3.1 *Exemple d'utilisation des spectrogrammes et des densités spectrales de puissance*

L'examen rapide et visuel de ces données permet de faire un diagnostic rapide du contenu des mesures (cf. Figure 22). Nous comparons systématiquement le spectre des données avec le modèle de Wenz ([Wenz 1962](#)). Le modèle de Wenz produit un spectre du bruit ambiant sans sources individualisables et sans intégrer la biophonie. Il modélise l'anthropophonie à partir d'un index compris entre 1 et 7 quantifiant l'intensité de trafic et la géophonie à partir de la vitesse du vent. Tout écart positif au modèle de Wenz démontre l'existence de sources sonores particulières (sources individualisables et/ou chorus). L'exemple de l'herbier corse présenté sur la Figure 22 est une bonne illustration. Pour les basses fréquences du bloc 1, la densité spectrale colle bien au modèle de Wenz et le trafic maritime est modeste. Les blocs 2 et 3 identifient clairement un dépassement du modèle de Wenz dû pour le premier la biophonie des poissons (sons de type /kwa/) et le deuxième à la biophonie des invertébrés benthiques. Ces 2 composantes biophoniques sont bien visibles sur le spectrogramme des mesures. Avant tout calcul lié aux 6 thèmes de surveillance, nous avons tout d'abord exploré exhaustivement toutes les densités spectrales et spectrogrammes des données.

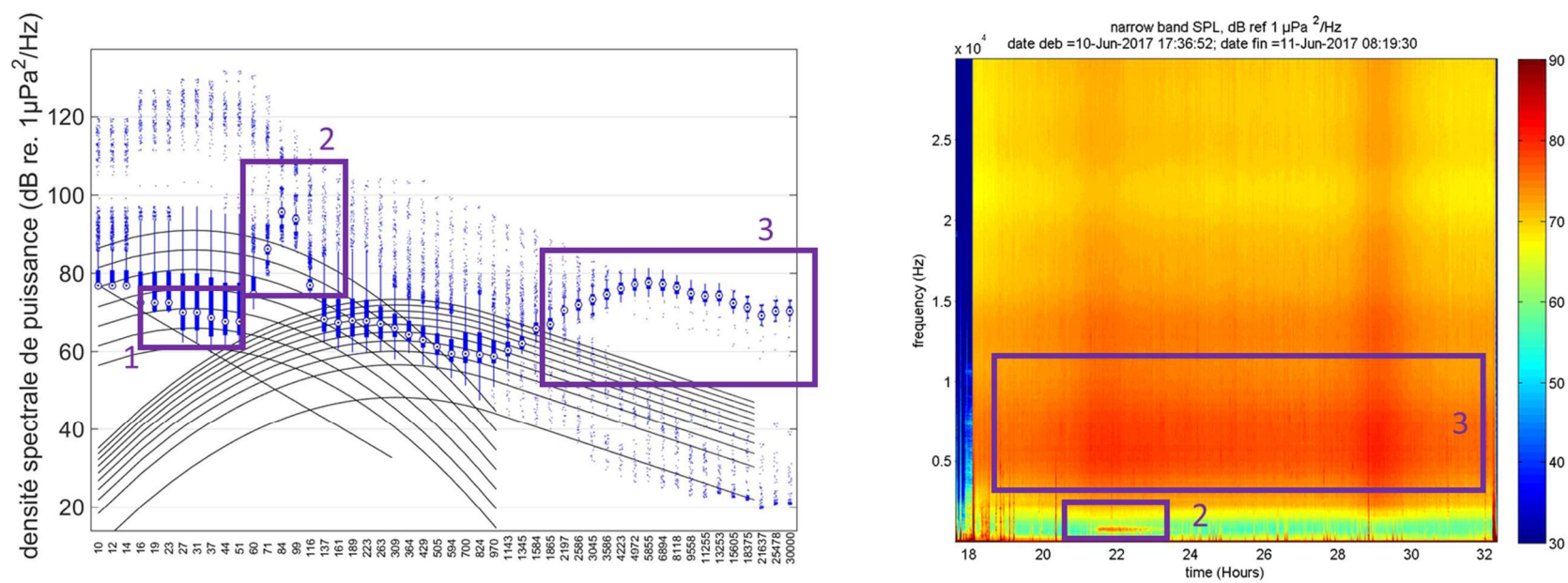


Figure 22 : exemple de densité spectrale (à gauche) et de spectrogramme (à droite), point de mesure sur herbier corse en 2017

7.3.2 Descripteurs DCSMM D11 critère 2

Nous avons calculé les niveaux de bruit ambiant (ANL) dans les tiers d'octave (63 Hz, 125 Hz) identifiés par le descripteur 11 critère 2 pour l'ensemble des données du réseau CALME. La cartographie des niveaux de bruit est disponible sur la plateforme MedTRIX et est reportée dans l'annexe 8, page 122.

Nous présentons maintenant la distribution statistique des niveaux de bruit en décomposant les mesures du réseau CALME en famille homogène :

- Glider hauturier,
- Screening de façade, coralligène,
- Screening de façade, limite inférieure,
- Screening de façade, herbier à 15 mètres de profondeur.

Les familles sont organisées pour présenter les mesures des plus profondes aux moins profondes, des plus proches du trafic maritime hauturier aux plus éloignées.

Nous avons intégré des mesures réalisées en 2016 et 2017 en tête de Canyon de Calvi lors d'étude de faisabilité d'un mouillage acoustique profond dédié DCSMM. Ces données sont recueillies à moins de 2 kilomètres du point d'arrivée du glider dans son exploration Toulon-Calvi, et simultanément pour le mouillage de 2017. Nous avons ainsi extrait les données du glider lorsqu'il était à moins de 3 kilomètres de la station de mesure en tête de canyon (cf. Figure 23).

Table 10 : DCSMM D11-Cr2 63 Hz : Distribution statistique du bruit ambiant dans le tier d'octave centré sur 63 Hz à l'échelle de la façade méditerranéenne

<i>ANL dB re. 1μPa rms, D11- CR2 63 Hz</i>									
	Moyenne	Ecart-type	Min	10 ^{ème} cent.	25 ^{ème} cent.	50 ^{ème} cent.	75 ^{ème} cent.	90 ^{ème} cent.	Max
Glider 2017	98.8	7.7	77.5	86.4	93.2	103.3	104.8	105.5	107.9
Glider 2017#	83.0	3.9	77.5	77.86	79.5	83.7	86.1	86.5	86.7
Calvi 16 150m*	83.6	11.3	73.0	73.9	75.5	78.3	86.4	105.7	116.3
Calvi 16 150m**	80.2	8.2	73.0	73.9	75.5	78.3	86.4	90.1	92.3
Calvi 17 125m*	78.91	3.6	72.9	74.6	76.4	78.8	80.5	82.2	98.2
Calvi 17 65m*	75.0	6.8	63.7	67.2	69.5	73.1	81.1	84.4	91.47
Scre. Coralligène	90.9	6.4	74.9	81.4	86.3	91.5	94.8	95.9	102.8
Scre. Lim. Inf	82.6	13.3	58.8	61.1	70.0	82.3	90.6	96.5	105.6
Scre. Her. 15m	94.2	11.3	55.4	85.6	87.5	95.4	97.7	101.4	118.6
Calvi 17 Her.15m*	75.4	4.4	71.1	71.6	72.4	73.5	76.2	83.6	88.5
Screening. global	89.2	11.8	55.4	76.0	83.3	90.6	95.5	101.4	118.6

Table 11 : DCSMM D11-Cr2 63 Hz : Distribution statistique du bruit ambiant dans le tier d'octave centré sur 63 Hz à l'échelle de la façade méditerranéenne

<i>ANL dB re. 1μPa rms, D11- CR2 125 Hz</i>									
	Moyenne	Ecart-type	Min	10 ^{ème} cent.	25 ^{ème} cent.	50 ^{ème} cent.	75 ^{ème} cent.	90 ^{ème} cent.	Max
Glider 2017	93.1	5.7	75.1	84.1	90.4	95.0	96.6	98.8	100.1
Glider 2017#	81.1	3.9	75.1	75.4	76.6	81.7	85.1	85.6	86.0
Calvi 16 150m*	82.0	8.7	73.1	75.0	76.8	79.5	82.8	98.8	110
Calvi 16 150m**	82.0	8.7	73.1	75.0	76.8	79.5	82.8	87.0	90
Calvi 17 125m*	80.12	3.6	72.4	74.7	78.0	80.1	82.8	83.9	85.6
Calvi 17 65m*	77.4	8.5	62.5	66.7	69.5	75.4	85.2	89.1	94.1
Scre. Coralligène	87.0	4.9	73.8	78.8	84.9	86.9	89.9	90.9	97.6
Scre. Lim. Inf	84.7	13	61.6	63.5	75.8	86.7	96.0	98.0	103.8
Scre. Her. 15m	91.2	11.2	65.1	73.8	84.6	91.7	97.6	99.4	115.1
Calvi 17 Her.15m*	73	4.9	68.5	69.3	69.8	71.2	75.7	81	87
Screening. global	87.7	10	61.67	72.8	81.5	88.2	96.1	98.9	113.1

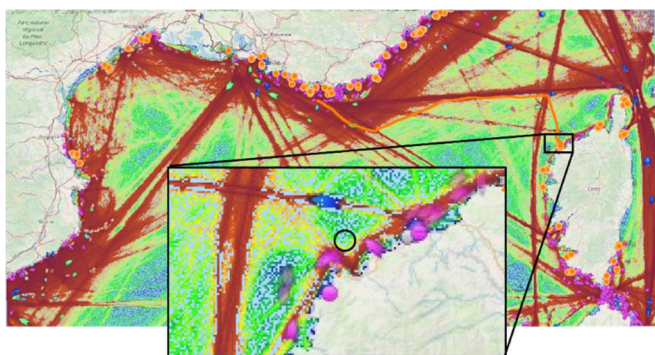


Figure 23 : à gauche site d'implantation de la station profonde en tête de canyon de Calvi (rond noir), à droite portion de trajectoire du glider sélectionnée à proximité de la station profonde.

Analyse

Pour le 1/3 d'octave centré sur 63 Hz, le niveau de bruit ambiant mesuré par CALME est 91.2 +/-9.5 dB re. 1µPa, le bruit en eaux hauturières 98.8+/-7.7 dB re. 1µPa est supérieur au bruit en zone côtière 89.2+/-11.8 dB re. 1µPa. Les plus grandes variabilités sont observées en zone côtière pour les limites inférieures d'herbier (+/-13.3 dB re. 1µPa) et sur les herbiers à 15 mètres de profondeur (+/-11.3 dB re. 1µPa).

Pour le 1/3 d'octave centré sur 125 Hz, le niveau de bruit ambiant mesuré par CALME est 89 +/-8.7 dB re. 1µPa, le bruit en eaux hauturières 93.1+/-5.7 dB re. 1µPa est supérieur au bruit en zone côtière 87.7+/-10 dB re. 1µPa. Les plus grandes variabilités sont observées en zone côtière pour les limites inférieures d'herbier (+/-13 dB re. 1µPa) et sur les herbiers à 15 mètres de profondeur (+/-11.2 dB re. 1µPa).

Comparaison des mesures du réseau CALME entre elles et avec les mesures à l'échelle Européenne

Nous avons identifié 3 références bibliographiques qui rapportent sur les niveaux de bruit DCSMM à partir de mesures réelles :

- Plusieurs points en environnement côtier sur les côtes anglaises avec un gradient d'activités anthropiques - Merchant, N. D., Brookes, K. L., Faulkner, R. C., Bicknell, A. W. J., Godley, B. J., & Witt, M. J. (2016). Underwater noise levels in UK waters. *Scientific Reports*, 6(1), 36942.

- 4 points de mesure à proximité du rail d'Ouessant (4 kilomètres et 20 kilomètres) dans 100 mètres d'eau - Kinda, G. B., Le Courtois, F., & Stéphan, Y. (2017). Ambient noise dynamics in a heavy shipping area. *Marine Pollution Bulletin*, (February), 0–1.
- 1 point de mesure profond (2000) à la sortie du port de Catane (trafic similaire à celui de Toulon) - Viola, S., Grammauta, R., Sciacca, V., Bellia, G., Beranzoli, L., Buscaino, G., ... Riccobene, G. (2017). Continuous monitoring of noise levels in the Gulf of Catania (Ionian Sea). Study of correlation with ship traffic. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1–2), 97–103.

Pour ces références, nous avons extrait les moyennes et variances du bruit ambiant. A des fins des comparaisons, nous avons considéré que les bruits décrits dans les 3 références étaient distribués suivant une loi normale.

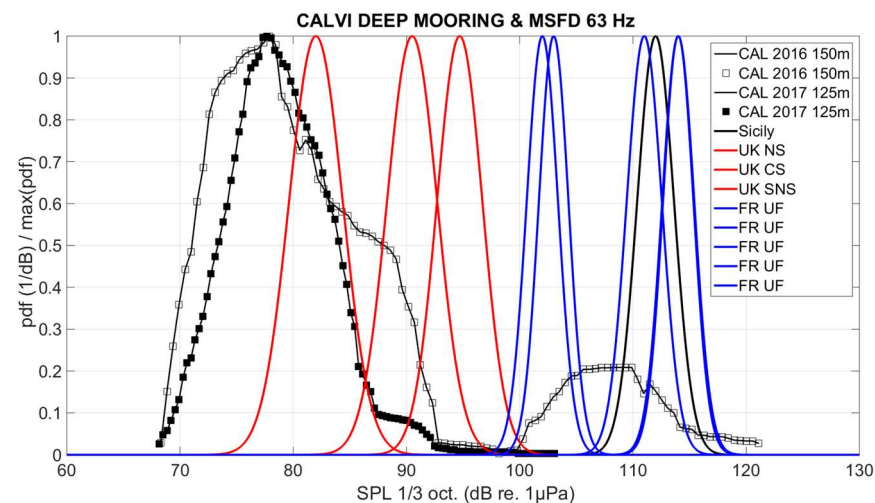


Figure 24 : densité de probabilité de l'ANL dans le 1/3 d'octave 63 Hz – station d'écoute en tête de Canyon de Calvi (carrés gris et noir) par rapport aux autres sites d'Europe.

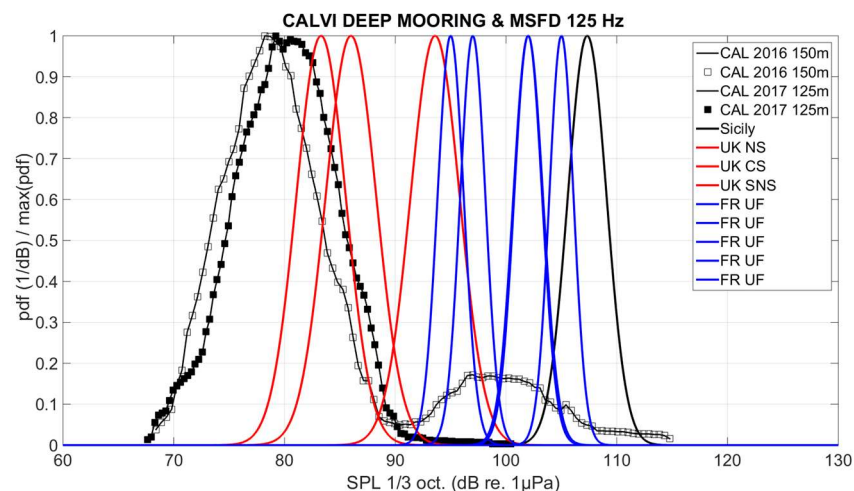


Figure 25 : densité de probabilité de l'ANL dans le 1/3 d'octave 125 Hz – station d'écoute en tête de Canyon de Calvi (carrés gris et noir) par rapport aux autres sites d'Europe.

Les densités de probabilité issues des campagnes 2016 et 2017 sont très proches (différence entre valeurs moyennes et plus probables inférieure à 3 dB) alors que les mesures sont réalisées avec des systèmes de mesure différents (RTSYS SDA 14 en 2017, SM2M en 2016). Ceci valide la chaîne d'analyse par CHORUS. La loi de densité de 2016 montre un mode secondaire autour de 95 dB dû à une tempête. Ce fait illustre l'influence des conditions météorologiques sur le niveau mesuré. Les niveaux mesurés en tête de canyon de Calvi sont inférieurs à ceux reportés dans la littérature, ce qui valide le fait que la tête de

Canyon de Calvi peut être utilisée comme une station de référence de faible bruit en Méditerranée et en environnement hauturier pour la DCSMM.

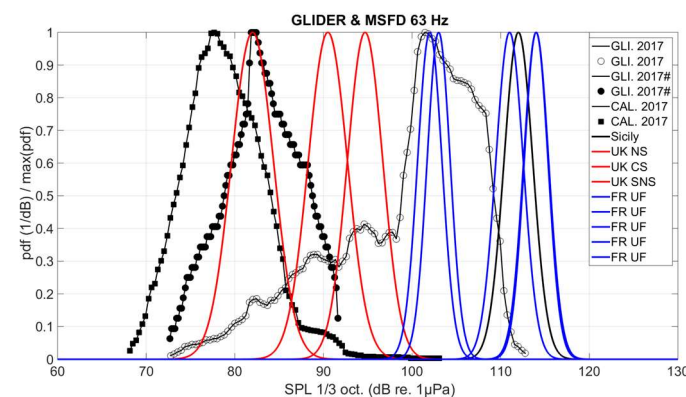


Figure 26 : densité de probabilité de l'ANL dans le 1/3 d'octave 63 Hz – station d'écoute en tête de Canyon de Calvi (ronds noirs), glider à proximité de la station d'écoute et en mer Ligure (ronds gris) par rapport aux autres sites d'Europe.

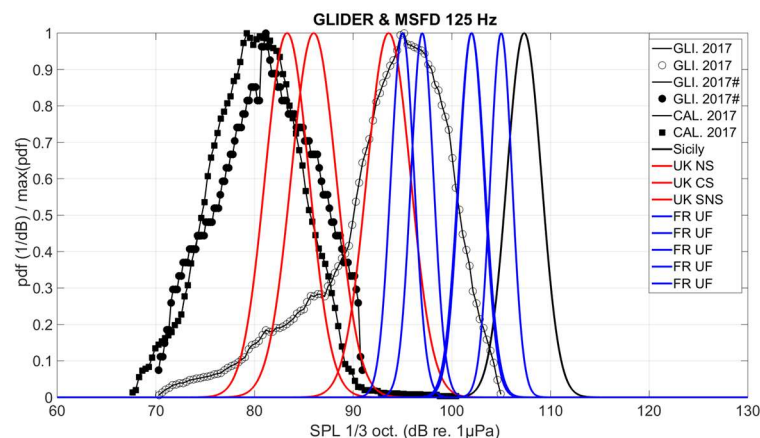


Figure 27 : densité de probabilité de l'ANL dans le 1/3 d'octave 63 Hz – station d'écoute en tête de Canyon de Calvi (ronds noirs), glider à proximité de la station d'écoute et en mer Ligure (ronds gris) par rapport aux autres sites d'Europe.

Les densités de probabilité du bruit mesuré par le glider à proximité de la station d'écoute de la tête de canyon de Calvi sont très proches de celles mesurées par la station de mesure fixe. La différence entre les valeurs moyennes est inférieure à 1 dB pour le tiers d'octave à 125 Hz et 4 dB pour le tiers d'octave à 63 dB. Ceci valide pleinement la faisabilité du bruit ambiant par glider et la faible influence des bruits propres et du bruit hydrodynamique. Lorsque le glider explore la mer ligure à proximité des rails de navigation, le bruit ambiant est supérieur à celui des zones côtières anglaises (confirmant l'influence de la bathymétrie sur le bruit ambiant). Le bruit ambiant se rapproche du bruit mesuré à 20 kilomètres du rail d'Ouessant mais est inférieur de 20 à 25 dB au bruit mesuré dans le golfe de Catane dans des conditions de trafic similaires.

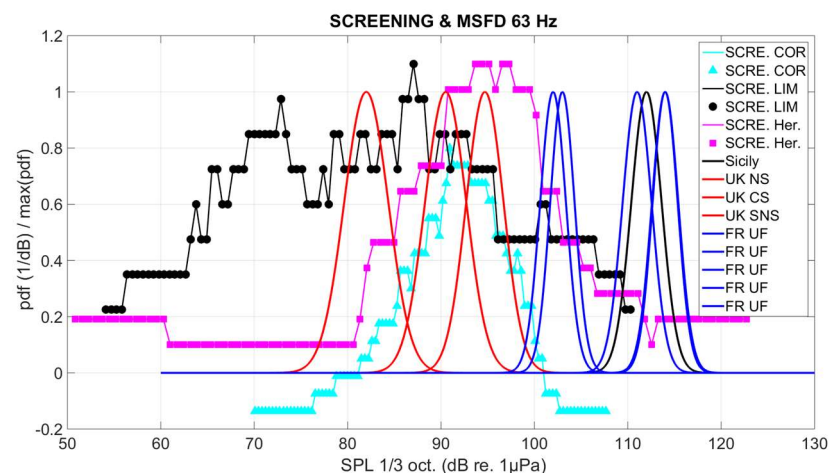


Figure 28 : densité de probabilité de l'ANL dans le 1/3 d'octave 63 Hz – screening de façade – un décalage vertical a été appliqué aux lois de densité de probabilité pour faciliter leur lecture

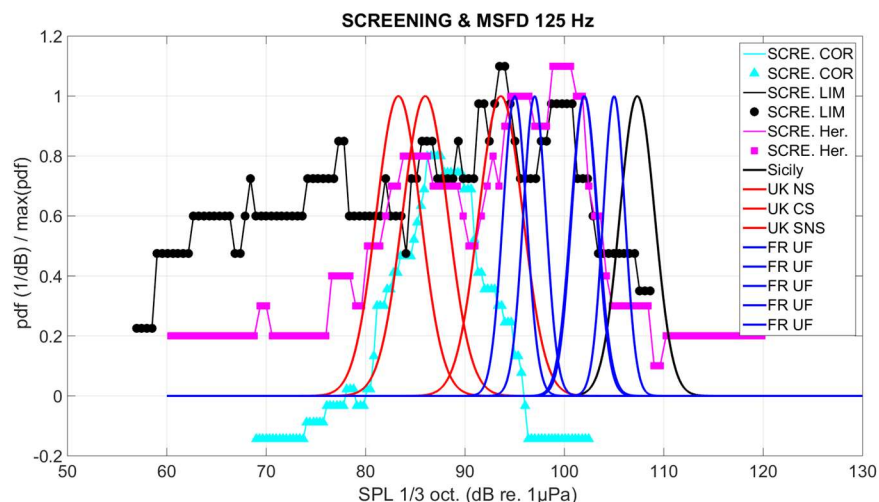


Figure 29 : densité de probabilité de l'ANL dans le 1/3 d'octave 125 Hz – screening de façade– un décalage vertical a été appliqué aux lois de densité de probabilité pour faciliter leur lecture

Les niveaux mesurés durant le screening de façade sont inférieurs aux niveaux mesurés en zones hauturières. Les niveaux sur le coralligène présentent des valeurs moyennes et des variances proches de celles mesurées en mer du nord. Les niveaux sonores mesurés sur les herbiers et les limites inférieures sont très variables. Une dynamique de +/-15 dB est observée, dynamique similaire à celle induite par la tempête à la station de mesure fixe en tête de canyon de Calvi et celle rapportée dans Mathias et al, 2016 pour un environnement côtier de 15 mètres de profondeur et un passage du vent de 5 nœuds à 25 nœuds. Les données du screening étant mesurées sur une nuit, des périodes de vents faibles ne sont pas assurées. Une étude avancée est nécessaire pour étudier l'influence

du vent dans les mesures de screening et le cas échéant éliminer les mesures trop polluées par la géophonie.

8 Bilan et perspectives du thème de surveillance 2 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DES USAGES »

8.1 Les outils d'analyse développés

Conformément aux objectifs identifiés dans le chapitre 5.7 page 50, nous nous concentrons sur l'étude des bateaux en transit grâce à une chaîne de traitement décrite Figure 16, page 45.

Table 12 : Etat d'avancement de la chaîne de caractérisation de la communauté acoustique générée par les navires en transit

Détection des signaux individualisables et des chœurs		
Opérationnel		
Description de la forme des signaux	Comptage	Description des niveaux sonores (indiv, chorus)
En cours	Opérationnel	Opérationnel
Construction d'un dictionnaire	Abondance	Energie sonore
Dev. en 2019		
Richesse et diversité		
Dev. en 2019	Opérationnel	Opérationnel
Indicateurs environnementaux		
Dev. en 2019-2020		

Pour réaliser la détection des navires en transit, nous utilisons la signature temps-fréquence de type Miroir de Lloyds décrite dans la section 4.2. La détection

s'effectue dans le spectrogramme et elle est basée sur une adaptation des outils développés à CHORUS initialement dédiés aux cétacés :

- Gervaise, C. (2016). *U.S. Patent No. 9,429,666*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Dadouchi, F., Gervaise, C., Ioana, C., Huillery, J., & Mars, J. I. (2013). Automated segmentation of linear time-frequency representations of marine-mammal sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(3), 2546–2555.

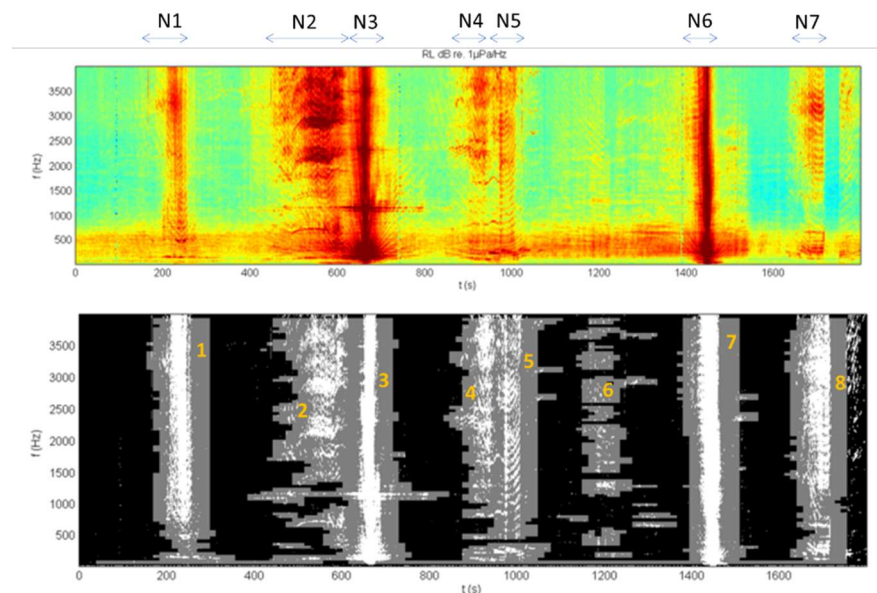


Figure 30 : Exemple de mise en œuvre des outils de détection des bateaux en transit, en haut un segment de 40 minutes de mesures montrer le passage de 7 embarcations signalées par 7 structures d'interférence de type Miroir de Lloyds, en bas le résultat de notre outil de détection en noir absence de navire, en gris présence possible d'un navire en blanc présence assurée d'un navire

Le rayon de détection a été étudié dans le cadre du projet SEACOUSTIC (CHORUS – Agence de l'Eau RMC) dans la baie de la Revelatta en associant mesure acoustique et relevé photo ([Magnier et al, 2016](#)) , il est de l'ordre de 500 mètres en zone côtière comme la baie de la Revelatta et la réserve de Cap Couronne.

L'algorithme de détection identifie bien le support temporel et temporel de chaque passage de navire il permet donc le comptage (axe abondance) et l'évaluation des niveaux de bruit rayonné (axe énergie sonore).

Les perspectives de développement sont de développer :

- A courts termes : Le Portage sur glider de l'existant, l'implémentation opérationnelle en cours,
- A moyens termes : l'axe diversité via des outils de classification appliqués à des features obtenus dans les espaces de représentation spectraux, demon, ceptraux, ceptraux-MFCC (une étude bibliographique étendue est en cours)

8.2 Les traitements réalisés et sorties produites

Nous avons traité les mesures issues des stations de mesures continues de la réserve de cap couronne et de la baie de la Revelatta jusqu'au 30 Novembre 2017 (cf

Table 3, page13). Pour ces données, nous avons produit et archivé les séries temporelles du nombre de passage de navires dans une unité de temps (unité de comptage 30 minutes).

8.3 Les résultats et analyses

La Figure 31 présente les séries temporelles sur une année du nombre de bateaux transitant dans un disque de 500 mètres autour de l'hydrophone .

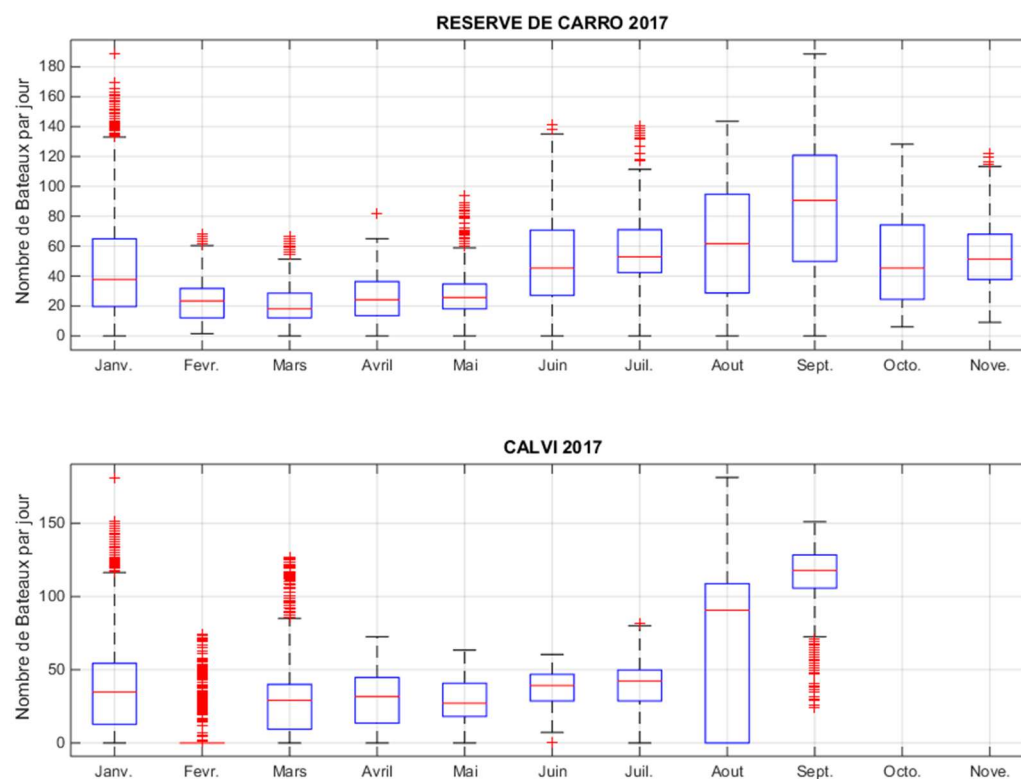


Figure 31 : série annuelle (diagramme moustache mensuel) du nombre de navires transitant dans un disque de rayon 500 mètres autour de l'hydrophone d'écoute, en haut station d'écoute du cap Couronne, en bas station d'écoute de la baie de la Revelatta

Le trafic maritime dans la réserve du cap Couronne et de la baie de la Revelatta présente une dynamique similaire. Le nombre de navire par jour varie entre 0 et 180 pour un nombre moyen de 43 ± 27 passages. La période estivale (65 ± 22) montre très clairement une augmentation du trafic par rapport à la saison hivernale (20 ± 16).

La station d'écoute de la baie de la Revelatta est opérée par la STARESO qui opère en parallèle une série de capteurs dans le cadre du programme STARECAPMED dont une station météorologique, données mises à disposition de CHORUS. Nous avons débuté une étude des paramètres environnementaux qui pilotent la variabilité du trafic. La Figure 32 montre clairement que l'heure dans la journée conditionne le trafic majoritairement constitué d'embarcations destinées à un usage récréatif (Magnier et al, 2016). A cette modulation temporelle s'ajoute l'influence de la vitesse du vent (relation négative) et de la température (relation positive) (cf Figure 33).

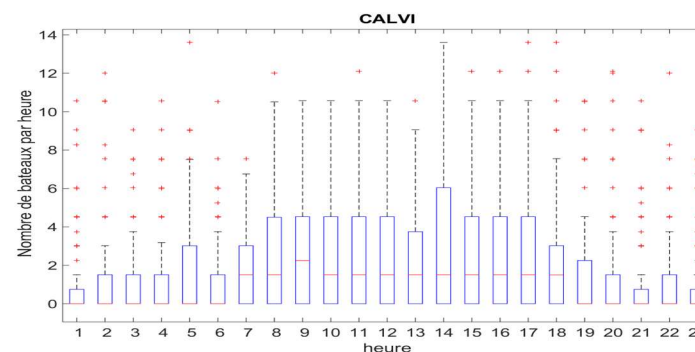


Figure 32 : Distribution du nombre de navires par heure dans le cycle journalier, 2017, Baie de la revelatta

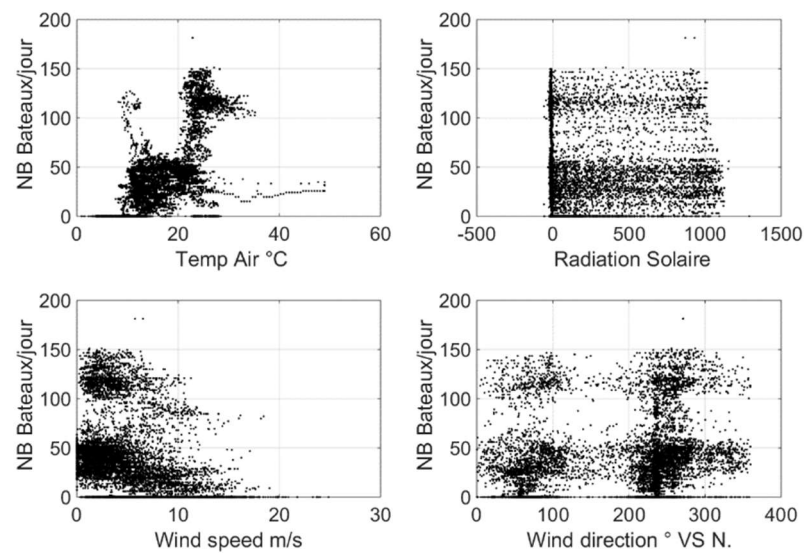


Figure 33 : Influence des paramètres météorologiques sur le nombre de navires par jour, 2017, Baie de la Revelatra

9 Bilan et perspectives du thème de surveillance 3 « EFFETS ACOUSTIQUES DES ACTIVITES ANTHROPIQUES »

A date du 15/08/2018, les travaux relatifs au thème de surveillance « Effets acoustiques des activités anthropiques » n'ont pas encore débuté, ils débiteront en Septembre 2018 pour une solution opérationnelle fin 2019. Les développements ne poseront pas de problèmes, car nos travaux reposeront sur les savoir-faire de CHORUS dédiés à la modélisation pour les mammifères marins et permettant de cartographier les effets négatifs de sons à l'échelle d'un bassin (Gervaise et al. 2015, Aulanier et al. 2016, 2017) (cf. Figure 34). Jusqu'à 2021, nous nous focaliserons sur l'impact du trafic maritime sur les poissons dans un contexte d'eaux peu profondes.

Dans un premier temps, nous utiliserons les mesures des stations continues pour extraire l'anthropophonie (nombre, distribution, niveau sonore) et évaluer les impacts à ces points de sonde. Le nombre, la distribution, et les niveaux sonores des navires en transit serviront de données d'entrée pour alimenter un modèle de simulation acoustique qui permettra de cartographier les niveaux sonores produits par le trafic et les zones d'impact. Dans un troisième temps, les sorties du modèle seront comparées aux mesures réelles et les paramètres du modèle seront ajustés pour optimiser l'accord entre sorties de modèle et données. Ainsi calibré le modèle permet de spatialiser les niveaux d'impact.

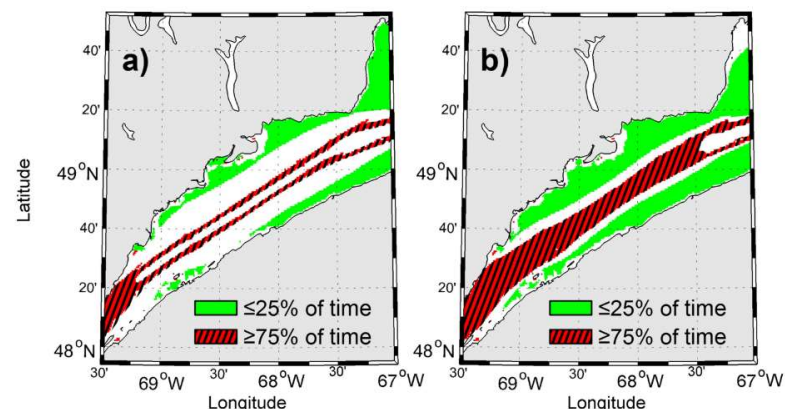


Figure 34 : Exemple de capacité à cartographier les zones d'impact du bruit de trafic maritime sur un compartiment biologique (ici baleine bleue) à l'échelle d'un bassin, en vert la zone d'absence de dérangement comportemental, en rouge la zone de dérangement, les deux graphes correspondent à deux hypothèses de trafic, extrait de Gervaise et al, 2015

A ce jour, toutes les « briques » sont disponibles sauf la « brique » transformant les niveaux sonores perçus par les poissons en effets quantifiés. En effet, nous ne disposons pas de guide de référence pour les seuils générant des effets chroniques pour des sons de navire présents en permanence. Pour pallier cette absence nous avons compilé 120 références bibliographiques. Leur lecture et leur synthèse débutera en septembre 2018.

10 Bilan et perspectives du thème de surveillance 4 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DU COMPARTIMENT BENTHIQUE »

10.1 Les outils d'analyse développés

A date du 15/08/2018, une première version opérationnelle de la chaîne de traitement (au sens de la Figure 16, page 45) est finalisée. Cette chaîne va des données brutes aux descripteurs et un travail de fond est en cours de réalisation sur la construction d'indicateurs environnementaux.

Table 13 : Etat d'avancement de la chaîne de caractérisation de la biophonie benthique vue comme une communauté acoustique

Détection des signaux individualisables et des chœurs		
Opérationnel		
Description de la forme des signaux	Comptage	Description des niveaux sonores (indiv, chorus)
Opérationnel	Opérationnel	Opérationnel
Construction d'un dictionnaire	Abondance	Energie sonore
Opérationnel en version simplifiée		
Richesse et diversité		
Opérationnel en version simplifiée	Opérationnel	Opérationnel
Indicateurs environnementaux		
Dev. en cours		

Détection

Les sons émis par les invertébrés benthiques sont des impulsions très courtes générant un spectre large bande à partir de 1,5 kHz. Sous ces hypothèses, le détecteur optimal ([Kay 1993, 1998](#)) est constitué d'un filtrage passe-haut suivi d'un détecteur d'énergie comparant l'énergie du signal capté avec celui du pied de bruit estimé à partir de la méthode proposée dans ([Kinda et al. 2013](#)).

L'annexe 9, page 124 détaille la théorie utilisée dans la publication en cours de soumission : [Di Iorio, L, Gervaise, C, Boissery P., \(2018\) Toward ecological indicators of the seagrass meadow and coralligenous assemblages at the scale of the North-West Mediterranean seacoast thanks to the benthic biophony, Marine Ecology Progress Series, Submitted](#). La Figure 35 illustre le fonctionnement de l'algorithme sur données réelles.

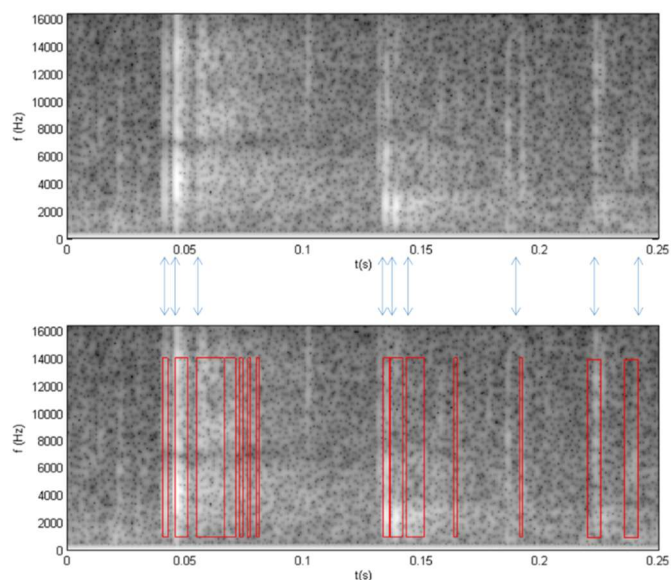


Figure 35 : Exemple des résultats de l'extraction de la biophonie benthique – en haut le spectrogramme de 0.25 seconde de mesure, les flèches bleues indiquent les impulsions benthiques, en bas les rectangles rouges identifient le support tempo-fréquentiel des impulsions détectées

L'algorithme de détection date les impulsions et ressort leur support temporel, il permet donc le comptage (axe abondance). Une fois détectée et isolée, chaque impulsion est analysée pour en extraire 24 paramètres de forme (axe diversité) et 4 paramètres de niveau sonore (axe énergie sonore) (cf. L'annexe 9, page 124).

Diversité & Richesse : Approche préliminaire

Une approche simple a été adoptée dans un premier temps. Elle consiste à visualiser les histogrammes de chaque descripteur ou de chaque couple de descripteurs et à noter si ces histogrammes présentent plusieurs modes. Dans ce cas, nous décidons que chaque mode constitue une famille. Concernant la biophonie benthique, la fréquence peak (descripteur d_6) a présenté plusieurs modes sur toutes les données que nous avons analysées. Elle constitue un bon point de départ pour définir le dictionnaire biophonique, chaque mode de la distribution constituant une famille.

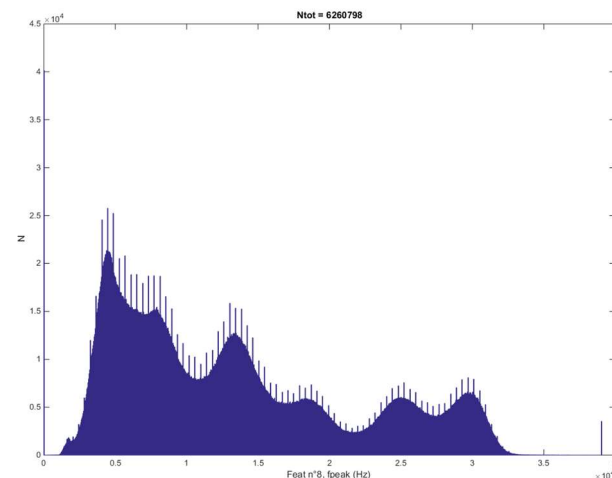


Figure 36 : Histogramme représentatif de la fréquence peak des impulsions benthiques (N= 6 260 800) émises entre 23 :00 et 24 :00 pour tous les points du screening de façade.

Nous avons alors défini 6 familles d'impulsions benthiques, chaque famille est définie par un intervalle de fréquence peak : F1 [2kHz-6kHz], F2 [6-10kHz], F3 [10-15kHz], F4 [15kHz-22kHz], F5 [22kHz-27kHz], F6 [27kHz, 39 kHz].

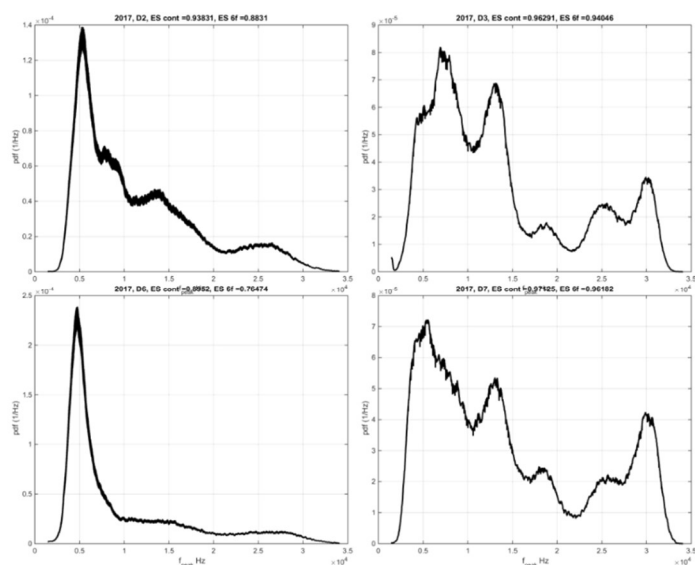


Figure 37 : Exemples typiques de distribution de fréquence peak (en abscisse) et d'index de diversité de Shannon (en ordonnée), screening de façade 2017, à gauche faible diversité globale par prépondérance de la famille F1, à droite forte diversité globale

Quantification de la communauté

Le step 4 (cf. Figure 16, page 45) est alimenté par la totalité de la session de mesure prétraitée par les steps 2 et 3.

Le step 4.a-Figure 16 dédié à la richesse et la diversité acoustique est alimenté par les résultats de l'algorithme de clustering. La richesse acoustique est définie comme le nombre de classes définies par l'algorithme, dans notre cas nous avons identifié 6 familles. A partir des effectifs de signaux contenus dans chaque famille, nous pouvons définir la probabilité d'appartenance à chaque classe et utiliser cette probabilité pour évaluer l'index de diversité de Shannon (Gotelli & Chao 2013). Pour la biophonie benthique, la famille F1 comprend 70% des impulsions. Afin d'éviter que la prépondérance de cette famille vienne gommer la diversité dans les 5 autres familles, nous avons défini deux index de diversité, la diversité de Shannon sur les 6 familles et la diversité de Shannon sur les 5 familles de F2 à F6 (cf. Figure 37).

Le step 4.b-Figure 16 dédié à l'évaluation de l'abondance de la communauté acoustique est alimenté par une série temporelle (pas : 30 secondes) du nombre de sons détectés par minute. Deux abondances sont définies, l'abondance pour les 6 familles (F1 à F6) et l'abondance pour les familles F2 à F6. Nous proposons de définir l'abondance de la communauté comme la médiane de la série temporelle.

Le step 4.c-Figure 16 dédié à l'évaluation de l'énergie sonore de la communauté acoustique est alimenté par une série temporelle (pas : 30 secondes) de l'ANL calculé sur 1 minute, de tous les SPL_{p-p} et SCL des signaux individualisables. Nous proposons de définir l'énergie sonore de la communauté

par 3 paramètres définis comme la médiane de l'ANL et du SPL_{p-p} et par le SCL global de tous les signaux détectés.

Après avoir évalué la biophonie benthique par les descripteurs de diversité, d'abondance et de niveau sonore, nous avons travaillé sur les indicateurs.

Approche « indicateur acoustique » : nous avons défini un score global. Les descripteurs de diversité (x2), d'abondance (x2) et de niveau sonore (x3) sont normalisés entre 0 et 1 en prenant soin d'éliminer les outliers inférieurs et supérieurs : à partir du diagramme moustache d'un item pour un habitat, on définit 5 jalons : whisker_inf, Quartile_Q1, Médiane, Quartile_Q3, whisker_sup et nous calculons un score par portion linéaire :

- 0 si descripteur < whisker_inf
- 0 à 0.2 si whisker_inf < descripteur < Quartile_Q1
- 0.1 à 0.5 si Quartile_Q1 < descripteur < Médiane
- 0.5 à 0.8 si Médiane < descripteur < Quartile_Q3
- 0.8 à 1 si Quartile_Q3 < descripteur < whisker_sup
- 1 si descripteur > whisker_sup.

Après normalisation, nous calculons un score global en sommant les scores individuels de chaque descripteur :

$$\text{score global} = \frac{1}{2}(\text{scoD1} + \text{scoD2}) + \frac{1}{2}(\text{scoA1} + \text{scoA2}) + \frac{1}{3}(\text{scoE1} + \text{scoE2} + \text{scoE3}).$$

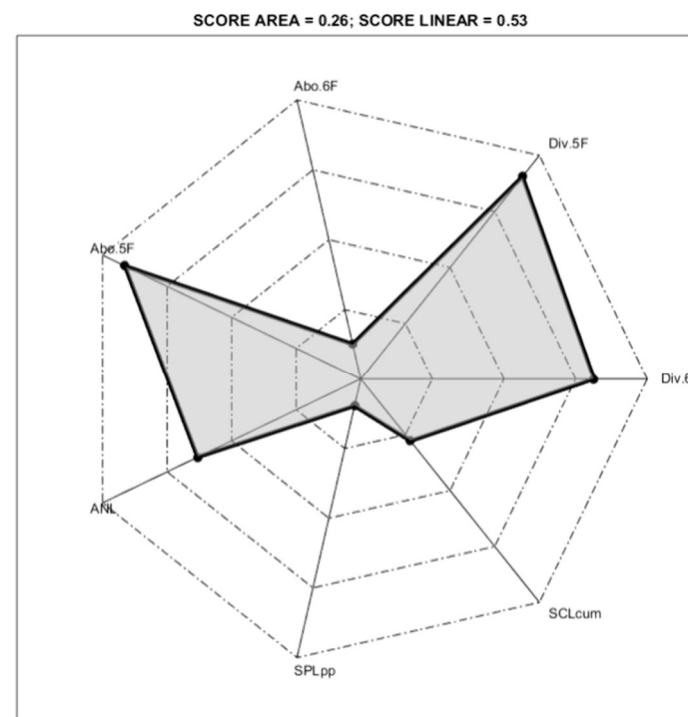


Figure 38 : Construction d'un score global issu du screening de façade, typique d'un herbier loin des roches (faible abondance de la famille F1, niveaux sonores limités, diversité grande)

10.2 Les traitements réalisés et sorties produites

Toutes les données du screening de façade de 2015 à 2017 ont été traitées.

Table 14 : Synthèse des résultats de caractérisation de la biophonie benthique, screening de façade 2015-2017

Année	Nb pos. durée	NImp. All	NImp. Coralligène	NImp. Seagrass Low. Lim.	NImp. Seagrass 15m
2015	67 12 heures	65 900 000	19 600 000	14 300 000	25 900 000
2016	38 12 heures	27 700 000	9 700 000	7 300 000	10 600 000
2017	30 12 heures	35 800 000	9 400 000	13 360 000	12 700 000
Total	135 12 heures	129 400 000	38 700 000	34 900 000	49 200 000

10.3 Les résultats et analyses

15/08/2018 : Première mondiale à notre connaissance, nous avons cartographié l'état éco-acoustique (score global) du compartiment benthique à l'échelle de la façade.

Un travail de fond est en cours pour les herbiers et le coralligène alimenté par les données des réseaux TEMPO et RECOR, afin d'identifier les paramètres environnementaux qui pilotent les descripteurs de la biophonie et définir des indicateurs environnementaux. Les résultats sont rapportés dans : [Di Iorio, L, Gervaise, C, Boissery P., \(2018\) Toward ecological indicators of the seagrass meadow and coralligenous assemblages at the scale of the North-West Mediterranean seacoast thanks to the benthic biophony, Marine Ecology Progress Series, en preparation.](#)

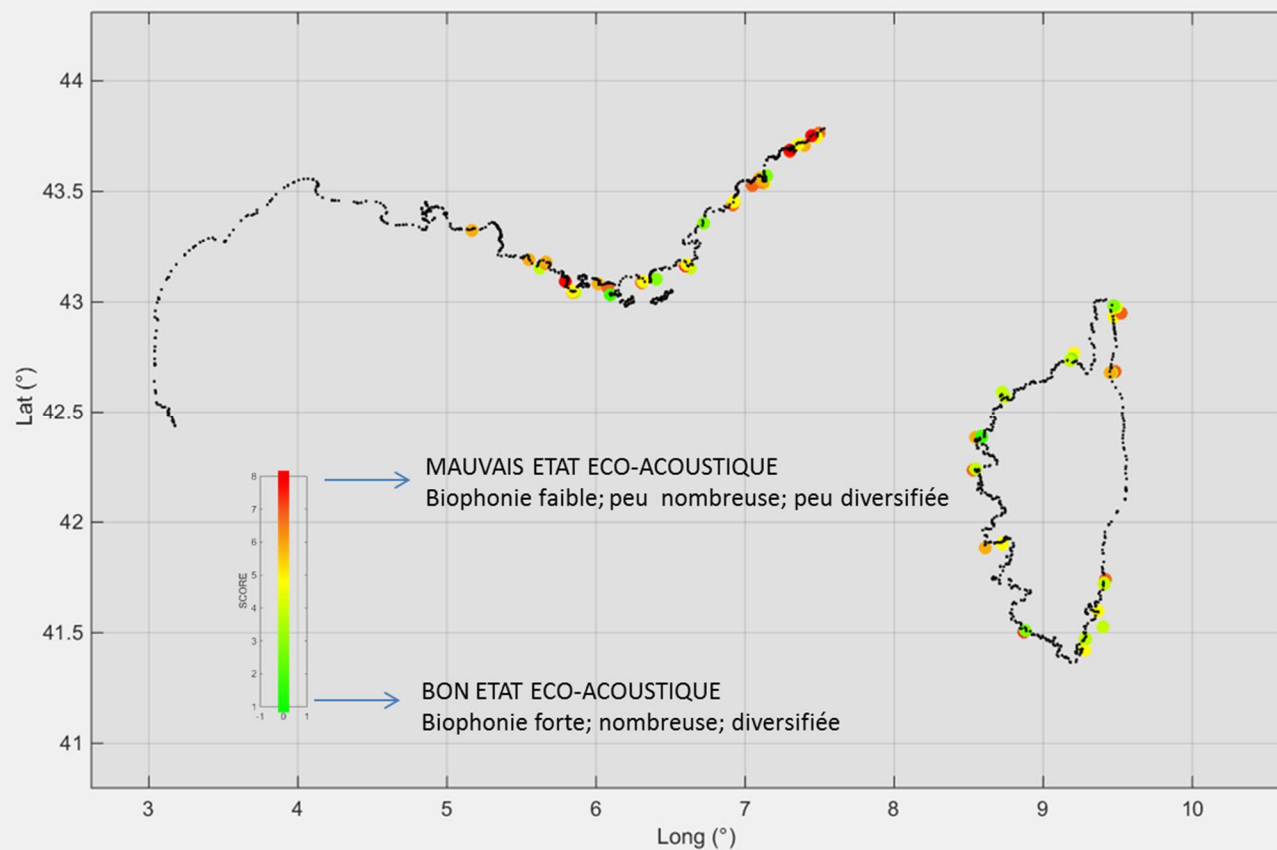


Figure 39 : Cartographie de l'état éco-acoustique du compartiment benthique, screening de façade 2015-2017

11 Bilan et perspectives du thème de surveillance 5 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DU COMPARTIMENT ICHTYOLOGIQUE »

11.1 Les outils d'analyse développés

Nous nous sommes concentrés sur les poissons émettant des signaux répétitifs de type tambours à rythme de répétition lent comme les *Ophidions rochei* et les corbs ([Parmentier et al. 2010, 2018](#)) et à rythme de répétition rapide de type /kwa/ ([Di Iorio et al. 2018](#)).

Au 15/08/2018, l'état d'avancement de la chaîne de traitement globale présentée Figure 16 est le suivant :

Détection des signaux individualisables et des chorus		
Opérationnel		
Description de la forme des signaux	Comptage	Description des niveaux sonores (indiv, chorus)
Opérationnel	Opérationnel	Opérationnel
Construction d'un dictionnaire	Abondance	Energie sonore
Dev. en 2019		
Richesse et diversité		
Dev. en 2019	Opérationnel	Opérationnel
Indicateurs environnementaux		
Dev. en 2019		

Détection des signaux individualisables

Les sons émis par les poissons sont constitués d'une succession d'impulsions rapides. Le même algorithme que celui utilisé (cf. chapitre 10.1) pour la détection des impulsions benthiques pourrait être proposé. Cependant les sons de poissons contiennent principalement des basses fréquences comprises entre 50 Hz et 1500Hz. Or c'est sur cette bande fréquentielle qu'existe également le bruit rayonné par les bateaux. Un détecteur 'simple' d'impulsions détectera alors les impulsions individuelles émises par les poissons mais aussi tous les signaux transitoires émis par les bateaux, conduisant à une surestimation du nombre de sons attribués aux poissons. Pour éviter cela, plutôt que de détecter individuellement chaque impulsion, nous proposons de détecter les groupes d'impulsions présentant un rythme de répétition. Nous utilisons la transformée temps-rythme à suppression d'harmoniques. Pour cela, nous avons adapté le détecteur de trains de clics de cétacés que nous avons développés en 2015 ([Le Bot et al. 2015](#)) à la production sonore des poissons et au bruit ambiant constitué de bruit d'embarcations motorisées. La publication est disponible sur demande.

La Figure 40 illustre le fonctionnement de l'algorithme de détection de sons de poissons sur données réelles issues du réseau CALME.

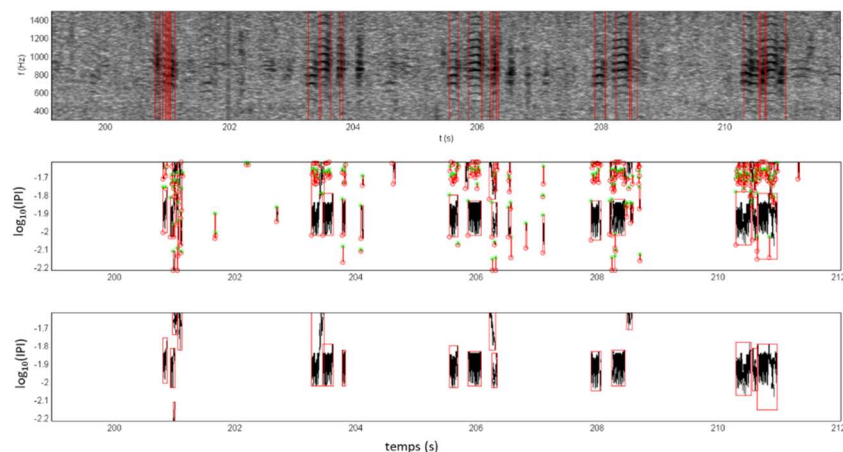


Figure 40 : Illustration du fonctionnement de notre algorithme de détection de sons de poissons. En haut, spectrogramme de 15 secondes de mesure (réseau CALME) montrant plusieurs sons de poissons de type /kwa/ (Di Iorio et al, 2018). Chaque /kwa/ est constituée d'une succession d'impulsions très rapides. Au milieu, résultat de la segmentation de la transformée temps-rythme calculée suivant Le Bot et al, 2015, en bas résultat de la transformée temps-rythme modifiée pour être adaptée aux sons de poissons, les rectangles rouges identifient les signaux détectés dans la transformée temps-rythme, ces rectangles de détection sont reportés sur le spectrogramme du haut.

Détection des chorus

Nous évaluons le spectrogramme du bruit ambiant ANL et nous détectons de maximas locaux dans ce spectrogramme. Pour cela, nous utilisons notre outil de traitement ASA (Automatic Soundscape Analyser).

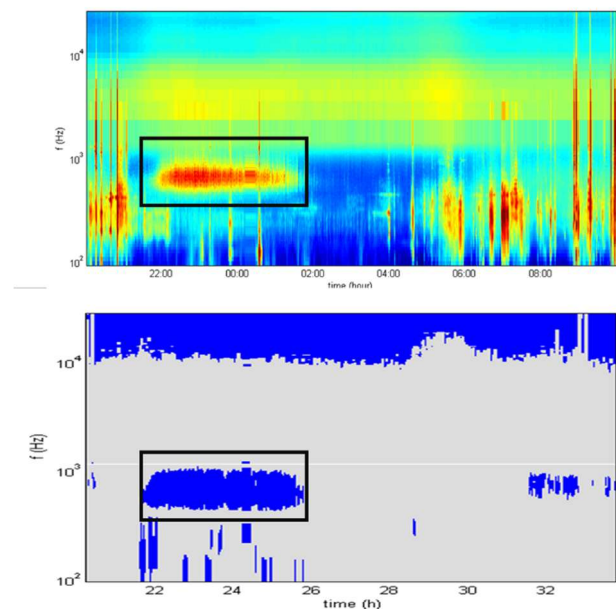


Figure 41 : exemple de détection d'un chorus acoustique de type /kwa/ à partir de l'outil ASA, en haut spectrogramme des données avec un chorus de /kwa/ bien visible, en bas : en bleu zone détectée comme des chorus

Après détection, les sons sont comptés, puis isolés et traités pour extraire 21 paramètres de forme et 3 paramètres de niveaux (cf. annexe 10, page 132).

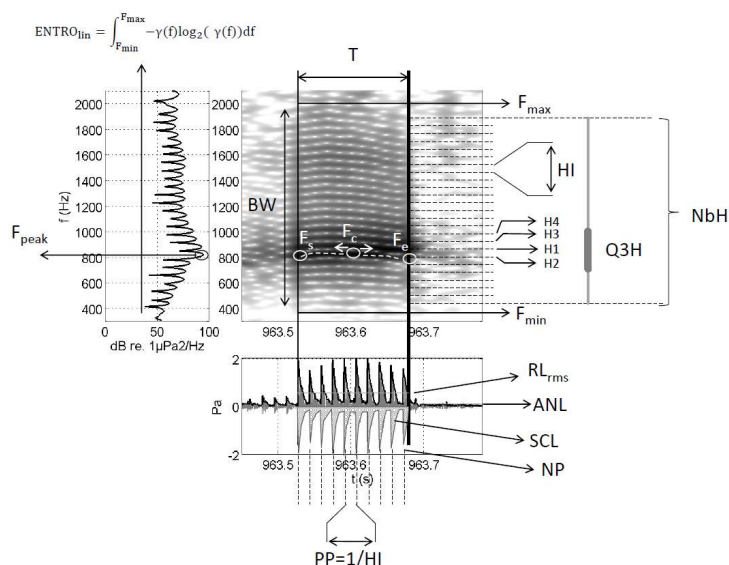


Figure 42 : Illustration des paramètres descriptifs des sons de poissons de type /kwa/ ou drums, extrait de Di lorio et al, 2017

11.2 Les traitements réalisés et sorties produites

A date du [15/08/2018], tous les sites échantillonnés dans le screening de façade en 2016 et 2017 ont été étudiés soit 58 sites, dont 22 herbiers, 24 limites inférieures et 24 coralligènes du littoral PACA et Corse. Etant donné l'état de

développement de la chaîne de traitement, une analyse semi-quantitative a été réalisée. Cette analyse allie des sorties des outils de traitement automatique adaptés aux sons de type « drums » et « kwa » et des annotations manuelles par L. Di lorio pour pallier i) l'absence des outils de détection des sons ne présentant pas de structures répétitives et ii) l'absence d'outils d'évaluation de la diversité de la production ichtyo-sonore.

L'analyse semi-quantitative a consisté à créer des spectrogrammes moyen-terme (Figure 43) permettant de visualiser l'enregistrement nocturne en entier et se faire un premier aperçu du paysage acoustique des sites.

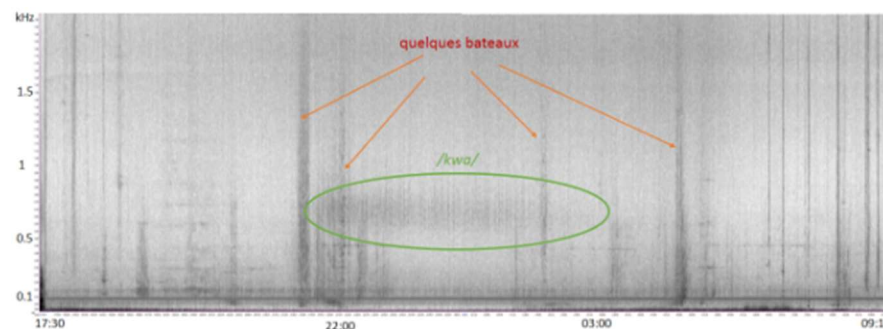


Figure 43 : Spectrogramme moyen-terme d'une nuit d'enregistrement (Herbier D10 2016) dans lequel on aperçoit clairement le « nuage » de /kwa/, des passages de bateaux et le bruit lointain du générateur d'un grand navire (raie à 100 Hz).

Les spectrogrammes des enregistrements ont été parcourus visuellement afin de manuellement annoter la présence des sons plus communs et nombreux, notamment le /kwa/, les vocalises d'*Ophidion rochei* et du corb. L'heure de début de leur apparition dans chaque fichier était notée ainsi que la présence ou non de chorus de fond (production de masse représentée par un « nuage »

énergétique diffus dans le spectrogramme). La présence d'autres types de sons moins fréquents a aussi été notée (Figure 44).

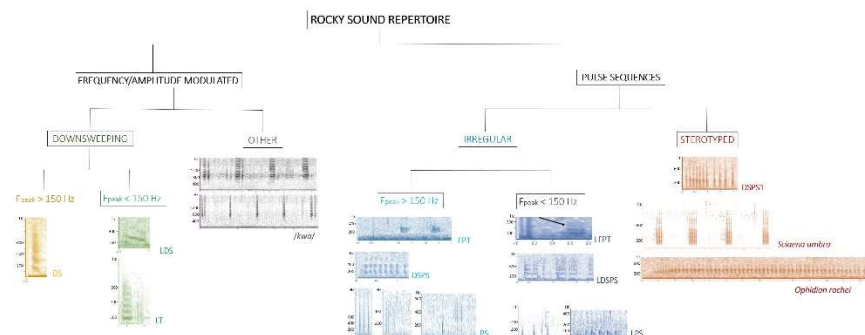


Figure 44 : Catégories de types de sons de poissons (Desiderà et al. 2018, en révision)

Le détecteur automatique de /kwa/ a été utilisé pour quantifier cette production sonore abondante dans l'ensemble de données issues des herbiers de posidonie. Le détecteur de corbs et de *Ophidion rochei* a été appliqué sur une partie des données et sera appliqué sur l'ensemble des sites avant fin 2018.

Cette analyse semi-quantitative a permis de fournir 3 résultats :

- Le portrait de la diversité ichtyo-sonore à l'échelle de la façade et ce par type d'habitats (herbier 15 mètres, limite inférieure des herbiers et coralligène) en mettant en avant les différences ou les similitudes entre le littoral occitan et PACA et le littoral corse,
- Une quantification de la qualité de la communauté ichtyo-sonore pour les points du screening, les résultats étant présentés sous forme d'une table.

- Une étude pilote (présentée dans l'annexe 12, page 137) menée sur les données 2016 du screening de façade pour décrire la production ichtyo-sonore au sein des herbiers de posidonie et bâtir des indicateurs acoustiques de l'état de l'herbier. Si les résultats doivent être consolidés ce pilote déroule complètement la méthodologie proposée figure 16 sur une production ichtyo-sonore.

11.3 Les résultats et analyses

11.3.1 Portrait de la production ichtyo-sonore à l'échelle de la façade

Distribution par type de signatures acoustiques

La comparaison entre herbiers et coralligènes nous indique que le corb est présent sur 12 herbiers de posidonie sur 22 (~50% des sites) et 8 massifs de coralligènes sur 24 (~30% des sites). *Ophidion rochei* est présent dans 14 herbiers et 16 coralligènes (~60 % des sites) et le /kwa/ dans tous les herbiers et sous forme de chorus pour 10 massifs de coralligène. Pour les sons rares, qui ne sont pas produits en séries répétitives, le coralligène était plus riche en diversité de types de sons par rapport à l'herbier de posidonie. Les sons rares ont été détectés dans 36% des herbiers de posidonies (tous répertoriés en Corse) et 70% des coralligènes (53% des sites sur le littoral PACA et 100% des sites corses).

La production ichtyo-sonore des herbiers

Elle est dominée par le /kwa/ (Figure 45) sur toutes les stations du littoral français. D'autres types de sons sont aussi présents, dont ceux de *Ophidion rochei* et du

corb (*Sciaena umbra*) ainsi que des séries de pulses présentes ponctuellement, difficilement attribuable, à notre connaissance, à une espèce référencée (Figure 46). Un site a enregistré des signaux ressemblants à ceux de *Umbrina cirrosa* (Figure 47). Les herbiers de Corse sont généralement plus diversifiés en termes de types de sons que les herbiers de l'Occitanie et PACA. L'annexe 12 détaille les résultats, site par site de l'analyse.

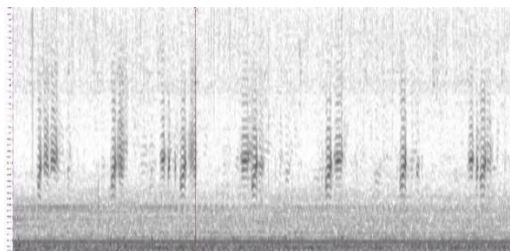


Figure 45 : D35 : Séquence de /kwa/ et leur diversité



Figure 46 : D7 : *Umbrina cirrosa* ?

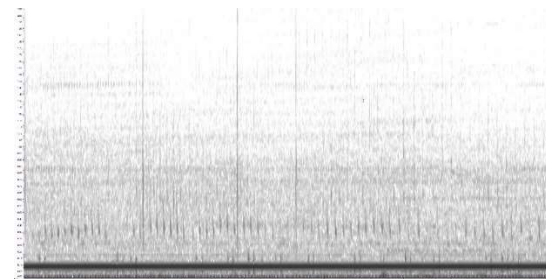


Figure 47 : D7 : Série de pulses non identifiée

La production ichtyo-sonore des limites inférieures des herbiers de posidonie présente de grandes différences entre le littoral métropolitain et la Corse. En général, la production sonore le long du littoral métropolitain est plus faible et moins abondante que celle de la Corse. Sur le littoral métropolitain, la limite inférieure est caractérisée par la présence de chorus de /kwa/ (principalement des /kwa/ lointains), parfois par la présence de *Ophidion rochei* et du corb. Les herbiers et les limites inférieures abritent donc les mêmes types de sons de masse. En termes d'abondance sonore, la limite inférieure du littoral métropolitain, est généralement plus faible que l'herbier. Ceci n'est pas le cas en Corse, où la limite inférieure héberge une production sonore très abondante, en particulier celle d'*Ophidion rochei*, que nous retrouvons sur tous les enregistrements Corse de manière conséquente (Figure 48).

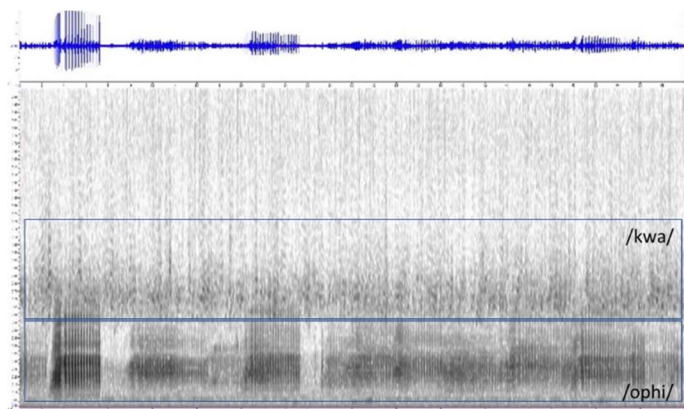


Figure 48 : D18 : Chorus de /kwa/ et de *Ophidion rochei* en bas de l'image (Corse)

La production ichthyo-sonore des coralligènes se distingue clairement des deux autres habitats (herbier 15m, limite inférieure de l'herbier). Le /kwa/ n'est généralement pas ou peu présent et dans ce cas essentiellement sous forme de chorus. Sa présence semble être liée à la proximité de la posidonie. Sur le littoral métropolitain, le coralligène montre la plus grande concentration d'*Ophidion rochei* ainsi qu'une plus grande diversité de sons « rares ». Certains de ces sons rares, comme les vocalises du mérrou (lps : low-frequency pulse series & lds : low-frequency downsweep) , les ldsp (low downsweep pulse series), les dsp (downsweep pulse series) ou le lt (long tonal) ont aussi été observés en zones rocheuses (Desidera et al. 2018). Plusieurs séries de pulses d'origine inconnue et de fréquence stable (autour de 600 Hz et 1000 Hz (Fig. 46 & 47)) sont également régulièrement présentes dans les coralligènes de Corse. En Corse, les enregistrements du coralligène étaient souvent fortement perturbés par le bruit anthropique, ce qui biaise négativement une analyse fine de la diversité sonores. Cependant, en ligne avec les observations sur le littoral métropolitain, le

coralligène Corse présente des sons « rares » non ou très peu observés sur les deux autres substrats.

Synthèses et perspectives

Cette analyse qualitative et semi quantitative de la diversité ichthyo-sonore a permis d'identifier des différences entre les trois biocénoses et entre le littoral métropolitain et la Corse. Elle a également permis de constater que les sons qui déterminent majoritairement la diversité ichthyo-sonore sont généralement peu nombreux. Les sons de masse, surtout le /kwa/ et *Ophidion rochei*, mais aussi le corb, sont présents dans toutes les biocénoses mais avec des proportions différentes et une production qui n'est pas toujours locale (le /kwa/ entendu dans les coralligènes est produit dans les herbiers de posidonie plus loin). La quantification de la production locale (sons individualisables) de ces trois types de sons en appliquant des détecteurs automatiques ainsi que l'analyse des chorus (« nuage » sans son individualisables) via les outils présentés chapitre 11.1, page 81 restent à faire afin de quantifier ces phénomènes de masse et les relier à d'autres paramètres environnementaux locaux et surfaciques pour en établir les pilotes en suivant la méthode proposée Figure 16. Une analyse plus fine des sons rares en lien avec des paramètres environnementaux locaux permettra également d'étudier la présence de certains types de sons avec des caractéristiques d'habitats particuliers. Les données environnementales à tester/corréler avec les métriques acoustiques seront obtenues via les cartes de biocénoses et les prélèvements effectués par Andromède Océanologie.

11.3.2 Notation de l'état de la production ichtyo-sonore des herbiers à l'échelle de la façade à partir des données de screening 2016 & 2017

Les analyses semi-quantitatives qui nous ont permis de dresser les portraits des productions ichtyo-sonores des biocénoses 'herbier', 'limite inférieure' et des 'assemblages coralligènes', nous permettent de noter chaque site en fonction de la puissance, de l'abondance et de la diversité. Cette note est à date du 15/08/2018 attribuée à dire d'expert par L. Di Iorio. La Table 15 présente ces notes.

Table 15 : Notations en termes de qualité biophonique et d'état écologique des sites retenus pour la composante SCREENING DE FAÇADE de CALME 2018, en vert bon état, en orange état intermédiaire, en gris mauvais état

	Site	Herbier 15 m		Limite inférieure		Coralligène	
		Qualité ichtyo-sonore	Qualité benthos-sonore	Qualité ichtyo-sonore	Qualité benthos-sonore	Qualité ichtyo-sonore	Qualité benthos-sonore
PACA	Cap Lardier (D22/2016)		6/12		3/12		9/12
	PMCB (D2/2016)		5/12		2/12		
	Eze (D46/2016)		5/12		2/12		4/12
	Cap Roux (D30/2016)		5/12		6/12		5/12
	La Ciotat (D6/2016)		4,5/12		4/12		8/12
	Sicié (D10/2016)		4/10		5/12		7/12
	Golfe Juan (D34/2016)		6,5/12		7/12		7/12
	Bacon (D38/2016)		7/12		8/12		5/12
	Ribau (D14/2016)		8,5/12		6/12		5/12
CORSE	Calvi (LT STARESO)		8/12				
	Tarco (D35 / 2017)		6,5/12		10/12		6,5/12
	Agriates (D3/2017)		8/12		8,5/12		5,5/12
	Maccinagio (D15/2017)		5/12		7,5/12		3/12
	Parata (D19/2017)		6/12		10/12		5,5/12
	Focolara (D31/2017)		6,5/12		8		6
	Murtoli (D23/2017)		6,5/12		5,5		6
	Bastia (D7/2017)		7/12		6,5		4
	Capo Rosso (D11/2017)		6/12		11		6,5



12 Bilan et perspectives du thème de surveillance 5 « MONITORAGE ACOUSTIQUE DES CETACES »

A date du 15/08/2018, nous disposons de tous les outils pour détecter et caractériser la production sonore des cétacés tant pour les sifflements (*Dadouchi et al. 2013, Gervaise 2016*) que les clics d'écholocalisation (*Gervaise et al. 2010, Le Bot 2014*). Ces outils sont packagés au sein d'une chaîne de traitement automatique.

A date du 15/08/2018, nous n'avons pas porté notre priorité sur l'application de ces outils aux données du réseau CALME.

L'examen visuel des spectrogrammes des mesures CALME (screening, points fixes continus et glider) révèle la présence régulière des sons de cétacés. A titre d'exemple, pour les données du screening de façade 2015, 16% des sessions (soit 15 sur 91) présentaient des clics d'odontocètes dont 8 sur les assemblages coralligènes, 5 sur les limites inférieures de l'herbier, 1 dans sur un herbier à 15 mètres et 1 sur le détritique côtier.

Concernant les cétacés, toutes les données de CALME seront traitées en 2019.

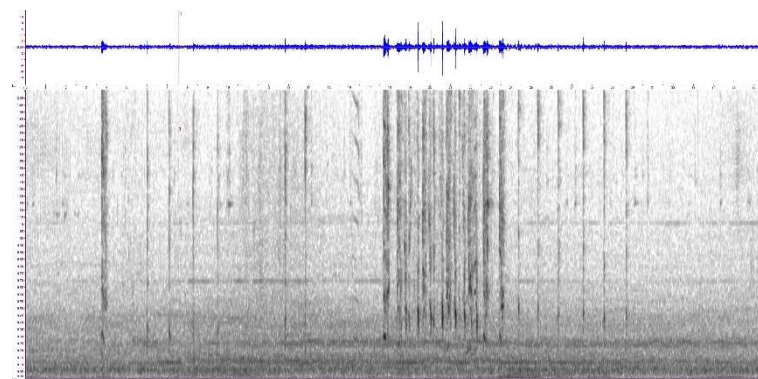


Figure 49 - D6/2016 : sons d'interactions sociales de dauphins

13 Bilan et perspectives de la composante fonctionnelle « DIFFUSION »

La diffusion des résultats du réseau CALME est mise en œuvre par deux organes complémentaires : WEB CALME et MedTRIX (cf. page 7).

A date du [15/08/2018] : Les échantillonnages réalisées (screening, stations de mesure continue, explorations en glider), et les niveaux de bruit ambiant relatifs au descripteur 11 critère 2 de la DCSMM sont intégrés à la plateforme MedTRIX.

A date du [31/12/2018] : Les résultats de l'évaluation des états éco-acoustiques du compartiment benthique et des assemblages ichtyologiques seront intégrés à la plateforme MedTRIX.

A date du [03/03/2019] : La plateforme WEB CALME sera mise en ligne.

14 Actions de diffusions de connaissance et de valorisation scientifique

14.1 Publications scientifiques présentant les outils ou les données utilisés par le réseau CALME

Nous listons ici les publications scientifiques de l'institut de recherche CHORUS présentant des outils sur lesquels repose la chaîne de traitement et d'analyse des données du réseau CALME

	Année	Publication	Rôle pour le réseau CALME
12	2018	Gervaise, C., Lossent, J., Valentini-Poirier C.A., Boissery, P., Noel, C., Di Iorio, L., (2018), Three-dimensional mapping of the benthic invertebrates biophony with a compact four-hydrophones array, <i>Applied Acoustics</i> , <i>In press</i>	Outils de cartographie de la biophonie benthique à appliquer aux données de screening CALME 2018
11	2018	Desidera, E., Guidetti, P., Panzalis, P., Navone, A., Valentini-Poirier, C., Boissery, P., Gervaise, C., Di Iorio, L., (2018), Acoustic fish communities : sound diversity of rocky habitats fish species diversity and beyond, <i>Marine Ecology Progress Series</i> , <i>In press</i>	Dictionnaire des ichtyo-sons "rares" qui bâtissent la diversité acoustique
10	2018	Malfante, M., Mars, J. I., Dalla Mura, M., & Gervaise, C. (2018). Automatic fish sounds classification. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 143(5), 2834-2846.	Liste de descripteurs acoustique de la production ichtyo-sonore
9	2017	Parmentier, E., Di Iorio, L., Picciulin, M., Malavasi, S., Lagardère, J. P., & Bertucci, F. (2017). Consistency of spatiotemporal sound features supports the use of passive acoustics for long-term monitoring. <i>Animal Conservation</i> , 21(3), 211-220.	Caractéristiques acoustiques de la production sonore du Corb
8	2017	Lossent, J., Di Iorio, L., Valentini-Poirier, C. A., Boissery, P., & Gervaise, C. (2017). Mapping the diversity of spectral shapes discriminates between adjacent benthic biophonies. <i>Marine Ecology Progress Series</i> , 585, 31-48.	Liste de descripteurs acoustiques de la production benthosonore
7	2016	Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., & Giard, S. (2016). Analysis and modeling of 255 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along St. Lawrence Seaway. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 140(3), 2002-2018.	Niveau de source des navires commerciaux
6	2016	Aulancier, F., Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., & Bandet, M. (2016). Spatial-temporal exposure of blue whale habitats to shipping noise in St. Lawrence system. <i>DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.</i> 2016/090. vi 26 p.	Formulation de la dégradation acoustique des habitats causée par le trafic maritime
5	2015	Gervaise, C., Aulancier, F., Simard, Y., & Roy, N. (2015). Mapping probability of shipping sound exposure level. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 137(6), EL429-EL435.	Formulation d'un modèle de simulation du bruit de trafic maritime à l'échelle d'une façade adapté à l'étude des impacts acoustique du bruit de trafic
4	2015	Le Bot, O., Mars, J. I., Gervaise, C., & Simard, Y. (2015). Rhythmic analysis for click train detection and source separation with examples on beluga whales. <i>Applied Acoustics</i> , 95, 37-49.	Algorithme de détection d'une série d'impulsions rythmées adapté aux ichtyo-sons de type 'drums' et '/kwa/'
3	2013	Bazile Kinda, G., Simard, Y., Gervaise, C., Mars, J. I., & Fortier, L. (2013). Under-ice ambient noise in Eastern Beaufort Sea, Canadian Arctic, and its relation to environmental forcing. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 134(1), 77-87.	Formule de calcul d'un bruit ambiant ANL utilisée pour les niveaux DCSMM, la caractérisation des chorus benthiques et /kwa/

2	2013	Dadouchi, F., Gervaise, C., Ioana, C., Huillery, J., & Mars, J. I. (2013). Automated segmentation of linear time-frequency representations of marine-mammal sounds. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 134(3), 2546-2555.	Détection temps-fréquence utilisée pour la détection des sons de cétacés, des navires en transit et utilisation future pour la détection des ichthyo-sons rares
1	2012	Gervaise, C., Simard, Y., Roy, N., Kinda, B., & Menard, N. (2012). Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 132(1), 76-89.	Niveau de source d'une flottille côtière

14.2 Publications scientifiques présentant et/ou exploitant les données du réseau CALME

Nous listons ici les publications scientifiques de l'institut de recherche CHORUS présentant le réseau CALME ou utilisant les données du réseau CALME.

	Année	Publication	Données exploitées et thématiques
3	2018	Di Iorio, L., Raick, X., Parmentier, E., Boissery, P., Valentini-Poirier, C. A., & Gervaise, C. (2018). 'Posidonia meadows calling': a ubiquitous fish sound with monitoring potential. <i>Remote Sensing in Ecology and Conservation</i> .	Screening de façade Etat des herbiers à partir de la production ichthyo-sonore de type /kwa/
2	2018	Malfante, M., Mars, J. I., Dalla Mura, M., & Gervaise, C. (2018). Automatic fish sounds classification. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 143(5), 2834-2846.	Screening de façade Outils préparatoires à l'évaluation de la diversité ichthyo-sonore
1	2017	Parmentier, E., Di Iorio, L., Picciulin, M., Malavasi, S., Lagardère, J. P., & Bertucci, F. (2017). Consistency of spatiotemporal sound features supports the use of passive acoustics for long-term monitoring. <i>Animal Conservation</i> , 21(3), 211-220.	Point fixe Golfe de la Revellata Description de la production sonore des corbs

14.3 Communications scientifiques en congrès international

Nous listons ici les communications scientifiques en congrès international où les travaux du réseau CALME ont été présentés.

	Année	Communication	Données exploitées et thématiques
6	2018	Lossent, J., Gervaise, C., Di Iorio, L., Beguery, L., Tricarico, R., Valentini-Poirier, C.A., Boissery, P., (2018) : Mapping underwater noise, detection of ships and cetaceans using a SeaExplorer glider at a basin level : feedback from the first 1000 km-long acoustic exploration of the western french Mediterranean sea, 174 th meeting of the Acoustical Society of America, Victoria, Canada	Glider Mesure du bruit ambiant, caractérisation du trafic et des cétacés
5	2018	Di Iorio, L., Gervaise, C., Lossent, J., Valentini-Poirier, C.A., Boissery, P. (2018) Benthic biophonic assemblages, their environmental divers, eco-acoustic scores at the level of the western mediterranean basin and their implications for large-scale ecosystem monitoring. 174 th meeting of the Acoustical Society of America, Victoria, Canada	Screening de façade Production benthosonore et état des habitats
4	2018	Lossent, J., Gervaise, C., Di Iorio, L., Beguery, L., Tricarico, R., Valentini-Poirier C.A., Boissery, P. (2018) Potentiality of seaplorer glider for in situ measurement of biophonic signatures for soundscape ecology and post-larval recruitment. Ocean Science Meeting 2018, Portland, Oregon, USA	Glider 2016 Mesure à distance de la biophonie en vue d'une surveillance environnementale
3	2018	Gervaise, C., Lossent, J., Di Iorio, L., Beguery, L., Tricarico, R., Valentini-Poirier C.A., Boissery, P. (2018) Mapping underwater noise with a seaexplorer glider at a basin level – Feedback from the first 1000kms-long acoustics exploration of the Western French Mediterranean Sea, Ocean Science Meeting 2018, Portland, Oregon, USA	Glider 2017 Mesure du bruit ambiant
2	2017	Lossent, J., Gervaise, C., Di Iorio, L., Boissery, P., Valentini-Poirier, C.A. (2017), Mapping of benthic biophony at ecologically relevant scales. 173 rd meeting of the Acoustical Society of America, Boston, USA	Screening de façade Etat des habitats à partir de la production benthosonore
1	2017	Raick, X., Gervaise, C., Di Iorio, L., Hermand, J.P., (2017), Comparative analysis of /kwa/ fish sounds recorded during an early ecoacoustics experiment in a Posidonia oceanica seagrass meadow, 173 rd meeting of the Acoustical Society of America, Boston, USA	Screening de façade Etat des herbiers à partir de la production ichthosonore de type /kwa/

14.4 Présentation dans des journées d'étude et Ateliers Français

Nous listons ici les journées d'étude, ateliers et colloques français où les travaux du réseau CALME ont été présentés.

	Année	Communication	Date/ Lieux/ Titre de l'Atelier / Organismes
7	2018	C. Gervaise, L. J. Lossent, L. Di Iorio, C.A. Valentini-Poirier, P. Boissery, L'écologie acoustique à l'échelle d'une façade maritime : oui c'est possible et en plus ça marche : Bilan de 3 ans d'existence du réseau CALME dédié à la Méditerranée occidentale	Novembre 2018, Brest 4 ^{ème} Journée SERENADE ENSTA B, GIPSA Lab, CHORUS, SHOM
6	2018	Gervaise, C., Lossent, J., Di Iorio, L., Bolgan, M., Leduc, M., Boissery, P. Ecologie acoustique appliquée aux écosystèmes marins	Avril 2018, Calvi Atelier STARECAPMED STARESO
5	2018	Gervaise, C., Di Iorio, L., Lossent, J., Boissery, P., L'écologie acoustique appliquée à la surveillance des écosystèmes marins de Méditerranée	Mars 2018, Montpellier Colloque La Méditerranée, une mer sous surveillance AE RMC, Andromède Océanologie
4	2017	Gervaise, C., Di Iorio, L., Lossent, J., Valentini-Poirier, C.A., Boissery, P., Happy Birthday : CALME Network is three years old	Novembre 2017, Grenoble Journée Ecologie Acoustique CHORUS, Agence de l'Eau RMC
3	2017	Gervaise, C., Di Iorio, L., Lossent, J., Valentini-Poirier, C.A., Boissery, P., Le monde du silence est révolu-Ecoutons ce que les écosystèmes ont à nous dire !	Juillet 2017, Marseille, Atelier des journées MER Agence de l'Eau RMC
2	2016	Gervaise, C., Di Iorio, L., Lossent, J., Raick, X., Desidera, E., Bonnardel, V., Valentini-Poirier, C.A., Boissery, P. – Construire et utiliser les paysages acoustiques sous-marins de l'échelle métrique à l'échelle d'une façade maritime	Octobre 2016, Brest, 3 ^{ème} Journée SERENADE ENSTA B, GIPSA Lab, CHORUS, SHOM
1	2016	Gervaise, C., Di Iorio, L., Lossent, J., Boissery, P. Réseau de Surveillance CALME – Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses écosystèmes	Mai 2016, Marseille, Journée MedTRIX, Agence de l'Eau RMC, Andromède

15 Références bibliographiques citées

- Acevedo-Gutiérrez A, Stienessen SC (2004) Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) Increase Number of Whistles When Feeding. *Aquat Mamm* 30:357–362
- Amorim MCP (2006) Diversity of sound production in fish. *Commun Fishes* 1:71–104
- Arveson PT, Vendittis DJ (2000) Radiated noise characteristics of a modern cargo ship. *J Acoust Soc Am* 107:118–129
- ASCOBANS (2014) IMO MEPC.1/Circ.833: Guidelines for the Reduction of Underwater Noise from Commercial Shipping to Address Adverse Impacts on Marine Life. 21 st ASCOBANS Advisory Committee Meeting, Gothenburg, Sweden
- Au WW, Banks K (1998) The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *J Acoust Soc Am* 103:41–47
- Aulanier F, Simard Y, Roy N, Gervaise C, Bandet M (2016) Spatial-temporal exposure of blue whale habitats to shipping noise in St. Lawrence system.
- Aulanier F, Simard Y, Roy N, Gervaise C, Bandet M (2017) Effects of shipping on marine acoustic habitats in Canadian Arctic estimated via probabilistic modeling and mapping. *Mar Pollut Bull* 125:115–131
- Bass AH, Clark CW (2003) The Physical Acoustics of Underwater Sound Communication. In: *Acoustic Communication*. Springer, New York, NY, p 15–64
- Bertucci F, Parmentier E, Berten L, Brooker RM, Lecchini D (2015) Temporal and Spatial Comparisons of Underwater Sound Signatures of Different Reef Habitats in Moorea Island, French Polynesia. *PLoS ONE* 10:e0135733
- Bertucci F, Parmentier E, Lecellier G, Hawkins AD, Lecchini D (2016) Acoustic indices provide information on the status of coral reefs: an example from Moorea Island in the South Pacific. *Sci Rep* 6:33326
- Buscaino G, Filiciotto F, Gristina M, Bellante A, Buffa G, Di Stefano V, Maccarrone V, Tranchida G, Buscaino C, Mazzola S (2011) Acoustic behaviour of the European spiny lobster *Palinurus elephas*. *Mar Ecol Prog Ser* 441:177–184
- Chitre M, Legg M, Koay T-B (2012) Snapping shrimp dominated natural soundscape in Singapore waters. *Contrib Mar Sci* 2012:127–134
- Clay CS, Medwin H (1977) *Acoustical oceanography: principles and applications*.
- Coquereau L, Grall J, Chauvaud L, Gervaise C, Clavier J, Jolivet A, Di Iorio L (2016) Sound production and associated behaviours of benthic invertebrates from a coastal habitat in the north-east Atlantic. *Mar Biol* 163:1–13
- Coquereau L, Grall J, Clavier J, Jolivet A, Chauvaud L (2016) Acoustic behaviours of large crustaceans in northeast Atlantic coastal habitats. *Aquat Biol* 25:151–163
- Coquereau L, Jolivet A, Hégaret H, Chauvaud L (2016) Short-term behavioural responses of the great scallop *Pecten maximus* exposed to the toxic Alga

Alexandrium minutum measured by accelerometry and passive acoustics. PLOS ONE 11:e0160935

Coquereau L, Lossent J, Grall J, Chauvaud L (2017) Marine soundscape shaped by fishing activity. R Soc Open Sci 4:160606

Cox TM, Ragen TJ, Read AJ, Vos E, Baird RW, Balcomb K, Barlow J, Caldwell J, Cranford T, Crum L (2006) Understanding the Impacts of Anthropogenic Sound on Beaked Whales. SPACE AND NAVAL WARFARE SYSTEMS CENTER SAN DIEGO CA, SPACE AND NAVAL WARFARE SYSTEMS CENTER SAN DIEGO CA

Crawford JD, Jacob P, Benech V (1997) Sound production and reproductive ecology of strongly acoustic fish in Africa: *Pollimyrus isidori*, *Mormyridae*. Behaviour 134:677–725

Cummings WC, Thompson PO (1994) Characteristics and seasons of blue and finback whale sounds along the U.S. west coast as recorded at SOSUS stations. J Acoust Soc Am 95:2853–2853

Dadouchi F, Gervaise C, Ioana C, Huillery J, Mars JI (2013) Automated segmentation of linear time-frequency representations of marine-mammal sounds. J Acoust Soc Am 134:2546–2555

Das A, Kumar A, Bahl R (2011) Realistic ambient noise analysis for passive surveillance algorithm design. In: 2011 IEEE Symposium on Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies.p 1–8

Dekeling R, Tasker M, Ainslie M, Andersson M, André M, Borsani F, Brensing K, Castellote M, Dalen J, Folegot T, Graaf S van der, Leaper R, Liebschner

A, Pajala J, Robinson S, Sigray P, Sutton G, Thomsen F, Werner S, Wittekind D, Young JV (2016) The European Marine Strategy: Noise Monitoring in European Marine Waters from 2014. In: Popper AN, Hawkins A (eds) The Effects of Noise on Aquatic Life II. Springer New York, New York, NY, p 205–215

Desidera E, Guidetti P, Panzalis P, Navone A, Valentini-Poirier cathy anna, Boissery P, Gervaise C, Di Iorio L (2018) Acoustic fish communities: sound diversity of rocky habitats reflects fish species diversity and beyond. submitted

Di Iorio L, Gervaise C, Jaud V, Robson AA, Chauvaud L (2012) Hydrophone detects cracking sounds: Non-intrusive monitoring of bivalve movement. J Exp Mar Biol Ecol 432–433:9–16

Di Iorio L, Raick X, Parmentier E, Boissery P, Valentini-Poirier cathy anna, Gervaise C (2018) “Posidonia meadows calling”: a ubiquitous fish sound with monitoring potential. Remote Sens Ecol

Evans DL, England GR (2001) Joint Interim Report Bahamas Marine Mammal Stranding Event of 15-16 March 2000. :66

Everest FA, Young RW, Johnson MW (1948) Acoustical characteristics of noise produced by snapping shrimp. J Acoust Soc Am 20:137–142

Farina A, James P (2016) The acoustic communities: Definition, description and ecological role. Biosystems 147:11–20

Fernandez A, Arbelo M, Deaville R, Patterson I a. P, Castro P, Baker JR, Degollada E, Ross HM, Herráez P, Pocknell AM, Rodríguez E, Howie FE, Espinosa A, Reid RJ, Jaber JR, Martin V, Cunningham AA, Jepson PD (2004)

- Pathology: Whales, sonar and decompression sickness (reply). *Nature* 428:716
- Freeman SE, Rohwer FL, Gerald L, Friedlander AM, Gregg AK, Sandin SA, Buckingham MJ (2014) The origins of ambient biological sound from coral reef ecosystems in the Line Islands archipelago. *J Acoust Soc Am* 135:1775–1788
- Gervaise C (2016) Method and device for automatically detecting marine animals.
- Gervaise C, Aulanier F, Simard Y, Roy N (2015) Mapping probability of shipping sound exposure level. *J Acoust Soc Am* 137:EL429–EL435
- Gervaise C, Barazzutti A, Busson S, Simard Y, Roy N (2010) Automatic detection of bioacoustics impulses based on kurtosis under weak signal to noise ratio. *Appl Acoust* 71:1020–1026
- Gervaise C, Kinda BG, Bonnel J, Stephan Y, Vallez S (2012) Passive geoacoustic inversion with a single hydrophone using broadband ship noise. *J Acoust Soc Am* 131:1999–2010
- Gervaise C, Simard Y, Roy N, Kinda B, Ménard N (2012) Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. *J Acoust Soc Am* 132:76–89
- Gotelli NJ, Chao A (2013) Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data.
- Harris SA, Shears NT, Radford CA (2016) Ecoacoustic indices as proxies for biodiversity on temperate reefs (J Reynolds, Ed.). *Methods Ecol Evol* 7:713–724
- Hastings PA, Širović A (2015) Soundscapes offer unique opportunities for studies of fish communities. *Proc Natl Acad Sci* 112:5866–5867
- Hawkins AD (1986) Underwater Sound and Fish Behaviour. In: Pitcher TJ (ed) *The Behaviour of Teleost Fishes*. Springer, Boston, MA, p 114–151
- Henninger HP, Watson WH (2005) Mechanisms underlying the production of carapace vibrations and associated waterborne sounds in the American lobster, *Homarus americanus*. *J Exp Biol* 208:3421–3429
- Hildebrand JA (2009) Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Mar Ecol Prog Ser* 395:5–20
- Horch K (1975) The Acoustic Behavior of the Ghost Crab *Ocypode Cordimana* Latreille, 1818 (Decapoda, Brachyura). *Crustaceana* 29:193–205
- ISO (2018) ISO 18405:2017 - Underwater acoustics -- Terminology.
- Johnson MW, Everest FA, Young RW (1947) The Role of Snapping Shrimp (Crangon and Synalpheus) in the Production of Underwater Noise in the Sea. *Biol Bull* 93:122–138
- Kay SM (1993) Fundamentals of statistical signal processing, Volume I: Estimation theory, Prentice Hall Signal Processing Series, AV Oppenheim, Ed. Prentice Hall PTR.
- Kay SM (1998) Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II: Detection Theory, ser. Prentice Hall Signal Processing Series, AV Oppenheim, Ed. Prentice Hall PTR

- Kennedy E, Holderied M, Mair J, Guzman H, Simpson S (2010) Spatial patterns in reef-generated noise relate to habitats and communities: evidence from a Panamanian case study. *J Exp Mar Biol Ecol* 395:85–92
- Kinda GB, Le Courtois F, Stéphan Y (2017) Ambient noise dynamics in a heavy shipping area. *Mar Pollut Bull* 124:535–546
- Kinda GB, Simard Y, Gervaise C, Mars JJ, Fortier L (2013) Under-ice ambient noise in Eastern Beaufort Sea, Canadian Arctic, and its relation to environmental forcing. *J Acoust Soc Am* 134:77–87
- Kinda GB, Simard Y, Gervaise C, Mars JJ, Fortier L (2015) Arctic underwater noise transients from sea ice deformation: Characteristics, annual time series, and forcing in Beaufort Sea. *J Acoust Soc Am* 138:2034–2045
- Krause B (1987) Bioacoustics: Habitat Ambience & Ecological Balance. *Whole Earth Rev* 57:14–16
- Le Bot O (2014) Détection, localisation, caractérisation de transitoires acoustiques sous-marins. phdthesis, Université de Grenoble
- Le Bot O, Mars JJ, Gervaise C, Simard Y (2015) Cross recurrence plot analysis based method for TDOA estimation of underwater acoustic signals. In: 2015 IEEE 6th International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP).p 1–4
- Le Courtois F, Kinda G, Stephan Y, Boutonnier J, Sarzeaud O (2016) Statistical Ambient Noise Maps from Traffic at World and Basin Scales. *Inst Acoust Camb UK*
- Lillis A, Eggleston DB, Bohnenstiehl DR (2014) FEATURE ARTICLE Estuarine soundscapes: distinct acoustic characteristics of oyster reefs compared to soft-bottom habitats. *Mar Ecol Prog Ser* 505:1–17
- Lossent J, Di Iorio L, Valentini-Poirier C, Boissery P, Gervaise C (2017) Mapping the diversity of spectral shapes discriminates between adjacent benthic biophonies. *Mar Ecol Prog Ser* 585:31–48
- Magnier C, Gervaise C, Bourdon R, Dufrechou L, Simon L (2016) Contribution of the ship radiated noises to the soundscape of the Bay of Calvi during the summer and potential effects on two protected species. In: Fourth International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life. Dublin, Ireland
- Malfante M, Mars JJ, Dalla Mura M, Gervaise C (2018) Automatic fish sounds classification. *J Acoust Soc Am* 143:2834–2846
- Mann D, Grothues T (2009) Short-term upwelling events modulate fish sound production at a mid-Atlantic Ocean observatory. *Mar Ecol Prog Ser* 375:65–71
- Mathias D, Gervaise C, Di Iorio L (2016) Wind dependence of ambient noise in a biologically rich coastal area. *J Acoust Soc Am* 139:839–850
- McKenna MF, Ross D, Wiggins SM, Hildebrand JA (2012) Underwater radiated noise from modern commercial ships. *J Acoust Soc Am* 131:92–103
- McWilliam JN, Hawkins AD (2013) A comparison of inshore marine soundscapes. *J Exp Mar Biol Ecol* 446:166–176
- Medwin H, Clay CS (1997) Fundamentals of Acoustical Oceanography. Academic Press

- Merchant ND, Brookes KL, Faulkner RC, Bicknell AWJ, Godley BJ, Witt MJ (2016) Underwater noise levels in UK waters. *Sci Rep* 6:36942
- National Marine Fisheries Service (2016) Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA
- Nedelec SL, Simpson SD, Holderied M, Radford AN, Lecellier G, Radford C, Lecchini D (2015) Soundscapes and living communities in coral reefs: temporal and spatial variation. *Mar Ecol Prog Ser* 524:125–135
- NRC (2005) Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. National Academies Press
- Nystuen JA (1986) Rainfall measurements using underwater ambient noise. *J Acoust Soc Am* 79:972–982
- Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne (2008) Directive 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre «stratégie pour le milieu marin»).
- Parmentier E, Bouillac G, Dragičević B, Dulčić J, Fine M (2010) Call properties and morphology of the sound-producing organ in *Ophidion rochei* (Ophidiidae). *J Exp Biol* 213:3230–3236
- Parmentier E, Di Iorio L, Picciulin M, Malavasi S, Lagardère J-P, Bertucci F (2018) Consistency of spatiotemporal sound features supports the use of passive acoustics for long-term monitoring. *Anim Conserv* 21:211–220
- Parmentier E, Raick X, Lecchini D, Boyle K, Vanwassenbergh S, Bertucci F, Kéver L (2017) Unusual sound production mechanism in the triggerfish *Rhinecanthus aculeatus* (Balistidae). *J Exp Biol* 220:186–193
- Patek SN (2001) Spiny lobsters stick and slip to make sound. *Nature* 411:153–154
- Patek S, Shipp L, Staaterman E (2009) The acoustics and acoustic behavior of the California spiny lobster (*Panulirus interruptus*). *J Acoust Soc Am* 125:3434–3443
- Piercy JJB, Codling EA, Hill AJ, Smith DJ, Simpson SD (2014) Habitat quality affects sound production and likely distance of detection on coral reefs. *Mar Ecol Prog Ser* 516:35–47
- Pijanowski BC, Villanueva-Rivera LJ, Dumyahn SL, Farina A, Krause BL, Napoletano BM, Gage SH, Pieretti N (2011) Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience* 61:203–216
- Popper AN, Hawkins AD, Fay RR, Mann DA, Bartol S, Carlson TJ, Coombs S, Ellison WT, Gentry RL, Halvorsen MB, Lokkeborg S, Rogers PH, Southall BL, Zeddis DG, Tavalga WN (2014) ASA S3/SC1.4 TR-2014 Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report Prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and Registered with ANSI. Springer, doi:10.1007/978-3-319-06659-2
- Popper AN, Salmon M, Horch KW (2001) Acoustic detection and communication by decapod crustaceans. *J Comp Physiol A* 187:83–89
- Radford CA, Jeffs A, Tindle CT, Montgomery JC (2008) Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. *Mar Ecol Prog Ser* 362:37–43

- Radford C, Stanley J, Tindle C, Montgomery J, Jeffs A (2010) Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures. *Mar Ecol Prog Ser* 401:21–29
- Ricci S, Eggleston D, Bohnenstiehl D, Lillis A (2016) Temporal soundscape patterns and processes in an estuarine reserve. *Mar Ecol Prog Ser* 550:25–38
- Ross D (2005) Ship sources of ambient noise. *IEEE J Ocean Eng* 30:257–261
- Rossi T, Connell SD, Nagelkerken I (2016) Silent oceans: ocean acidification impoverishes natural soundscapes by altering sound production of the world's noisiest marine invertebrate. *Proc R Soc B Biol Sci* 283:20153046
- Rossi T, Nagelkerken I, Pistevos JCA, Connell SD (2016) Lost at sea: ocean acidification undermines larval fish orientation via altered hearing and marine soundscape modification. *Biol Lett* 12:20150937
- Roueff A, Piserchia P, Plantet J, Cansi Y, Ruzie G (2004) Noise characterization at the international station of Crozet Islands (H04). *J Acoust Soc Am* 116:2649–2649
- Rountree RA, Gilmore RG, Goudey CA, Hawkins AD, Luczkovich JJ, Mann DA (2006) Listening to Fish. *Fisheries* 31:433–446
- Ruppé L, Clément G, Herrel A, Ballesta L, Décamps T, Kéver L, Parmentier E (2015) Environmental constraints drive the partitioning of the soundscape in fishes. *Proc Natl Acad Sci* 112:6092–6097
- Salmon M (1983) Acoustic “calling” by fiddler and ghost crabs. *Mem Aust Mus* 18:63–76
- Salmon M, Atsides SP (1968) Visual and Acoustical Signalling during Courtship by Fiddler Crabs (Genus *Uca*). *Am Zool* 8:623–639
- Simard Y, Roy N, Gervaise C, Giard S (2016) Analysis and modeling of 255 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along St. Lawrence Seaway. *J Acoust Soc Am* 140:2002–2018
- Sorensen E, Ou HH, Zurk LM, Siderius M (2010) Passive acoustic sensing for detection of small vessels. In: *OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE*.p 1–8
- Sousa-Lima RS, Fernandes DP, Norris TF, Oswald JN (2013) A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals: 2013 state-of-the-industry. In: *Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics), 2013 IEEE/OES*.p 1–9
- Southall BL, Bowles AE, Ellison WT, Finneran JJ, Gentry RL, Greene CR, Kastak D, Ketten DR, Miller JH, Nachtigall PE, others (2007) Overview. *Aquat Mamm* 33:411–414
- Staaterman E, Paris CB, DeFerrari HA, Mann DA, Rice AN, D'Alessandro EK (2014) Celestial patterns in marine soundscapes. *Mar Ecol Prog Ser* 508:17–32
- Staaterman E, Rice A, Mann D, Paris C (2013) Soundscapes from a Tropical Eastern Pacific reef and a Caribbean Sea reef. *Coral Reefs* 32:553–557
- Sueur J, Farina A (2015) Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. *Biosemitotics* 8:493–502
- Sueur J, Farina A, Gasc A, Pieretti N, Pavoine S (2014) Acoustic Indices for Biodiversity Assessment and Landscape Investigation. *Acta Acust United Acust* 100:772–781

- Sueur J, Pavoine S, Hamerlynck O, Duvail S (2008) Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. PLoS One 3:e4065
- Sutin A, Bunin B, Sedunov A, Sedunov N, Fillinger L, Tsionskiy M, Bruno M (2010) Stevens Passive Acoustic System for underwater surveillance. In: 2010 International WaterSide Security Conference.p 1–6
- Sutin A, Salloum H, DeLorme M, Sedunov N, Sedunov A, Tsionskiy M (2013) Stevens Passive Acoustic system for surface and underwater threat detection. In: 2013 IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST).p 195–200
- Tasker M, Amundin M, Andre M, Hawkins A, Lang W, Merck T, Scholik-Schlomer A, Teilmann J, Thomsen F, Werner S, others (2010) MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE Task Group 11 Report Underwater noise and other forms of energy. Rep No EUR 24341
- Tolimieri N, Jeffs AG, Montgomery JC (2000) Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes. Mar Ecol Prog Ser 207:219–224
- Tucker S, Brown GJ (2005) Classification of Transient Sonar Sounds Using Perceptually Motivated Features. IEEE J Ocean Eng 30:588–600
- Urick RJ (1967) Principles of underwater sound for engineers, Tata McGraw-Hill Education.
- Veirs S, Veirs V, Wood JD (2016) Ship noise extends to frequencies used for echolocation by endangered killer whales. PeerJ 4:e1657
- Versluis M, Schmitz B, Heydt A von der, Lohse D (2000) How Snapping Shrimp Snap: Through Cavitating Bubbles. Science 289:2114–2117
- Viola S, Grammauta R, Sciacca V, Bellia G, Beranzoli L, Buscaino G, Caruso F, Chierici F, Cuttone G, D'Amico A, De Luca V, Embriaco D, Favali P, Giovanetti G, Marinaro G, Mazzola S, Filiciotto F, Pavan G, Pellegrino C, Pulvirenti S, Simeone F, Speziale F, Riccobene G (2017) Continuous monitoring of noise levels in the Gulf of Catania (Ionian Sea). Study of correlation with ship traffic. Mar Pollut Bull 121:97–103
- Watanabe M, Sekine M, Hamada E, Ukita M, Imai T (2002) Monitoring of shallow sea environment by using snapping shrimps. Water Sci Technol 46:419–424
- Wenz GM (1962) Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources. J Acoust Soc Am 34:1936–1956
- Zenil HP, Encomio VG, Gilmore RG (2011) Passive acoustics as a monitoring tool for evaluating oyster reef restoration. J Acoust Soc Am 129:2698–2698

16 Annexe 1 : Panorama des constructeurs d'enregistreurs acoustiques pour les applications civiles

Nom du/des systèmes	Entreprise/Développeur	Nombre de voies max	Site internet	Remarques
- Acousonde 3A - Acousonde 3B - DASAR (Directional Autonomous Seafloor Acoustic Recorders)	Greeneridge Sciences, Inc., USA	2	http://www.acousonde.com/	
- AMAR (Autonomous Multi-Channel Acoustic Recorder) G3 - AMAR G4	JASCO Research Ltd, Canada	8	http://www.jasco.com/amar/	6700m de profondeur max
- AURAL M2 - μAURAL	Multi Electronique MTE, France - Canada	1	http://www.multi-electronique.com/aural.html	
A-tag	Marine Micro Technology Corp, Japon	2	http://mmtcorp.co.jp/A-tag/index.html	Prototype à usage de l'institution
CMST	Curtin University, Australie	1	http://cmst.curtin.edu.au/products/underwater-sound-recorder/	Prototype à usage de l'institution
- C-POD - T-POD	Chelonia Limited, UK	1	http://www.chelonia.co.uk/products.htm	Cétacés uniquement Pas données brutes
- Deep sea versatile data logger - Underwater acoustic data acquisition system	Osean Underwater technology, France	6	http://www.osean.fr/fr/systemes-autonomes.php	6000m de profondeur max (2 hydrophones)
- DOSAR (Deep Ocean Synchronized Acoustic Recorders) - Shallow Water Synchronized Acoustic Recorders	DBV Technology, USA	4	http://www.dbvtechnology.com/underwater-acoustic-recorders.html	
- DMON (Digital Acoustic Monitor) - DTAG	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), USA	1	http://www.whoi.edu/website/marine-mammal-behavior-lab/dtag	
EAR (Ecological Acoustic Recorder) technology	NOAA Fisheries, USA	1	https://www.pifsc.noaa.gov/cred/eartech.php	Prototype à usage de l'institution
HARP (High-frequency Acoustic Recording Package)	Scripps Institution of Oceanography, USA	1	https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt0p6832s1/qt0p6832s1.pdf	Prototype à usage de l'institution
HTI Modular Recording System	High Tech, Inc., USA	16	http://www.hightechincusa.com/products/dataacquisitionsystems/mrs.html	

- LS1 multi-card recorder - LHC Cyclops - Snap	Logguerhead Instruments (David Mann), USA	1	http://www.loggerhead.com/acoustic-dataloggers-2/	Couplage avec une caméra
- μPAM - HILO acoustic recorder - ORCA acoustic recorder - Towed PAM - Vertical PAM - Shore-cabled PAM	Seiche Marine Technology, UK	5	http://www.seiche.com/underwater-acoustic-products/acoustic-sensors/	
- OCEANPOD - OCEANBASE	Laboratório de Dinâmica e Instrumentação, Brésil	2	http://www.ladin.usp.br/OPODE.html	Prototype à usage de l'institution
PAL (Passive Acoustic Listener)	University of Washington's Applied Physics Laboratory, USA	1		Prototype à usage de l'institution
RASP (Registratore Acustico Subacqueo Programmabile - Programmable Underwater Acoustic Recorder)	Nauta Ricerca e Consulenza Scientifica, Italie	1	https://www.nautarc.it/English/Instruments/Hydrophones/NAUTAsystems/RASP/	
- RESEA - MULTHY - SYLence recorder	RTSYS, France	16	https://rtsys.eu/en/underwater-acoustic-recorders/	
- RUDAR (Remote Underwater Digital Acoustic Recorder) - μRUDAR - nRUDAR	Cetacean Research Technology, USA	1	https://www.cetaceanresearch.com/hydrophone-systems/rudar/index.html#tp31_2	
SDH (Smart digital hydrophone - HIDRÓFONO DIGITAL INTELIGENTE)	SAES Electronica Submarina, Espagne	1	https://electronica-submarina.es/medicion-submarina/sdh-hidrofono-inteligente-medicion-submarina/	
- Soundtrap ST4300 - Soundtrap 300 STD - Soundtrap 300 HF	Ocean Instrument Nouvelle-Zélande	4	http://www.oceaninstruments.co.nz	Très utilisé par les chercheurs
SM4M (Song Meter Autonomous Submersible Recorder)	Wildlife Acoustics Inc., USA	2	https://www.wildlifeacoustics.com/products/song-meter-sm4m	800m de profondeur max
USR (Underwater Sound Recorder)	Pacific Northwest National Laboratory, USA	2	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231468/pdf/sensors-11-08519.pdf	Prototype à usage de l'institution

17 Annexe 2 : Suivi de la bibliographie en écologie acoustique appliquée aux écosystèmes marins

Table 16 : Synthesis of studies in the field of the soundscape ecology of marine coastal environment, from 2010 to 2018 (adaptée de (Lossent et al. 2017))

Reference	Location	Spatial scale*	Goals	Through the prism of the set of acoustics descriptors	Comments and main results
Haver et al., 2018	NOAA NRS Network across USA, Alaska, Hawai and islands	D > 1000 kms	- Baseline level multi-years trends	- Spectrum and spectrograms	- Frequencies between 10 and 2000 Hz
Staaterman et al, 2013	2 coral reefs in Panama and Caribbean	D ~ 1 800 kms	- Comparison of 2 soundscapes of distant but similar coral reef	- Spectrum and spectrogram, - qualitative analysis	- Significant differences between the two sites for the biophony of fishes and benthic invertebrates
Radford et al, 2010	New Zealand, 3 habitats	Surface ~ 500 km ² D >= 4 kms	- Comparison between the soundscape of different habitats	- SPL in the bandwidth of benthic biophony, - Number of snaps	- 3 habitats with strong contrast (macro-algae dominated reef, sea urchin dominated reef, sandy beach) - Significant differences between the biophony of the three habitats
			-	-	-
Kennedy & al, 2010	Panama, coral reefs in Las Perlas Archipelago	Surface ~ 1800 km ² D >= 2 kms	- Soundscape variability within the coral reefs and between the reef and the surrounding soft sediment, - Identification of the environmental driver of the biophony	- Spectrum (power spectral density, octave, third octave bandwidths) - 2 first components of the PCA of the spectrum	- First attempt to use the shape of the spectrum (2 first components of PCA) to describe a soundscape, good results to compare 2 soundscapes from 2 different sampling sites - Significant differences between the soundscapes of the coral reefs and soft sediment ones, - Significant differences within the soundscape of coral reefs, - Identification of the environmental drivers among (fish, benthic, coral diversity, fish biomass, % of reef coverage)
Lillis & al, 2014	Pamlico Sound, North Carolina, USA, Oyster reef	Surface ~ 2000 km ² D >= 1 km	- Comparison between the soundscape of the oyster reef and the	- Spectrum - SPL in 2 bandwidth [150 Hz, 1500 Hz], [1500 Hz – 20 KHz]	- 2 habitats with strong contrast (soft sediment, oyster reef) - Significant differences between the soundscapes of the oyster reefs and soft sediment ones,

			soundscape of the surrounding soft sediment - In the perspective of larvae recruitment	- Acoustic entropy index, Spectral dissimilarity index	
Piercy & al, 2014	Bohol, central Philippines,	Surface ~ 800 km² D >= 1 km	- Links between soundscapes and reef quality	- SPL in the bandwidth of benthic biophony, - Transient content	- Significant correlation between acoustics descriptors and reef quality
Kaplan & al, 2015	Virgin Island National Parl US	Surface ~ 800 km² D >= 1 km	- Links between soundscapes and reef feature (coral reef cover, fish density)	- SPL in 2 bandwidths - Spectrum (Octave band, density)	- Significant correlation between SPL [100Hz, 1kHz] and coral cover an fishes density across sites - 3 1km-distant sites are compared, small scale variation within site is evaluated with 20m distant hydrophones, only small differences appear at this scale
Harris et al, 2016	North East New Zealand	Surface ~ 60 km² D >= 1 km	- Biodiversity assessment with PAM, - Links between soundscapes and reef quality	- Acoustics Entropy, - Acoustics Richness, - Acoustics Complexity	- Significant correlation between AC and biodiversity indexes - AR and AE missed some requirements to be selected as valuable descriptors
Rossi et al, 2016	3 CO ₂ vents (1 x Italy, 2 x New Zealand)	D >= 1 km	- links between soundscape and acidification of oceans - In the perspective of larvae recruitment and the decrease of the range of biophony with the acidification of oceans	- Spectrum, - SPL in the bandwidth of biophony - Number of snaps	- Significant negative links between the benthic biophony and the CO₂ concentration, - A decrease of one order of the range of the biophony is forecasted at 2100.
Bertucci et al, 2016	Moorea Island, French Polynesia	surface ~ 100 km² D >= 1 km	- Link between soundscapes and reef quality (fish community and benthic habitat) - Comparison between in and out MPA of Moorea	- SPL in 2 bandwidth - ACI	- Significant correlation between SPL and the quality of benthic habitat - Significant correlation between ACI and fish community - Sensitivity of ACI to FFT length (personal communication F. Bertucci)
Butler et al., 2017	Florida bay, Florida (USA)	Surface ~120km² D >= 2 km	- Comparison between healthy, sponge-rich	- Snap rate - Snap SL	- More snapping shrimp snaps per unit time were recorded in healthy hard-bottom areas as compared to degraded hard-bottom areas

			and impacted sponge die-off hard bottom habitats		- Estimated density and abundance of snapping shrimp were 1 to 2 orders of magnitude greater within healthy than within degraded habitat
Butler & al, 2016	Florida keys, Florida, USA	Surface ~ 600 km ² D >= 1 km	- Link between soundscapes and habitats - Link between degradation/restoration of sponges habitat	- Spectrum - Number of fish sound and shrimps snap per unit of time - ACI	- Significant differences between the soundscapes of different habitats (seagrass, mangrove, rocky habitat of sponges) - Significant differences between degraded (by a toxic algae bloom), restored and natural rocky habitat of sponges)
Bertucci et al., 2017	Moorea Island, French Polynesia	D >= 500 m	- Comparison of four habitats between 10 and 100m depth	- SPL in [20 – 2500Hz] - Spectrum - Quantitative analysis of differences of spectrum with ANOVA	- Higher SPL at low frequency ranges in shallow water - Similar habitats show differences in their spectral signatures
Bertucci et al, 2015	Moorea Island, French Polynesia	Surface ~ 100 km ² D >= 500 m	- Comparison between the soundscape and the habitat type - In the perspective of larvae recruitment	- Spectrum - Quantitative analysis of difference of spectrum with ANOVA	- The comparison between the statistical distribution of the spectrum from two sampling sites with ANOVA allows for a quantitative analysis - Very small water depth (< 5 m) so that each sampling point is acoustically isolated from the others due to a poor propagation - Significant difference with the nature of habitat (inner Reef crest, Barrier reef, Fringing Reef, Pass, Mangrove Forest)
Ricci et al, 2016	Middle Marsh, North Caroline, Estuarine Marine reserve	Surface ~ 2 km ² D >= 500 m	- Soundscape variability within the reserve - Links with the nature of habitat and environmental drivers (tide, wind, diel and lunar cycles)	- Spectrum, - SPL in 2 bandwidth [150 Hz, 1500 Hz], [1500 Hz – 43 000 Hz]	- Very small water depth (< 1.5m) so that each sampling point is acoustically isolated from the others due to a poor propagation - Significant variabilities of the biophony of fishes and invertebrates across the nature of habitat (soft sediment, sea grass beds, oyster reefs and salt marshes).
McWilliams et al, 2013	Lough Hyne, Ireland	Surface ~ 0.24 km ² 50m < D < 200m	- Proof of feasibility of an ecological survey of benthic habitat with PAM - At a small spatial scale ad hoc for the mosaic of habitats	- Spectrum, - Acoustic complexity - Acoustic diversity - Snaps count	- Three marine habitats (mud, gravel, cliff) in a small surface, - One habitat hosted (cliff) snapping shrimps who emitted loud snaps in right propagation conditions (depth > 30 m) - The acoustic descriptors are link with the distance to the cliff habitat and not to the nature of habitat at the sampling site - Under the prism of the chosen acoustics descriptors, the cliff biophony insonifies the studied area and masks the biophony of the other habitats (if there exist).

18 Annexe 3 : Liste des espèces benthiques sonifères

Synthèse bibliographie portant sur la production sonore des invertébrés benthiques, actualisée à partir de [Lossent, 2017](#)

Nom vernaculaire	Espèce	Activité biologique associée	Fréquence peak (Hz)	SL (dB re. 1µPa @1m)	Référence bibliographique
Araignée de mer	<i>Maja brachydactyla</i>	Nutrition	5 kHz	125	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
		Type 1	7 et 38 kHz	117	
Tourteau	<i>Cancer pagurus</i>	Comportement particulier	13 kHz	126	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
			45 kHz	94	
		Nutrition	5 kHz	100	
		Type 1	6 kHz	93	
Etrille	<i>Necora puber</i>	Nutrition	7 kHz	110	(Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016)
		Type 1	9 kHz	98	
Galathée	<i>Galathea squamifera</i>	Mouvement des antennes	36 kHz	97	(Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016)
Crabe vert	<i>Carcinus maenas</i>	Nutrition	8 kHz	97	(Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016)
Crabe de fer	<i>Xantho incinus</i>	Déplacement	13 kHz	103	(Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016)
		Type 1	9 kHz	97	
Homard Européen	<i>Homarus gammarus</i>	Nutrition	12 kHz		(Jézéquel et al, 2018)
		Stress	100 Hz		
Homard Américain	<i>Homarus americanus</i>	Défense (menacé)	87 à 260 Hz (moyenne 183,1 Hz)		(Henninger & Watson 2005)

Bernard l'hermite	<i>Clibanarius diugeti</i>	Entrée dans la coquille, déplacement			(Freeman et al. 2014)
Langouste	<i>Palinurus vulgaris</i> <i>Palinurus quadricornis</i>	Défense contre prédateurs (frottement parties proche antennes)	500 Hz et 1,5 à 2 kHz	150,4 +/- 2 @ 0,9-1,2m	(Patek 2001, Patek et al. 2009, Buscaino et al. 2011)
Crevette claqueuse	<i>Athanas nitescens</i>	Défense de territoire, pêche	9 et 33kHz	127	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
Crevette claqueuse	<i>Synalpheus parneomeris</i>	Défense de territoire, pêche	2 à 5kHz	183-189 (peak-peak)	(Everest et al. 1948, Au & Banks 1998, Versluis et al. 2000)
Crevette grise	<i>Crangon crangon</i>	Nage	37 kHz	76	(Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016)
Crevette bouquet	<i>Palaemon Seratus</i>	Nage et nutrition	35 kHz	85	(Coquereau, Grall, Clavier, et al. 2016)
Crabe fantôme	<i>genus Ocypode</i>	Reproduction, défense de territoire	300 Hz – 3 kHz (Sensibilité max: 1-2 kHz)		(Horch 1975, Salmon 1983, Popper et al. 2001)
Crabe violoniste	<i>genus Uca</i>	Reproduction, défense de territoire	300 Hz – 3 kHz (Sensibilité max : 300 – 700 Hz)		(Salmon & Atsides 1968, Salmon 1983, Popper et al. 2001)
Pouce-pied	<i>Pollicipes pollicipes</i>	Interaction entre individus	40 kHz	86	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
Crépidule	<i>Crepidula fornicata</i>	Déplacement	45 kHz	85	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
Coquilles St Jacques	<i>Pecten maximus</i>	Déplacement et « Coughing » (expiration)	35 kHz	97	(Di Iorio et al. 2012, Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
Palourde	<i>Mimachlamys varia</i>	Déplacement	35-37 kHz	82-85	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
Oursin	<i>Echinus esculentus</i>	Déplacement et nutrition	38-46 kHz	87-107	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
	<i>Paracentrotus lividus</i>		39-45 kHz	83-90	(Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)
	<i>Psammechinus militaris</i>		47-49 kHz	78-100	(Radford et al. 2008, Coquereau, Grall, Chauvaud, et al. 2016)

19 Annexe 4 : Liste des espèces de poissons méditerranéens et sonifères

Soniferous fishes of the Mediterranean Sea, Gobiidae of brackish Adriatic waters excluded, extrait de [Di Iorio et al, 2017](#).

Family	Species (scientific name)	Species (vernacular name)	Reference(s)
Batrachoididae	<i>Halobatrachus didactylus</i>	Lusitanian toadfish	dosSantos et al. 2000 Amorim et al. 2006 Amorim & Vasconcelos 2006 Amorim et al. 2008
Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	Atlantic horse mackerel	Dufossé 1858-1874
	<i>Caranx cryos</i>	Blue runner	Fish & Mowbray 1970
	<i>Caranx hippos</i>	Crevalle jack	Fish & Mowbray 1970
	<i>Seriola dumerili</i>	Greater amberjack	Fish & Mowbray 1970
Carapidae	<i>Carapus acus</i>	Pearlfish	Parmentier et al. 2006
Cottidae	<i>Taurulus bubalis</i>	Longspined bullhead	Dufossé 1874b
Dactylopteridae	<i>Dactylopterus volitans</i>	Flying gurnard	Dufossé 1874b
Gadidae / Lotidae	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	Shore rockling	Almada et al. 1996
Gobiidae	<i>Gobius paganellus</i>	Rock goby	Malavasi et al. 2008 Parmentier et al. 2013
	<i>Gobius cobitis</i>	Giant goby	Malavasi et al. 2008
	<i>Gobius niger</i>	Black goby	Kinzer 1961 Malavasi et al. 2008
	<i>Gobius cruentatus</i>	Red-mouthed goby	Picciulin et al. 2006 Sebastianutto et al. 2008

	<i>Zosterisessor ophiocephalus</i>	Grass goby	<i>Malavasi et al. 2003</i> <i>Malavasi et al. 2008</i>
	<i>Pomatoschistus minutus</i>	Sand goby	<i>Lindstrom & Lugli 2000</i> <i>Malavasi et al. 2008</i>
	<i>Pomatoschistus marmoratus</i>	Marbled goby	<i>Lugli & Torricelli 1999</i> <i>Malavasi et al. 2008</i>
	<i>Pomatoschistus pictus</i>	Painted goby	<i>Amorim & Neves 2007</i> <i>Amorim & Neves 2008</i> <i>Amorim et al. 2013</i>
Macrouridae	<i>Coelorinchus caelorhincus</i>	Hollowsnout grenadier	<i>Bonaparte 1832</i>
Molidae	<i>Mola mola</i>	Ocean sunfish	<i>Dufossé 1858-1874</i>
Ophidiidae	<i>Ophidion rochei</i>	Roche's snake blenny	<i>Kéver 2012</i>
Peristediidae	<i>Peristedion cataphractum</i>	African armoured searobin	<i>Dufossé 1858-1874</i>
Pomacentridae	<i>Chromis chromis</i>	Damselfish	<i>Picciulin 2002</i>
Pomatomidae	<i>Pomatomus saltatrix</i>	Bluefish	<i>Fish & Mowbray 1970</i>
Scianidae	<i>Argyrosomus regius</i>	Meagre	<i>Dufossé 1874b</i> <i>Lagardère & Mariani 2006</i>
	<i>Sciaena umbra</i>	Brown meagre	<i>Duhamel du Monceau IN</i> <i>Dufossé 1874</i> <i>Dijkgraaf 1947 IN Bonacito 2012</i> <i>Bonacito 2000</i> <i>Bonacito et al. 2001</i> <i>Bonacito et al. 2002</i> <i>Picciulin et al. 2008</i> <i>Picciulin et al. 2012</i> <i>Bonacito et al. 2012</i> <i>Picciulin et al. 2013</i>

	<i>Umbrina cirrosa</i>	Shi drum	<i>Dufossé 1874b</i> <i>Lagardère & Parmentier 2014</i>
Serranidae	<i>Epinephelus marginatus</i>	Dusky grouper	<i>Bertucci 2015</i>
Sparidae	<i>Dentex macrophthalmus</i>	Large-eye dentex	<i>Dufossé 1874b</i>
Syngnathidae	<i>Hippocampus hippocampus</i>	Short-snouted seahorse	<i>Dufossé 1874b</i>
Triglidae	<i>Eutrigla gurnardus</i>	Grey gurnard	<i>Dufossé 1874b</i> <i>Freyta 1964</i> <i>Hawkins 1968</i> <i>Amorim et al 2004</i> <i>Amorim & Hawkins 2005</i>
	<i>Chelidonichthys cuculus</i>	Red gurnard	<i>Dufossé 1874b</i> <i>Hawkins 1968</i> <i>Amorim 1996</i>
	<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Tub gurnard	<i>Dufossé 1874b</i> <i>Hawkins 1968</i> <i>Amorim 1996</i>
	<i>Chelidonichthys obscurus</i>	Longfin gurnard	<i>Dufossé 1874b</i>
	<i>Trigloporus lastoviza</i>	Streaked gurnard	<i>Dufossé 1874b</i> <i>Hawkins 1968</i> <i>Amorim & Hawkins 2000</i>
	<i>Lepidotrigla cavillone</i>	Large-scaled gurnard	<i>Dufossé 1874b</i>
	<i>Trigla lyra</i>	Piper gurnard	<i>Dufossé 1858-1874</i>
Zeidae	<i>Zeus faver</i>	John Dory	<i>Dufossé 1874b</i>

20 Annexe 5 : Détail des points de mesure du screening de façade [2015-2018]

Code biocénose : 1: coralligène. 2 : limite inf herbier. 3 : herbier. 4: matte morte.
5 : roche infra. 6 : détritique. 7 : intérieur port

2015

Point	long °dec	lat°dec	tdeb utile (yy/mm/dd HH:MM)	Type biocenose
D1	3,09430	42,52693	06/04/2015 17:00	6
D2	3,10023	42,52607	06/04/2015 17:00	5
D3	3,73785	43,41083	07/04/2015 21:00	6
D4	4,89834	43,39390	08/04/2015 20:00	6
D5	5,16970	43,32547	09/04/2015 16:00	3
D6	5,31248	43,35269	09/04/2015 20:00	4
D7	5,79528	43,09096	25/03/2015 15:00	3
D8	5,90628	43,08616	06/05/2015 15:00	7
D9	6,62656	43,26941	02/04/2015 20:30	2
D10	7,04698	43,52937	31/03/2015 19:00	2
D11	7,09447	43,55726	31/03/2015 18:00	3
D12	7,49388	43,76436	01/04/2015 21:00	2
D13	7,50895	43,77217	01/04/2015 21:00	3
D14	9,45760	42,70521	13/04/2015 19:00	3
D15	9,36489	41,60003	15/04/2015 18:00	3
D16	8,82181	41,63309	16/04/2015 17:00	3
D17	8,87064	41,65542	16/04/2015 20:00	6
D18	8,60750	41,88467	17/04/2015 18:00	3

D20	5,90628	43,08616	06/05/2015 16:00	7
D21	6,01521	43,08109	26/05/2015 15:00	2
D22	6,01644	43,08177	26/05/2015 16:00	3
D23	3,88581	43,49086	28/05/2015 17:00	5
D24	3,95277	43,51965	28/05/2015 18:00	4
D28	5,83993	43,04662	31/05/2015 21:30	3
D29	5,76743	43,08300	01/06/2015 20:00	3
D30	5,66438	43,17889	02/06/2015 18:30	3
D31	5,54992	43,19190	03/06/2015 20:00	3
D32	5,44993	43,20245	04/06/2015 19:00	5
D33	5,28905	43,26484	05/06/2015 19:00	6
D34	5,26765	43,34263	06/06/2015 21:00	4
D35	5,16657	43,32463	07/06/2015 20:00	3
D36	8,72237	41,90135	01/10/2015 19:00	1
D37	8,86888	41,50618	03/10/2015 18:00	1
D38	9,40245	41,52878	10/04/2015 16:00	1
D39	9,41925	41,74123	05/10/2015 17:00	1
D40	9,48502	42,68757	07/10/2015 18:00	1
D41	9,52113	42,94783	08/10/2015 17:00	1
D42	9,20390	42,76825	09/10/2015 17:00	1
D43	8,54420	43,38400	12/10/2015 17:00	1
D44	8,53138	42,23660	13/10/2015 17:00	1
D45	7,47553	43,74603	17/10/2015 18:00	1
D46	7,39730	43,70872	18/10/2015 17:30	1

D47	7,30072	43,68320	19/10/2015 17:00	1
D48	7,14803	43,57107	20/10/2015 16:30	1
D49	7,12881	43,53835	21/10/2015 17:00	1
D50	6,92057	43,44040	22/10/2015 17:30	1
D51	6,72395	43,35548	23/10/2015 18:00	1
D52	6,63190	43,15382	24/10/2015 17:00	1
D53	6,40332	43,10405	25/10/2015 18:00	1
D54	6,07688	43,06470	26/10/2015 18:30	1
D55	8,72467	41,90650	01/10/2015 20:00	2
D55	8,72467	41,90650	02/10/2015 18:00	2
D56	8,87750	41,50880	03/10/2015 18:30	2
D57	9,28455	41,46957	04/10/2015 18:00	2
D58	9,41197	41,72448	05/10/2015 17:00	2
D59	9,45575	42,67830	07/10/2015 19:00	6
D60	9,49013	42,97650	08/10/2015 18:00	2
D61	9,18500	42,74338	09/10/2015 17:00	2
D62	8,74148	42,57073	11/10/2015 17:00	2
D63	8,58822	42,38673	12/10/2015 17:30	5
D64	8,54278	42,23845	13/10/2015 17:00	5
D65	7,45032	43,75140	17/10/2015 18:00	2
D66	7,35522	43,71600	18/10/2015 18:30	3
D67	7,29667	43,68513	19/10/2015 17:00	1
D68	7,14312	43,57242	20/10/2015 17:00	1
D69	7,10600	43,54572	21/10/2015 17:30	2
D70	6,92902	43,44832	22/10/2015 18:00	4
D71	6,72285	43,35617	23/10/2015 18:00	2

D72	6,60307	43,16557	24/10/2015 17:00	2
D73	6,30557	43,08872	25/10/2015 16:00	4
D74	6,09200	43,03290	26/10/2015 18:00	2
D75	8,72450	41,90680	01/10/2015 20:00	3
D75	8,72450	41,90680	02/10/2015 17:00	3
D76	8,88153	41,50872	03/10/2015 19:00	5
D77	9,27833	41,42070	04/10/2015 19:00	6
D78	9,40788	41,72137	05/10/2015 18:00	3
D79	9,45257	42,67848	07/10/2015 19:00	3
D80	9,47295	42,93480	08/10/2015 19:30	3
D81	9,18103	42,73793	09/10/2015 18:00	3
D84	7,44962	43,75288	18/10/2015 00:00	3
D85	7,35427	43,71577	18/10/2015 18:00	3
D86	7,29708	43,68558	19/10/2015 18:00	3
D88	7,12142	43,53835	21/10/2015 18:30	5
D89	6,92550	43,45278	22/10/2015 18:30	3
D90	6,72188	43,35610	23/10/2015 18:00	3
D91	6,60635	43,16732	24/10/2015 18:00	3
D92	6,31442	43,09332	25/10/2015 17:00	3
D93	6,09617	43,03308	26/10/2015 19:00	5

2016

Point	long °dec	lat°dec	tdeb utile (yy/mm/dd HH:MM)	type biocenose
-------	-----------	---------	-----------------------------------	-------------------

D1	5,16683	43,32142	30/05/2016 20:00	2
D2	5,16677	43,32465	30/05/2016 19:50	3
D3	5,63547	43,11593	02/06/2016 19:20	6
D4	5,62403	43,15420	02/06/2016 18:55	1
D5	5,66323	43,17372	02/06/2016 17:58	2
D6	5,66438	43,17868	02/06/2016 17:20	3
D7	5,84938	43,02865	03/06/2016 19:15	6
D8	5,86153	43,04233	03/06/2016 19:01	1
D9	5,83973	43,04495	03/06/2016 18:20	2
D10	5,83983	43,04670	03/06/2016 17:50	3
D11	6,05360	43,02680	04/06/2016 19:20	6
D12	6,07688	43,06470	04/06/2016 18:56	1
D13	6,09200	43,03290	04/06/2016 19:45	2
D14	6,09432	43,03327	04/06/2016 19:55	3
D15	6,40520	43,08343	05/06/2016 19:05	6
D16	6,40332	43,10405	05/06/2016 18:44	1
D17	6,30878	43,09212	05/06/2016 17:55	2
D18	6,31442	43,09332	05/06/2016 18:00	3
D19	6,59420	43,16188	06/06/2016 17:45	6
D20	6,63190	43,15382	06/06/2016 18:28	1
D21	6,60307	43,16557	06/06/2016 17:30	2
D22	6,60635	43,16732	06/06/2016 18:00	3
D23	6,73200	43,35190	08/06/2016 17:00	6
D24	6,72395	43,35548	08/06/2016 19:00	1
D25	6,72285	43,35617	08/06/2016 18:47	2
D26	6,72188	43,35610	08/06/2016 18:35	3

D27	6,92538	43,43873	09/06/2016 17:30	6
D28	6,92057	43,44040	09/06/2016 17:13	1
D29	6,92902	43,44832	09/06/2016 18:00	2
D30	6,92550	43,45278	09/06/2016 18:05	3
D31	7,09193	43,53365	10/06/2016 18:22	6
D32	7,12153	43,53828	10/06/2016 18:38	1
D33	7,10600	43,54572	10/06/2016 18:50	2
D34	7,11408	43,55123	10/06/2016 19:00	3
D35	7,16290	43,56922	11/06/2016 18:06	6
D36	7,14803	43,57107	11/06/2016 18:15	1
D37	7,14312	43,57242	11/06/2016 18:25	2
D38	7,14210	43,57095	11/06/2016 18:30	3
D39	7,31862	43,67935	12/06/2016 17:20	6
D40	7,30010	43,68330	12/06/2016 16:25	1
D41	7,29667	43,68513	12/06/2016 16:35	2
D42	7,29708	43,68558	12/06/2016 16:50	3
D43	7,38243	43,70283	13/06/2016 18:35	6
D44	7,39730	43,70872	13/06/2016 18:47	1
D45	7,35550	43,71355	13/06/2016 19:10	2
D46	7,35423	43,71615	13/06/2016 19:20	3
D47	7,47553	43,74603	15/06/2016 19:56	1
D48	7,45032	43,75140	15/06/2016 20:16	2
D49	7,44962	43,75288	15/06/2016 20:13	3
D50	3,95683	43,48202	17/06/2016 19:15	1
D51	3,96405	43,51835	17/06/2016 19:00	2
D52	3,46783	43,27275	20/06/2016 18:00	2

D53	3,52403	43,23152	20/06/2016 19:25	6
D54	3,51567	43,25118	20/06/2016 19:35	1
D55	3,13318	43,50228	21/06/2016 18:00	3
D56	3,14460	42,50413	21/06/2016 18:15	6
D57	3,13815	42,49790	21/06/2016 18:20	1

2017

Point	long °dec	lat°dec	tdeb utile (yy/mm/dd HH:MM)	type biocenose
D1	9.206	42.769	03/06/2017 18:10	1
D2	9.185	42.7434	03/06/2017 17:50	2
D3	9.181	42.7379	03/06/2017 17:45	3
D4	9.2112	42.7777	03/06/2017 18:25	6
D5	9.4851	42.6875	31/05/2017 17:40	1
D6	9.4558	42.6783	31/05/2017 17:51	2
D7	9.4526	42.6785	31/05/2017 18:00	3
D8	9.5032	42.6927	31/05/2017 17:15	6
D9	8.5314	42.2366	10/06/2017 18:05	1
D10	8.5436	42.2409	10/06/2017 18:15	2
D11	8.5428	42.2385	10/06/2017 18:25	3
D12	8.5296	42.2362	10/06/2017 17:55	6
D13	9.5211	42.948	02/06/2017 17:47	1
D14	9.4901	42.9765	02/06/2017 17:40	2
D15	9.473	42.9848	02/06/2017 17:52	3
D16	9.5404	42.9379	02/06/2017 18:00	6

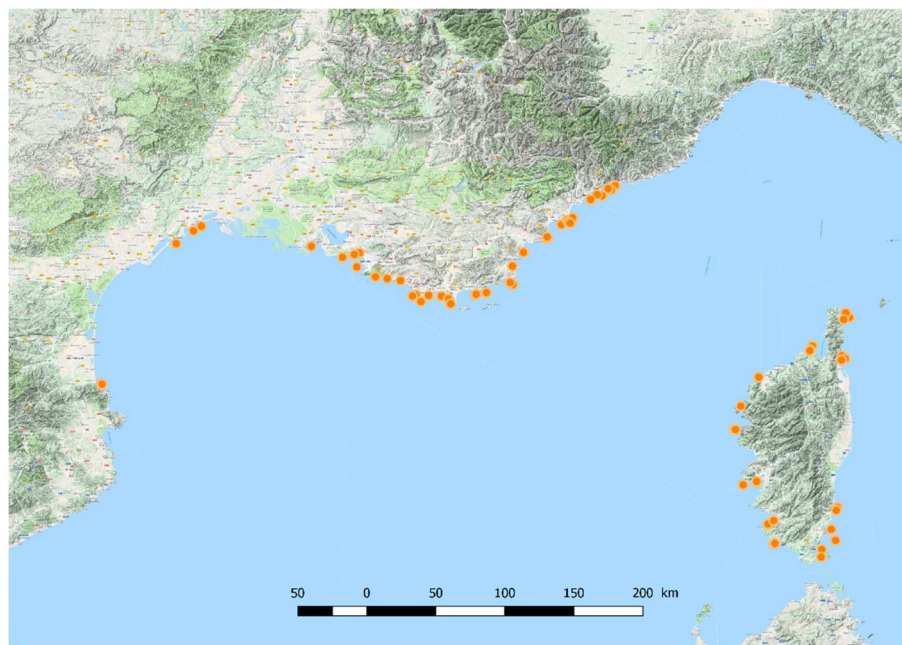
D17	8.7224	41.9014	12/06/2017 17:20	1
D18	8.7247	41.9065	12/06/2017 17:30	2
D19	8.7245	41.9068	12/06/2017 17:40	3
D20	8.7242	41.9016	12/06/2017 17:15	6
D21	8.8687	41.5059	27/05/2017 16:45	1
D22	8.8775	41.5088	27/05/2017 17:05	2
D23	8.8815	41.5087	27/05/2017 17:15	3
D24	8.8341	41.5022	27/05/2017 16:25	6
D25	8.7226	42.5933	05/06/2017 17:00	1
D26	8.7415	42.5707	05/06/2017 17:25	2
D27	8.744	42.5696	05/06/2017 17:30	3
D28	8.7462	42.5888	05/06/2017 16:45	6
D29	8.5442	42.384	09/06/2017 17:30	1
D30	8.5882	42.3867	09/06/2017 18:15	2
D31	8.5879	42.3847	09/06/2017 16:55	3
D32	8.5397	42.3878	09/06/2017 17:40	6
D33	9.4192	41.7412	30/05/2017 18:00	1
D34	9.412	41.7245	30/05/2017 17:30	2
D35	9.4079	41.7214	30/05/2017 18:15	3
D36	9.4252	41.7303	30/05/2017 17:50	6
D37	9.4025	41.5288	29/05/2017 16:00	1
D38	9.2845	41.4696	29/05/2017 17:50	2
D39	9.2783	41.4707	29/05/2017 18:00	3

2018

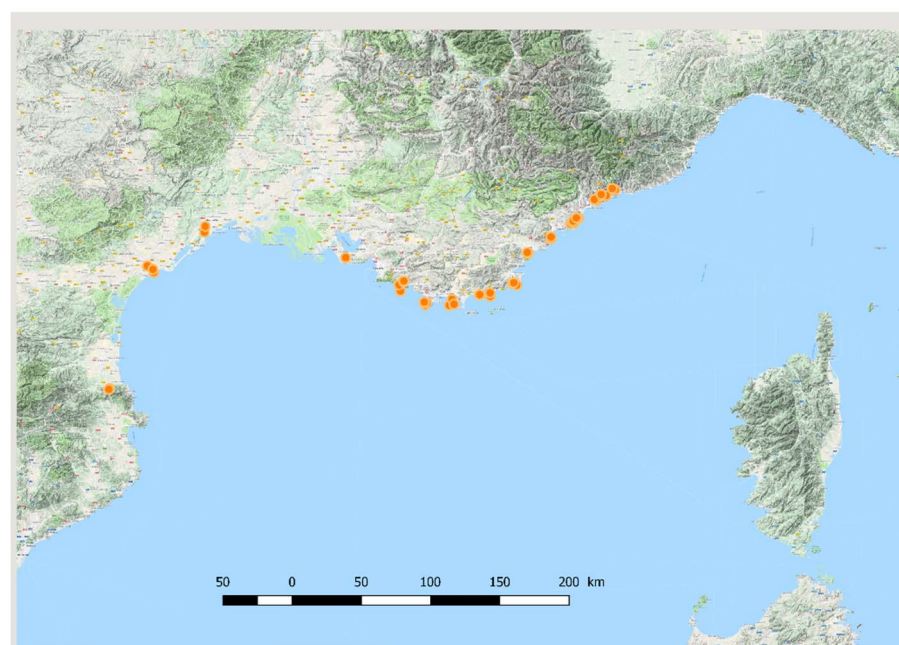
Point	long °	lat °	Biocénose	Date
D1	3.95683	43.48202	CORALLIGENE	04/06/2018
D2	3.96405	43.51835	LIMITE INFÉRIEURE	04/06/2018
D3	3.46783	43.27275	LIMITE INFÉRIEURE	05/06/2018
D4	3.51567	43.25118	CORALLIGENE	05/06/2018
D5	3.13318	42.51730	HERBIER 15M	06/06/2018
D6	3.14798	42.51737	CORALLIGENE	06/06/2018
D7	3.18115	42.44147	CORALLIGENE	07/06/2018
D8	3.17328	42.44272	HERBIER 15M	07/06/2018
D9	6.09432	43.03327	HERBIER 15M	18/06/2018
D10	7.14210	43.57095	HERBIER 15M	18/06/2018
D11	6.60307	43.16557	LIMITE INFÉRIEURE	18/06/2018
D12	6.60635	43.16732	HERBIER 15M	18/06/2018
D13	7.44962	43.75288	HERBIER 15M	19/06/2018
D14	7.45032	43.75140	LIMITE INFÉRIEURE	19/06/2018
D15	7.47553	43.74603	CORALLIGENE	19/06/2018
D16	6.92550	43.45278	HERBIER 15M	20/06/2018
D17	6.92902	43.44832	LIMITE INFÉRIEURE	20/06/2018
D18	6.92057	43.43733	CORALLIGENE	20/06/2018
D19	5.86153	43.04233	CORALLIGENE	21/06/2018
D20	5.83973	43.04495	LIMITE INFÉRIEURE	21/06/2018
D21	5.83983	43.04670	HERBIER 15M	21/06/2018
D22	5.62403	43.15420	CORALLIGENE	22/06/2018
D23	5.66323	43.17372	LIMITE INFÉRIEURE	22/06/2018
D24	5.66438	43.17868	HERBIER 15M	22/06/2018
D25	7.11408	43.55123	HERBIER 15M	23/06/2018

D26	7.10600	43.54572	LIMITE INFÉRIEURE	23/06/2018
D27	7.12142	43.53835	CORALLIGENE	23/06/2018
D28	7.29708	43.68558	HERBIER 15M	24/06/2018
D29	7.29667	43.68513	LIMITE INFÉRIEURE	24/06/2018
D30	7.30010	43.68330	CORALLIGENE	24/06/2018
D31	5.28782	43.26935	LIMITE INFÉRIEURE	25/06/2018
D32	5.28838	43.26893	HERBIER 15M	25/06/2018
D33	5.28432	43.28078	CORALLIGENE	25/06/2018
D34	8.86872	41.50595	CORALLIGENE	16/07/2018
D35	8.87750	41.50880	LIMITE INFÉRIEURE	16/07/2018
D36	8.88153	41.50872	HERBIER 15M	16/07/2018
D37	8.53138	42.23660	CORALLIGENE	17/07/2018
D38	8.54365	42.24093	LIMITE INFÉRIEURE	17/07/2018
D39	8.54278	42.23845	HERBIER 15M	17/07/2018
D40	9.18103	42.73793	HERBIER 15M	18/07/2018
D41	9.18500	42.74338	LIMITE INFÉRIEURE	18/07/2018
D42	9.20567	42.76825	CORALLIGENE	18/07/2018
D43	9.45257	42.67848	HERBIER 15M	19/07/2018
D44	9.45575	42.67830	LIMITE INFÉRIEURE	19/07/2018
D45	9.48507	42.68747	CORALLIGENE	19/07/2018
D46	8.58850	42.38482	HERBIER 15M	20/07/2018
D47	8.58822	42.38673	LIMITE INFÉRIEURE	20/07/2018
D48	8.54420	42.38400	CORALLIGENE	20/07/2018
D49	9.47295	42.98480	HERBIER 15M	21/07/2018
D50	9.49013	42.97650	LIMITE INFÉRIEURE	21/07/2018
D51	9.52095	42.94785	CORALLIGENE	21/07/2018
D52	8.72450	41.90680	HERBIER 15M	22/07/2018
D53	8.72467	41.90650	LIMITE INFÉRIEURE	22/07/2018
D54	8.72237	41.90135	CORALLIGENE	22/07/2018

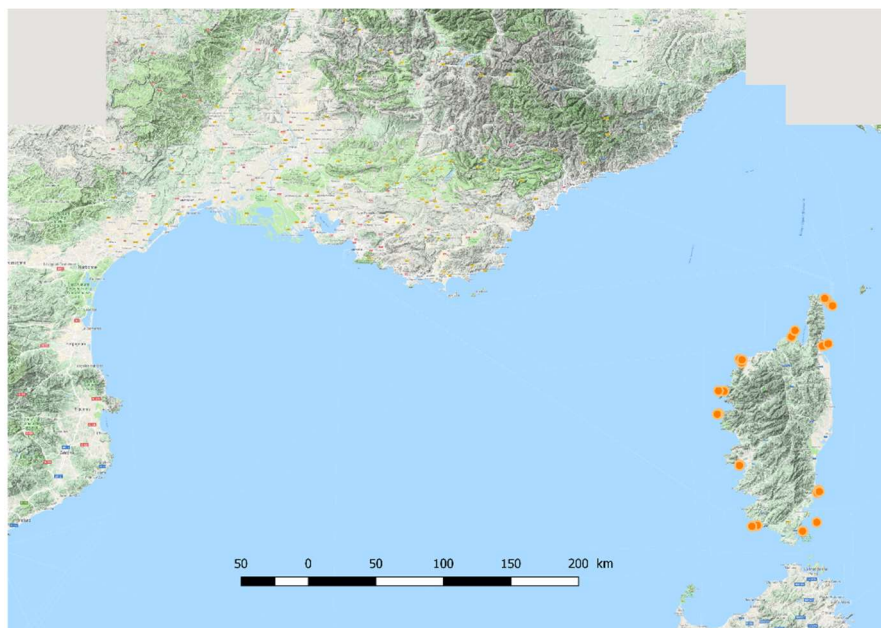
21 Annexe 6 : Cartes des points d'échantillonnage pour le screening de façade



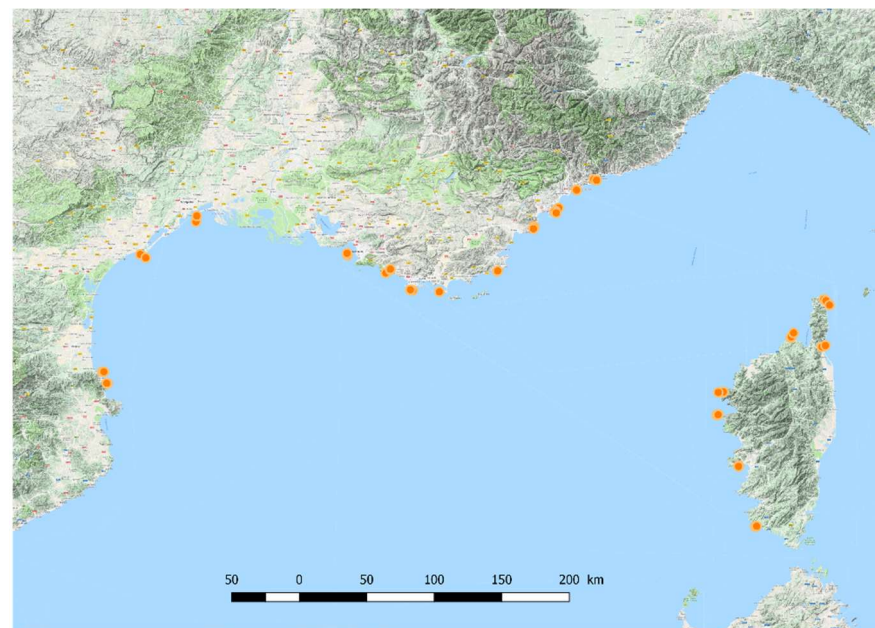
2015



2016



2017



2018

Point de mesure de la Réserve de Caro, Parc Marin de la Côte Bleue

2016											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 v	1 L	1 M	1 V	1 D	1 M	1 V	1 L	1 J	1 S	1 M	1 J
2 v	2 M	2 M	2 J	2 L	2 J	2 J	2 M	2 V	2 D	2 M	2 V
3 D	3 M	3 J	3 L	3 M	3 J	3 J	3 M	3 L	3 J	3 M	3 V
4 J	4 V	4 L	4 M	4 J	4 M	4 J	4 D	4 V	4 M	4 V	4 M
5 M	5 V	5 S	5 M	5 J	5 M	5 V	5 M	5 L	5 M	5 S	5 L
6 M	6 J	6 D	6 V	6 V	6 J	6 M	6 M	6 M	6 J	6 D	6 M
7 J	7 L	7 J	7 J	7 J	7 J	7 J	7 D	7 M	7 J	7 J	7 J
8 V	8 L	8 M	8 M	8 J	8 D	8 M	8 V	8 L	8 J	8 S	8 M
9 S	9 M	9 M	9 J	9 L	9 J	9 J	9 M	9 V	9 D	9 M	9 V
10 D	10 M	10 J	10 D	10 M	10 J	10 M	10 M	10 S	10 L	10 J	10 M
11 M	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 D	11 M	11 M	11 J	11 J
12 M	12 J	12 S	12 M	12 J	12 D	12 M	12 J	12 L	12 M	12 S	12 L
13 M	13 S	13 D	13 M	13 V	13 L	13 M	13 S	13 M	13 J	13 D	13 M
14 J	14 D	14 L	14 J	14 V	14 M	14 J	14 D	14 M	14 V	14 L	14 M
15 J	15 M	15 M	15 J	15 V	15 L	15 M	15 J	15 V	15 M	15 J	15 M
16 M	16 M	16 M	16 J	16 L	16 M	16 J	16 M	16 V	16 D	16 M	16 J
17 D	17 M	17 J	17 D	17 J	17 J	17 D	17 J	17 S	17 L	17 J	17 J
18 L	18 J	18 J	18 L	18 M	18 V	18 S	18 J	18 D	18 M	18 V	18 M
19 M	19 M	19 M	19 J	19 V	19 L	19 M	19 J	19 V	19 M	19 J	19 M
20 M	20 J	20 D	20 M	20 V	20 M	20 M	20 S	20 M	20 J	20 D	20 M
21 J	21 D	21 L	21 J	21 J	21 J	21 M	21 J	21 D	21 M	21 V	21 L
22 V	22 L	22 M	22 V	22 D	22 M	22 J	22 L	22 J	22 V	22 M	22 V
23 M	23 M	23 M	23 J	23 L	23 J	23 J	23 M	23 V	23 D	23 M	23 M
24 D	24 M	24 J	24 D	24 M	24 V	24 J	24 M	24 S	24 L	24 J	24 J
25 L	25 J	25 V	25 L	25 M	25 D	25 S	25 L	25 D	25 M	25 V	25 D
26 M	26 V	26 M	26 M	26 J	26 M	26 J	26 M	26 L	26 M	26 L	26 M
27 J	27 M	27 J	27 J	27 J	27 J	27 J	27 J	27 J	27 J	27 J	27 J
28 J	28 D	28 L	28 J	28 J	28 M	28 M	28 J	28 M	28 V	28 L	28 M
29 V	29 L	29 M	29 V	29 D	29 M	29 V	29 L	29 S	29 S	29 M	29 M
30 M	30 M	30 M	30 J	30 V	30 L	30 J	30 M	30 V	30 D	30 M	30 J
31 J	31 J	31 J	31 J	31 J	31 J	31 J	31 D	31 M	31 M	31 J	31 J

2017											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 J	1 M	1 M	1 J	1 J	1 J	1 J	1 A	1 V	1 D	1 M	1 V
2 J	2 J	2 J	2 D	2 V	2 V	2 D	2 V	2 J	2 J	2 J	2 J
3 J	3 J	3 J	3 J	3 J	3 J	3 J	3 D	3 J	3 D	3 J	3 J
4 M	4 J	4 J	4 M	4 J	4 D	4 M	4 V	4 J	4 M	4 J	4 L
5 J	5 D	5 D	5 M	5 V	5 L	5 M	5 J	5 J	5 J	5 D	5 M
6 J	6 L	6 J	6 J	6 J	6 M	6 J	6 D	6 M	6 J	6 L	6 M
7 J	7 J	7 J	7 D	7 J	7 M	7 J	7 J	7 J	7 J	7 M	7 J
8 D	8 M	8 M	8 J	8 J	8 J	8 J	8 M	8 J	8 D	8 M	8 V
9 L	9 J	9 J	9 J	9 M	9 V	9 D	9 M	9 J	9 J	9 J	9 J
10 M	10 V	10 J	10 L	10 M	10 J	10 J	10 J	10 D	10 M	10 J	10 M
11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J	11 J
12 J	12 D	12 D	12 M	12 V	12 J	12 J	12 M	12 J	12 J	12 D	12 J
13 V	13 L	13 J	13 J	13 J	13 M	13 J	13 D	13 J	13 V	13 L	13 J
14 M	14 J	14 J	14 M	14 M	14 M	14 J	14 J	14 J	14 L	14 M	14 J
15 J	15 J	15 J	15 J	15 J	15 J	15 M	15 M	15 J	15 D	15 J	15 J
16 L	16 J	16 J	16 D	16 M	16 V	16 D	16 M	16 J	16 L	16 J	16 J
17 M	17 V	17 J	17 D	17 M	17 V	17 J	17 J	17 D	17 M	17 V	17 J
18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J	18 J
19 D	19 D	19 D	19 M	19 V	19 J	19 D	19 M	19 M	19 J	19 D	19 J
20 V	20 L	20 J	20 J	20 J	20 M	20 J	20 J	20 J	20 V	20 L	20 M
21 J	21 M	21 J	21 V	21 D	21 M	21 V	21 J	21 J	21 J	21 M	21 J
22 M	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J	22 J
23 L	23 J	23 J	23 D	23 M	23 V	23 J	23 M	23 J	23 L	23 J	23 J
24 M	24 V	24 J	24 L	24 M	24 D	24 L	24 J	24 D	24 M	24 V	24 D
25 M	25 J	25 J	25 M	25 J	25 D	25 M	25 V	25 J	25 D	25 J	25 M
26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J	26 J
27 L	27 J	27 J	27 J	27 J	27 M	27 J	27 D	27 M	27 J	27 L	27 M
28 M	28 M	28 J	28 J	28 D	28 M	28 V	28 L	28 J	28 D	28 M	28 J
29 J	29 J	29 J	29 L	29 L	29 J	29 J	29 J	29 V	29 D	29 M	29 J
30 M	30 J	30 J	30 D	30 J	30 J	30 J	30 J	30 J	30 J	30 J	30 J
31 M	31 J	31 J	31 J	31 M	31 J	31 J	31 J	31 M	31 M	31 D	31 D

2018											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 J	1 J	1 J	1 D	1 M	1 V	1 V	1 M	1 M	1 S	1 J	1 S
2 M	2 V	2 V	2 L	2 V	2 V	2 L	2 J	2 J	2 M	2 V	2 L
3 M	3 S	3 S	3 M	3 V	3 V	3 S	3 L	3 L	3 M	3 V	3 M
4 J	4 D	4 D	4 M	4 V	4 V	4 S	4 V	4 D	4 D	4 D	4 M
5 V	5 L	5 L	5 J	5 S	5 M	5 S	5 D	5 M	5 V	5 L	5 M
6 S	6 M	6 M	6 V	6 D	6 M	6 V	6 L	6 J	6 S	6 M	6 J
7 D	7 M	7 V	7 L	7 J	7 V	7 S	7 M	7 V	7 D	7 M	7 V
8 S	8 J	8 J	8 S	8 M	8 V	8 S	8 L	8 L	8 M	8 V	8 M
9 M	9 V	9 V	9 L	9 M	9 S	9 S	9 J	9 M	9 M	9 V	9 S
10 M	10 S	10 S	10 M	10 J	10 D	10 M	10 V	10 L	10 M	10 S	10 L
11 V	11 D	11 D	11 M	11 J	11 V	11 S	11 S	11 M	11 J	11 D	11 M
12 J	12 S	12 S	12 L	12 V	12 V	12 S	12 D	12 L	12 J	12 L	12 J
13 S	13 M	13 M	13 V	13 L	13 M	13 V	13 L	13 J	13 V	13 M	13 J
14 D	14 M	14 M	14 S	14 L	14 J	14 S	14 M	14 L	14 J	14 M	14 V
15 M	15 V	15 V	15 M	15 J	15 V	15 S	15 S	15 M	15 V	15 L	15 M
16 V	16 S	16 S	16 M	16 V	16 V	16 S	16 L	16 D	16 D	16 M	16 J
17 M	17 S	17 S	17 M	17 J	17 V	17 M	17 V	17 L	17 M	17 V	17 L
18 J	18 D	18 D	18 M	18 J	18 V	18 S	18 S	18 M	18 J	18 D	18 M
19 S	19 M	19 M	19 V	19 L	19 M	19 V	19 L	19 J	19 V	19 M	19 J
20 M	20 V	20 V	20 L	20 M	20 S	20 J	20 L	20 M	20 V	20 L	20 M
21 M	21 M	21 M	21 V	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V	21 D	21 M	21 V
22 L	22 J	22 J	22 S	22 M	22 V	22 D	22 M	22 S	22 J	22 J	22 S
23 V	23 V	23 V	23 M	23 J	23 V	23 S	23 S	23 D	23 M	23 V	23 D
24 M	24 L	24 L	24 V	24 J	24 V	24 S	24 V	24 L	24 J	24 M	24 L
25 J	25 D	25 D	25 M	25 V	25 V	25 M	25 S	25 M	25 J	25 D	25 M
26 V	26 L	26 L	26 J	26 S	26 M	26 V	26 D	26 M	26 V	26 L	26 M
27 V	27 V	27 V	27 M	27 J	27 V	27 S	27 L	27 J	27 S	27 M	27 J
28 M	28 M	28 M	28 V	28 L	28 M	28 V	28 L	28 M	28 V	28 M	28 J
29 L	29 J	29 D	29 M	29 V	29 J	29 D	29 M	29 S	29 L	29 J	29 S
30 M	30 V	30 L	30 M	30 S	30 S	30 J	30 J	30 S	30 M	30 V	30 D

2016												
Janvier	Février	Mars	Avril		Mai	Jun	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 V	1 L	1 M	1 V	1 D	1 M	1 M	1 V	1 L	1 J	1 S	1 M	1 J
2 V	2 L	2 M	2 V	2 D	2 M	2 J	2 S	2 L	2 J	2 D	2 S	2 J
3 V	3 L	3 M	3 V	3 D	3 M	3 J	3 S	3 M	3 D	3 S	3 J	3 D
4 L	4 J	4 V	4 L	4 M	4 S	4 L	4 J	4 S	4 D	4 M	4 V	4 D
5 M	5 V	5 S	5 M	5 J	5 D	5 M	5 V	5 L	5 S	5 V	5 L	5 M
6 V	6 L	6 M	6 V	6 D	6 M	6 J	6 S	6 L	6 S	6 V	6 S	6 L
7 J	7 D	7 J	7 V	7 D	7 M	7 J	7 D	7 M	7 S	7 V	7 J	7 M
8 V	8 L	8 M	8 V	8 D	8 M	8 J	8 S	8 J	8 S	8 M	8 V	8 J
9 J	9 M	9 V	9 L	9 D	9 J	9 S	9 M	9 V	9 D	9 V	9 V	9 M
10 V	10 L	10 M	10 V	10 D	10 M	10 J	10 S	10 L	10 S	10 V	10 J	10 D
11 L	11 J	11 V	11 M	11 D	11 M	11 S	11 L	11 J	11 D	11 M	11 V	11 L
12 M	12 J	12 V	12 M	12 D	12 M	12 J	12 S	12 J	12 D	12 M	12 V	12 L
13 M	13 S	13 D	13 M	13 V	13 L	13 M	13 S	13 L	13 M	13 J	13 D	13 M
14 V	14 L	14 M	14 V	14 D	14 M	14 J	14 S	14 L	14 S	14 V	14 S	14 M
15 V	15 L	15 M	15 V	15 D	15 M	15 J	15 S	15 L	15 J	15 D	15 M	15 J
16 S	16 M	16 M	16 L	16 D	16 J	16 S	16 M	16 V	16 D	16 M	16 V	16 V
17 D	17 M	17 J	17 D	17 M	17 V	17 D	17 M	17 S	17 L	17 J	17 J	17 M
18 M	18 L	18 M	18 V	18 D	18 M	18 J	18 S	18 L	18 S	18 V	18 D	18 D
19 M	19 V	19 S	19 M	19 D	19 M	19 J	19 S	19 L	19 M	19 D	19 S	19 L
20 M	20 S	20 D	20 M	20 V	20 L	20 M	20 S	20 M	20 J	20 V	20 D	20 M
21 J	21 D	21 L	21 J	21 D	21 M	21 J	21 D	21 M	21 V	21 J	21 L	21 M
22 V	22 M	22 V	22 L	22 D	22 M	22 J	22 S	22 V	22 J	22 D	22 S	22 M
23 M	23 M	23 S	23 L	23 D	23 J	23 S	23 L	23 M	23 J	23 D	23 M	23 M
24 D	24 J	24 D	24 M	24 V	24 L	24 D	24 M	24 S	24 L	24 J	24 L	24 S
25 L	25 J	25 V	25 M	25 D	25 M	25 L	25 J	25 D	25 M	25 V	25 V	25 M
26 M	26 L	26 M	26 V	26 D	26 M	26 J	26 S	26 L	26 S	26 V	26 D	26 L
27 M	27 L	27 M	27 V	27 D	27 M	27 J	27 S	27 L	27 J	27 D	27 M	27 M
28 J	28 D	28 L	28 J	28 D	28 M	28 J	28 D	28 M	28 V	28 V	28 D	28 M
29 V	29 M	29 V	29 L	29 D	29 M	29 J	29 S	29 J	29 D	29 M	29 V	29 J
30 V	30 L	30 M	30 V	30 D	30 M	30 J	30 S	30 L	30 S	30 V	30 D	30 M
31 D	31 J	31 M	31 V	31 D	31 M	31 J	31 M	31 M	31 L	31 J	31 S	31 J

[illegible]

2018													
Janvier	Février	Mars	Avril		Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
1 L	1 J	1 J	1 D	1 M	1 M	2 J	2 J	1 D	1 M	1 S	1 J	1 S	1 S
2 M	2 V	2 V	2 S	2 S	2 S	2 J	2 J	2 J	2 D	2 M	2 V	2 V	2 D
3 J	3 J	3 J	3 L	3 L	3 L	3 S	3 S	3 S	3 S	3 S	3 S	3 S	3 S
4 J	4 D	4 D	4 M	4 V	4 V	4 S	4 M	4 S	4 M	4 J	4 D	4 D	4 M
5 V	5 L	5 L	5 J	5 S	5 S	5 S	5 S	5 D	5 M	5 V	5 L	5 M	5 M
6 M	6 M	6 M	6 V	6 D	6 D	6 M	6 V	6 L	6 J	6 J	6 D	6 M	6 J
7 J	7 J	7 J	7 S	7 S	7 S	7 J	7 J	7 J	7 S	7 S	7 S	7 S	7 S
8 L	8 J	8 J	8 D	8 M	8 M	8 S	8 D	8 M	8 S	8 S	8 L	8 J	8 S
9 M	9 V	9 V	9 L	9 M	9 M	9 L	9 J	9 J	9 D	9 D	9 M	9 V	9 V
10 V	10 L	10 L	10 M	10 J	10 J	10 D	10 M	10 V	10 L	10 L	10 V	10 L	10 L
11 M	11 J	11 J	11 S	11 S	11 S	11 J	11 J	11 J	11 S	11 S	11 S	11 S	11 S
12 V	12 L	12 L	12 J	12 J	12 J	12 S	12 D	12 J	12 D	12 M	12 V	12 L	12 M
13 D	13 M	13 M	13 V	13 D	13 D	13 V	13 J	13 L	13 J	13 J	13 J	13 M	13 J
14 D	14 V	14 V	14 S	14 L	14 L	14 S	14 M	14 M	14 V	14 D	14 D	14 M	14 M
15 L	15 J	15 J	15 S	15 S	15 S	15 J	15 D	15 M	15 S	15 S	15 S	15 J	15 J
16 M	16 M	16 M	16 V	16 D	16 D	16 M	16 V	16 L	16 J	16 J	16 D	16 M	16 J
17 M	17 S	17 S	17 M	17 J	17 J	17 S	17 D	17 V	17 L	17 L	17 M	17 S	17 L
18 J	18 D	18 D	18 M	18 V	18 L	18 S	18 S	18 S	18 M	18 V	18 J	18 D	18 M
19 V	19 L	19 L	19 J	19 J	19 J	19 S	19 D	19 M	19 S	19 S	19 V	19 L	19 M
20 M	20 M	20 M	20 V	20 D	20 D	20 M	20 V	20 L	20 J	20 J	20 D	20 M	20 J
21 D	21 M	21 M	21 S	21 L	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V	21 V	21 D	21 M	21 V
22 L	22 J	22 J	22 D	22 M	22 V	22 J	22 D	22 M	22 S	22 S	22 L	22 J	22 J
23 V	23 V	23 V	23 L	23 M	23 S	23 L	23 J	23 J	23 D	23 D	23 M	23 V	23 D
24 M	24 L	24 L	24 M	24 J	24 J	24 S	24 M	24 V	24 L	24 L	24 M	24 L	24 L
25 M	25 M	25 M	25 V	25 D	25 D	25 M	25 V	25 L	25 J	25 S	25 M	25 V	25 S
26 V	26 L	26 L	26 J	26 J	26 J	26 S	26 D	26 J	26 D	26 M	26 V	26 L	26 M
27 D	27 M	27 M	27 V	27 D	27 D	27 J	27 L	27 L	27 J	27 J	27 M	27 L	27 M
28 D	28 M	28 M	28 V	28 D	28 D	28 J	28 L	28 M	28 V	28 V	28 D	28 M	28 V
29 M	29 M	29 M	29 V	29 D	29 D	29 M	29 V	29 L	29 J	29 J	29 D	29 M	29 J
30 M	30 V	30 L	30 L	30 M	30 S	30 L	30 J	30 J	30 D	30 M	30 V	30 V	30 D

Point de mesure de Gala Gonone

2015

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 J	1 D	1 D	1 M	1 V	1 L	1 M	1 S	1 M	1 J	1 D	1 M
2 V	2 L	2 L	2 J	2 S	2 M	2 J	2 D	2 M	2 V	2 L	2 M
3 S	3 M	3 M	3 V	3 D	3 M	3 V	3 L	3 S	3 M	3 J	3 S
4 D	4 M	4 M	4 S	4 L	4 J	4 S	4 M	4 V	4 D	4 M	4 V
5 L	5 J	5 J	5 D	5 M	5 V	5 D	5 M	5 S	5 L	5 J	5 S
6 M	6 V	6 V	6 L	6 M	6 S	6 L	6 J	6 D	6 M	6 V	6 D
7 M	7 S	7 S	7 M	7 V	7 M	7 V	7 L	7 M	7 S	7 L	7 M
8 J	8 D	8 D	8 M	8 V	8 L	8 M	8 S	8 M	8 J	8 D	8 M
9 V	9 L	9 L	9 J	9 S	9 M	9 J	9 D	9 M	9 V	9 L	9 M
10 S	10 M	10 M	10 V	10 D	10 M	10 V	10 L	10 J	10 S	10 M	10 J
11 D	11 M	11 M	11 S	11 L	11 J	11 S	11 M	11 V	11 D	11 M	11 V
12 L	12 J	12 J	12 D	12 M	12 V	12 D	12 M	12 S	12 L	12 J	12 S
13 M	13 V	13 V	13 L	13 M	13 S	13 L	13 J	13 D	13 M	13 V	13 D
14 M	14 D	14 D	14 J	14 S	14 M	14 V	14 L	14 M	14 S	14 L	14 M
15 J	15 D	15 D	15 V	15 L	15 M	15 S	15 M	15 J	15 D	15 M	15 V
16 V	16 L	16 L	16 J	16 S	16 M	16 J	16 D	16 M	16 V	16 L	16 M
17 S	17 M	17 M	17 V	17 D	17 M	17 V	17 L	17 J	17 S	17 M	17 J
18 D	18 M	18 M	18 S	18 L	18 J	18 S	18 M	18 V	18 D	18 M	18 V
19 L	19 J	19 J	19 D	19 M	19 V	19 D	19 M	19 S	19 L	19 M	19 S
20 M	20 V	20 V	20 L	20 M	20 S	20 L	20 J	20 D	20 M	20 V	20 D
21 M	21 S	21 S	21 M	21 V	21 D	21 M	21 V	21 L	21 M	21 S	21 L
22 J	22 D	22 D	22 V	22 L	22 M	22 S	22 M	22 J	22 D	22 M	22 V
23 V	23 L	23 L	23 J	23 S	23 M	23 J	23 D	23 M	23 V	23 L	23 M
24 S	24 M	24 M	24 V	24 D	24 M	24 V	24 L	24 J	24 S	24 M	24 J
25 D	25 M	25 M	25 S	25 L	25 J	25 S	25 M	25 V	25 D	25 M	25 V
26 J	26 V	26 V	26 L	26 M	26 S	26 L	26 J	26 D	26 M	26 V	26 D
27 M	27 V	27 V	27 L	27 M	27 S	27 L	27 J	27 D	27 M	27 V	27 D
28 M	28 S	28 S	28 M	28 V	28 D	28 M	28 V	28 L	28 M	28 S	28 L
29 J	29 D	29 D	29 V	29 L	29 M	29 S	29 M	29 J	29 D	29 M	29 V
30 V	30 L	30 L	30 J	30 S	30 M	30 J	30 D	30 M	30 V	30 L	30 M
31 S				31 D			31 L				31 J

2016

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 V	1 L	1 M	1 V	1 D	1 M	1 V	1 L	1 J	1 S	1 M	1 J
2 S	2 M	2 M	2 S	2 L	2 J	2 S	2 M	2 V	2 D	2 M	2 V
3 D	3 M	3 J	3 D	3 M	3 V	3 D	3 M	3 S	3 L	3 J	3 S
4 L	4 J	4 V	4 L	4 M	4 S	4 L	4 J	4 D	4 M	4 V	4 D
5 M	5 V	5 S	5 M	5 J	5 D	5 M	5 V	5 L	5 M	5 S	5 L
6 M	6 S	6 D	6 M	6 V	6 L	6 M	6 S	6 M	6 J	6 D	6 M
7 J	7 D	7 L	7 J	7 S	7 M	7 J	7 D	7 M	7 V	7 L	7 M
8 V	8 L	8 M	8 V	8 D	8 M	8 V	8 L	8 J	8 S	8 M	8 V
9 S	9 M	9 M	9 D	9 J	9 S	9 M	9 V	9 L	9 M	9 V	9 D
10 D	10 M	10 J	10 D	10 M	10 V	10 D	10 M	10 S	10 L	10 J	10 S
11 L	11 J	11 V	11 L	11 M	11 S	11 L	11 J	11 D	11 M	11 V	11 D
12 M	12 V	12 S	12 M	12 J	12 D	12 M	12 V	12 L	12 J	12 S	12 M
13 M	13 S	13 D	13 M	13 V	13 L	13 M	13 S	13 M	13 V	13 L	13 M
14 J	14 D	14 L	14 J	14 S	14 M	14 V	14 L	14 J	14 D	14 M	14 V
15 V	15 L	15 M	15 V	15 D	15 M	15 V	15 L	15 J	15 S	15 M	15 V
16 S	16 M	16 M	16 S	16 L	16 J	16 S	16 M	16 V	16 D	16 M	16 V
17 D	17 M	17 J	17 D	17 M	17 V	17 D	17 M	17 S	17 L	17 J	17 S
18 L	18 V	18 V	18 L	18 M	18 S	18 L	18 J	18 D	18 M	18 V	18 D
19 M	19 V	19 S	19 M	19 J	19 D	19 M	19 V	19 L	19 M	19 S	19 L
20 M	20 D	20 M	20 V	20 L	20 M	20 S	20 M	20 J	20 D	20 M	20 V
21 J	21 D	21 L	21 J	21 S	21 M	21 J	21 D	21 M	21 V	21 L	21 M
22 V	22 L	22 M	22 V	22 D	22 M	22 V	22 L	22 J	22 S	22 M	22 V
23 S	23 M	23 M	23 S	23 L	23 J	23 S	23 M	23 V	23 D	23 M	23 V
24 D	24 M	24 J	24 D	24 M	24 V	24 D	24 M	24 S	24 L	24 J	24 S
25 L	25 J	25 V	25 L	25 M	25 S	25 L	25 J	25 D	25 M	25 V	25 D
26 M	26 V	26 S	26 M	26 J	26 D	26 M	26 V	26 L	26 J	26 S	26 M
27 M	27 S	27 D	27 M	27 V	27 L	27 M	27 S	27 M	27 V	27 L	27 M
28 J	28 D	28 L	28 J	28 S	28 M	28 J	28 D	28 M	28 V	28 L	28 M
29 V	29 L	29 M	29 D	29 M	29 V	29 L	29 J	29 D	29 M	29 V	29 J
30 S	30 M	30 S	30 L	30 J	30 S	30 M	30 V	30 D	30 M	30 V	30 D
31 D	31 J			31 M		31 D	31 M				31 S

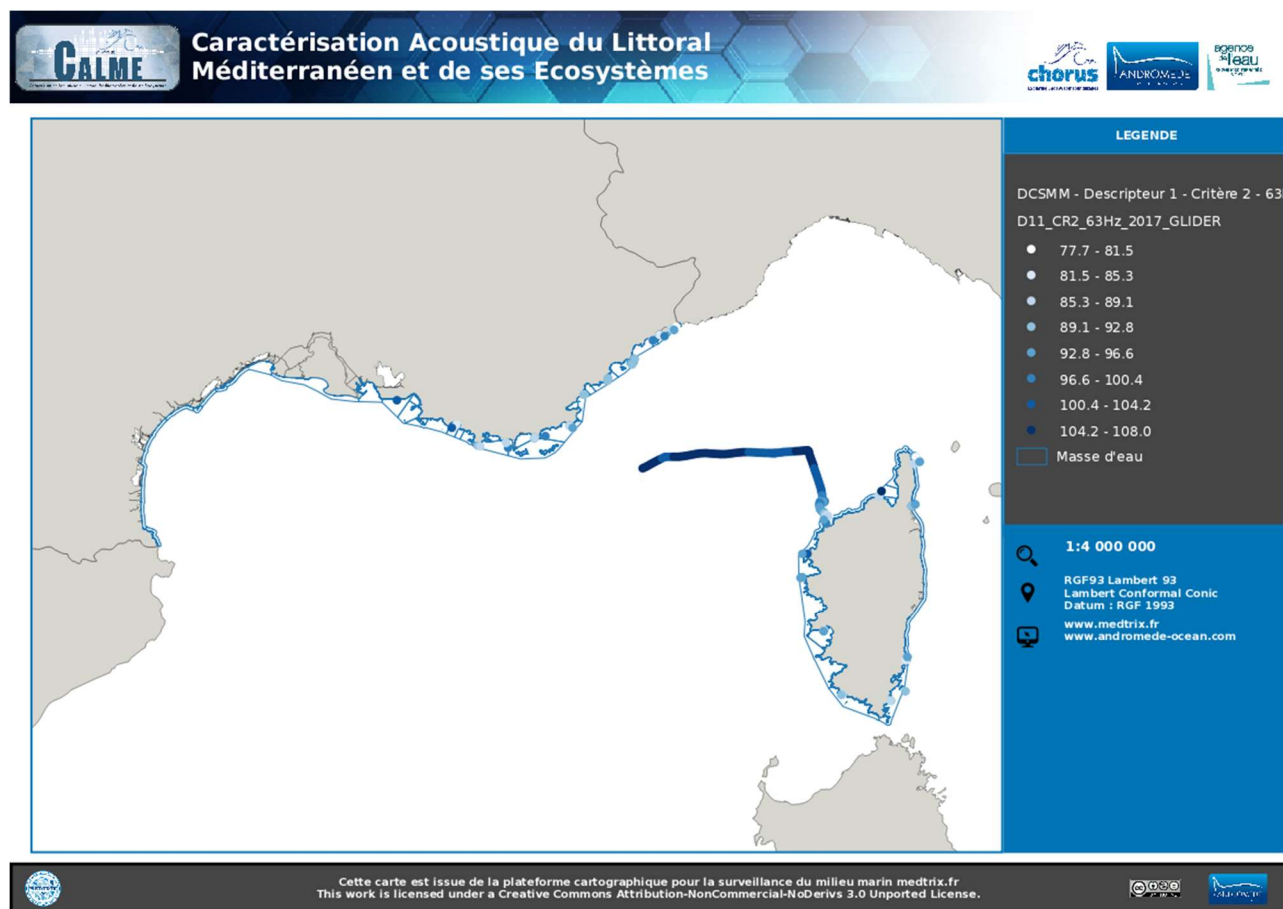
2017

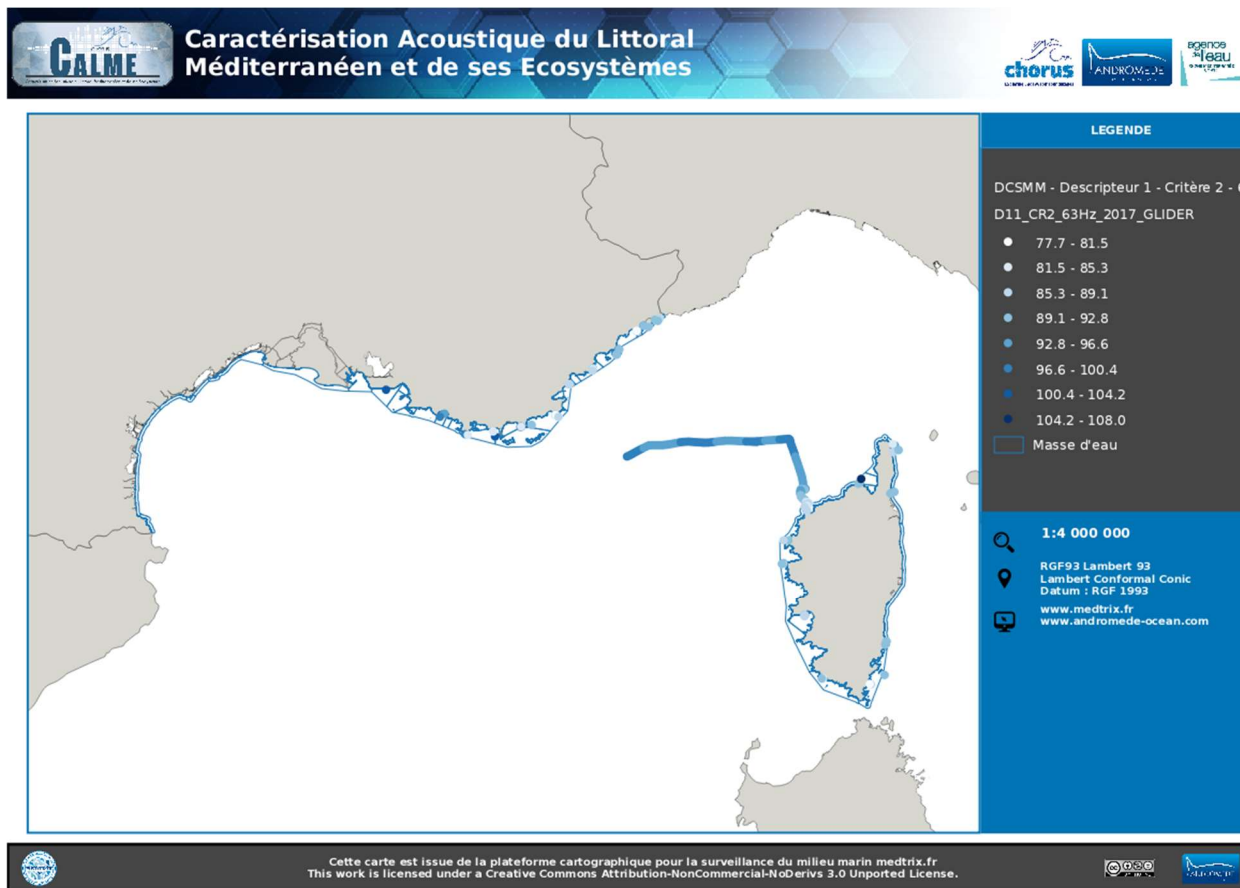
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 D	1 M	1 M	1 S	1 L	1 J	1 S	1 M	1 V	1 D	1 M	1 V
2 L	2 J	2 J	2 D	2 M	2 V	2 D	2 M	2 S	2 L	2 J	2 S
3 V	3 V	3 V	3 L	3 M	3 S	3 L	3 J	3 D	3 M	3 V	3 D
4 M	4 S	4 S	4 M	4 J	4 D	4 M	4 V	4 L	4 M	4 S	4 L
5 J	5 D	5 D	5 M	5 V	5 L	5 M	5 S	5 M	5 J	5 D	5 M
6 V	6 L	6 L	6 J	6 S	6 M	6 J	6 D	6 M	6 V	6 L	6 M
7 D	7 M	7 M	7 V	7 D	7 M	7 V	7 L	7 J	7 S	7 M	7 J
8 D	8 M	8 M	8 S	8 L	8 J	8 S	8 M	8 V	8 D	8 M	8 V
9 L	9 J	9 J	9 D	9 M	9 V	9 D	9 M	9 S	9 L	9 J	9 S
10 M	10 V	10 V	10 L	10 M	10 S	10 L	10 J	10 D	10 M	10 V	10 D
11 M	11 S	11 S	11 M	11 J	11 D	11 M	11 V	11 L	11 M	11 S	11 M
12 J	12 D	12 D	12 V	12 L	12 M	12 S	12 M	12 J	12 D	12 M	12 V
13 V	13 L	13 L	13 J	13 S	13 M	13 J	13 D	13 M	13 V	13 L	13 M
14 S	14 M	14 M	14 V	14 D	14 M	14 V	14 L	14 J	14 S	14 M	14 V
15 D	15 M	15 M	15 S	15 L	15 J	15 S	15 M	15 V	15 D	15 M	15 V
16 L	16 J	16 J	16 D	16 M	16 V	16 D	16 M	16 S	16 L	16 J	16 S
17 M	17 V	17 V	17 L	17 M	17 S	17 L	17 J	17 D	17 M	17 V	17 D
18 M	18 S	18 S	18 M	18 V	18 D	18 M	18 V	18 L	18 M	18 S	18 L
19 J	19 D	19 D	19 V	19 L	19 M	19 S	19 M	19 J	19 D	19 M	19 V
20 V	20 L	20 L	20 J	20 S	20 M	20 J	20 D	20 M	20 V	20 L	20 M
21 S	21 M	21 M	21 V	21 D	21 M	21 V	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V
22 D	22 M	22 M	22 S	22 L	22 J	22 S	22 M	22 V	22 D	22 M	22 V
23 L	23 J	23 J	23 D	23 M	23 V	23 D	23 M	23 S	23 L	23 J	23 S
24 M	24 V	24 V	24 L	24 M	24 S	24 L	24 J	24 D	24 M	24 V	24 D
25 M	25 S	25 S	25 M	25 V	25 D	25 M	25 V	25 L	25 M	25 S	25 L
26 J	26 D	26 D	26 V	26 L	26 M	26 S	26 M	26 J	26 D	26 M	26 V
27 V	27 L	27 L	27 J	27 S	27 M	27 J	27 D	27 M	27 V	27 L	27 M
28 V	28 M	28 M	28 V	28 D	28 M	28 V	28 L	28 J	28 D	28 M	28 V
29 D	29 M	29 S	29 M	29 J	29 S	29 M	29 V	29 D	29 M	29 V	29 J
30 L		30 J	30 D	30 M	30 V	30 D	30 M	30 S	30 L	30 J	30 S
31 M	31 V			31 M		31 L	31 J				31 D

2018

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre																			
1 M	2 V	3 V	4 L	5 M	6 V	7 D	8 M	9 J	10 J	11 J	12 S	13 M	14 V	15 V	16 D	17 M	18 J	19 J	20 J	21 D	22 M	23 V	24 V	25 D	26 M	27 J	28 J	29 V	30 L	31 M
2 M	3 S	4 S	5 M	6 J	7 D	8 M	9 V	10 L	11 M	12 S	13 M	14 V	15 V	16 D	17 M	18 J	19 J	20 J	21 D	22 M	23 V	24 V	25 D	26 M	27 J	28 J	29 V	30 L	31 M	
4 J	4 D	4 D	4 M	4 V	4 L	4 M	4 S	4 M	4 J	4 J	4 D	4 M	4 V	4 V	4 D	4 M	4 J	4 J	4 D	4 M	4 V	4 V	4 D	4 M	4 J	4 J	4 D	4 M	4 V	4 L
5 V	5 L	5 L	5 J	5 S	5 M	5 J	5 D	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V	5 L	5 M	5 V
6 S	6 M	6 M	6 V	6 D	6 M	6 V	6 L	6 J	6 S	6 M	6 J	6 S	6 M	6 V	6 L	6 J	6 S	6 M	6 V	6 L	6 J	6 S	6 M	6 V	6 L	6 J	6 S	6 M	6 V	6 L
7 D	7 M	7 M	7 S	7 L	7 J	7 J	7 S	7 M	7 V	7 D	7 M	7 V	7 L	7 J	7 S	7 M	7 V	7 L	7 J	7 S	7 M	7 V	7 L	7 J	7 S	7 M	7 V	7 L	7 J	7 S
8 L	8 J	8 J	8 D	8 M	8 V	8 S	8 M	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L	8 J	8 S	8 L
9 M	9 V	9 V	9 L	9 M	9 S	9 L	9 J	9 D	9 M	9 V	9 D	9 M	9 V	9 L	9 M	9 V	9 L	9 M	9 V	9 L	9 M	9 V	9 L	9 M	9 V	9 L	9 M	9 V	9 L	9 M
10 M	10 S	10 S	10 M	10 J	10 D	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M	10 V	10 L	10 M
11 J	11 D	11 D	11 V	11 M	11 V	11 L	11 M	11 S	11 M	11 S	11 M	11 V	11 L	11 M	11 V	11 L	11 M	11 V	11 L	11 M	11 V	11 L	11 M	11 V	11 L	11 M	11 V	11 L	11 M	11 V
12 V	12 L	12 L	12 J	12 S	12 M	12 J	12 D	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V	12 L	12 M	12 V
13 S	13 M	13 M	13 V	13 D	13 M	13 V	13 L	13 J	13 J	13 S	13 M	13 V	13 L	13 J	13 S	13 M	13 V	13 L	13 J	13 S	13 M	13 V	13 L	13 J	13 S	13 M	13 V	13 L	13 J	13 S
14 D	14 M	14 M	14 S	14 L	14 J	14 S	14 M	14 V	14 D	14 M	14 V	14 L	14 J	14 S	14 M	14 V	14 L	14 J	14 S	14 M	14 V	14 L	14 J	14 S	14 M	14 V	14 L	14 J	14 S	14 M
15 L	15 J	15 J	15 D	15 M	15 V	15 D	15 M	15 S	15 L	15 M	15 V	15 L	15 J	15 S	15 M	15 V	15 L	15 J	15 S	15 M	15 V	15 L	15 J	15 S	15 M	15 V	15 L	15 J	15 S	15 M
16 M	16 V	16 V	16 L	16 M	16 S	16 L	16 J	16 D	16 M	16 V	16 L	16 J	16 S	16 M	16 V	16 L	16 J	16 S	16 M	16 V	16 L	16 J	16 S	16 M	16 V	16 L	16 J	16 S	16 M	16 V
17 M	17 S	17 S	17 M	17 V	17 D	17 M	17 V	17 L	17 J	17 S	17 M	17 V	17 L	17 J	17 S	17 M	17 V	17 L	17 J	17 S	17 M	17 V	17 L	17 J	17 S	17 M	17 V	17 L	17 J	17 S
18 V	18 L	18 L	18 J	18 S	18 M	18 J	18 D	18 M	18 V	18 L	18 M	18 V	18 L	18 J	18 S	18 M	18 V	18 L	18 J	18 S	18 M	18 V	18 L	18 J	18 S	18 M	18 V	18 L	18 J	18 S
19 V	19 L	19 L	19 J	19 S	19 M	19 J	19 D	19 M	19 V	19 L	19 M	19 V	19 L	19 J	19 S	19 M	19 V	19 L	19 J	19 S	19 M	19 V	19 L	19 J	19 S	19 M	19 V	19 L	19 J	19 S
20 S	20 M	20 M	20 V	20 D	20 M	20 V	20 L	20 J	20 S	20 M	20 V	20 L	20 J	20 S	20 M	20 V	20 L	20 J	20 S	20 M	20 V	20 L	20 J	20 S	20 M	20 V	20 L	20 J	20 S	20 M
21 D	21 M	21 M	21 S	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V	21 D	21 M	21 V	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V	21 L	21 J	21 S	21 M	21 V	21 L	21 J	21 S	21 M
22 L	22 J	22 J	22 D	22 M	22 V	22 D	22 M	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L	22 J	22 S	22 L
23 M	23 V	23 V	23 L	23 M	23 S	23 L	23 J	23 D	23 M	23 V	23 D	23 M	23 V	23 L	23 M	23 V	23 L	23 M	23 V	23 L	23 M	23 V	23 L	23 M	23 V	23 L	23 M	23 V	23 L	23 M
24 M	24 S	24 S	24 M	24 J	24 D	24 M	24 V	24 L	24 J	24 S	24 L	24 J	24 S	24 M	24 V	24 L	24 J	24 S	24 M	24 V	24 L	24 J	24 S	24 M	24 V	24 L	24 J	24 S	24 M	24 V
25 J	25 D	25 D	25 V	25 L	25 M	25 V	25 L	25 M	25 J	25 D	25 M	25 V	25 L	25 M	25 V	25 L	25 M	25 V	25 L	25 M	25 V	25 L	25 M	25 V	25 L	25 M	25 V	25 L	25 M	25 V
26 V	26 L	26 L	26 J	26 S	26 M	26 J	26 D	26 M	26 V	26 L	26 M	26 V	26 L	26 J	26 S	26 M	26 V	26 L	26 J	26 S	26 M	26 V	26 L	26 J	26 S	26 M	26 V	26 L	26 J	26 S
27 S	27 M	27 M	27 V	27 D	27 M	27 V	27 L	27 J	27 S	27 M	27 V	27 L	27 J	27 S	27 M	27 V	27 L	27 J	27 S	27 M	27 V	27 L	27 J	27 S	27 M	27 V	27 L	27 J	27 S	27 M
28 S	28 M	28 M	28 V	28 D	28 M	28 V	28 L	28 J	28 S	28 M	28 V	28 L	28 J	28 S	28 M	28 V	28 L	28 J	28 S	28 M	28 V	28 L	28 J	28 S	28 M	28 V	28 L	28 J	28 S	28 M
29 M	29 V	29 V	29 L	29 M	29 S	29 L	29 J	29 D	29 M	29 V	29 D	29 M	29 V	29 L	29 M	29 V	29 L	29 M	29 V	29 L	29 M	29 V	29 L	29 M	29 V	29 L	29 M	29 V	29 L	29 M
30 M	30 S	30 S	30 M	30 J	30 D	30 M	30 V	30 L	30 J	30 S	30 L	30 J	30 S	30 M	30 V	30 L	30 J	30 S	30 M	30 V	30 L	30 J	30 S	30 M	30 V	30 L	30 J	30 S	30 M	30 V
31 M	31 S	31 S	31 J	31 J	31 M	31 V	31 D	31 M	31 V	31 L	31 M	31 V	31 L	31 J	31 S	31 M	31 V	31 L	31 J	31 S	31 M	31 V	31 L	31 J	31 S	31 M	31 V	31 L	31 J	31 S

23 Annexe 8 : Cartographie des niveaux sonores DCSMM Critère 11 – descripteur 2





24 Annexe 9 : Algorithmes de détection et de description de la biophonie benthique

Algorithme de détection des impulsions

L'objectif du détecteur est de décider à partir des mesures de la présence ou de l'absence d'impulsions benthiques. En théorie de la détection, nous réalisons une mesure et à partir de cette mesure, il s'agit de prendre une décision D_0 : la mesure ne contient que du bruit seul ou une décision D_1 : la mesure contient un signal pour une situation initiale H_0 : bruit seul ou H_1 : signal présent. Les décisions D_0 pour une situation initiale H_0 et D_1 pour une situation initiale H_1 sont des bonnes décisions. La probabilité de prendre une décision D_1 pour une situation initiale H_1 est notée P_d pour probabilité de détection. Une décision D_1 pour une hypothèse H_0 est une mauvaise décision nommée 'Fausse Alarme', la probabilité de fausse alarme est notée P_{fa} . En théorie de la détection, les enjeux sont :

- De limiter les fausses alarmes à un niveau prédéfini, on parle de détecteur TFAC (Taux de Fausse Alarme Constant),
- De trouver le détecteur qui va maximiser la probabilité de détection en maintenant le taux de fausse alarme constant,
- D'être capable de prédire les performances de détection, i.e. de bâtir les caractéristiques opérationnelles du récepteur (courbes COR) qui expriment P_d en fonction de P_{fa} pour un rapport signal à bruit donné (RSB).

Pour cela une mesure « m » sert à élaborer un test statistique Q qui est comparé à un seuil. Si Q est inférieur au seuil, nous prenons la décision D_0 et si Q est plus grand que le seuil alors nous prenons la décision D_1 .

Soient f_1 la loi de densité de probabilité et F_1 la loi de répartition (cdf) de Q sous l'hypothèse H_1 et f_0 la loi de densité de probabilité et F_0 la loi de répartition de Q sous l'hypothèse H_0 , nous avons les formules générales :

$$\begin{aligned} - \text{Seuil de détection } \lambda &= F_0^{-1}(1 - P_{fa}) \\ - P_d &= 1 - F_1(F_0^{-1}(1 - P_{fa})). \end{aligned} \quad [Eq. 1]$$

Les formulations de Q , f_0 , F_0 , f_1 , F_1 dépendent des hypothèses faites sur la mesure.

Nous supposons que la mesure prend la forme suivante :

$$H_0: m(t) = b(t); t \in [0, T] \quad [Eq. 2]$$

$$H_1: m(t) = s_u(t) + b(t); t \in [0, T]. \quad [Eq. 3]$$

où $b(t)$ est bruit gaussien de moyenne nulle et de puissance égale au celle du bruit ambiant (ANL : Ambient Noise Level) et $s_u(t)$ est un signal aléatoire inconnu de durée T dans la bande de la biophonie benthique (B_c).

Sous ces hypothèses, le détecteur optimal (Kay, 1998) est le détecteur d'énergie qui consiste à filtrer la mesure $m(t)$ par un filtre passe bande sur B_c puis à calculer l'énergie de la mesure filtrée pendant la durée T , cette énergie constitue le test de décision Q . In fine, Q est comparé à un seuil bâti à partir du

niveau de bruit ambiant ANL estimé grâce à la méthode du centile empirique (Kinda et al, 2013).

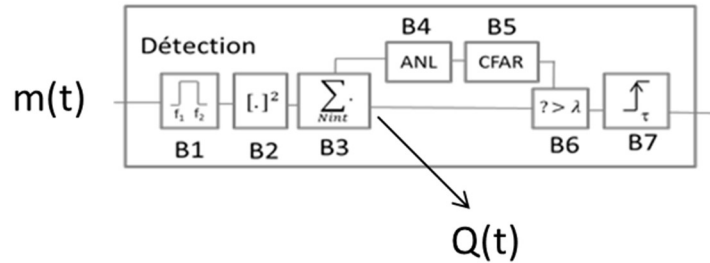


Figure 50 : Schéma fonctionnel du détecteur optimale (bloc B1 : filtre passe-bande, blocs B2 et B3 : calcul de l'énergie du signal Q, bloc B4 : calcul du bruit de fond, bloc B5 : calcul du seuil de détection) avec $N_{int} = T_{fs} = 80$ échantillons

Le test statistique Q s'exprime comme la somme de 80 échantillons filtrés puis élevés au carré. Le théorème de la limite centrale nous permet de dire que $Q(t)$ suit approximativement une loi normale pour les hypothèses H_0 et H_1 pour lesquelles il faut calculer la moyenne et l'écart-type. Soit N_{int} le nombre de points d'intégration pour calculer l'énergie Q et soit anl_{rms} la valeur efficace de l'ANL exprimé en linéaire (μPa), soient μ_0 et σ_0 la moyenne et l'écart-type de la loi normale de Q sous l'hypothèse H_0 et soient μ_1 et σ_1 la moyenne et l'écart-type de la loi normale de Q sous l'hypothèse H_1 , les calculs exposés dans l'annexe 1 conduisent à :

$$\mu_0 = N_{int} anl_{rms}^2 \quad [Eq. 4]$$

$$\sigma_0 = \sqrt{2N_{int}} anl_{rms}^2 \quad [Eq. 5]$$

$$\mu_1 = \sum_1^{N_{int}} s_u^2(i) + N_{int} anl_{rms}^2 \quad [Eq. 6]$$

$$\sigma_1 = \sqrt{2N_{int}} anl_{rms}^2 \quad [Eq. 7]$$

Nous noterons que si rl_{rms} est l'amplitude efficace du signal utile au récepteur alors $\sum_1^{N_{int}} s_u^2(i)$ s'exprime simplement par $N_{int} rl_{rms}^2$.

Si nous définissons le RSB par $\frac{\sum_1^{N_{int}} s_u^2(i)}{N_{int} anl_{rms}^2}$, on a :

$$\mu_1 = N_{int} anl_{rms}^2 (1 + RSB) \quad [Eq. 8]$$

Puis pour une loi normale de moyenne μ et d'écart-type σ , nous avons :

$$f(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \times \exp\left(-\frac{(\alpha-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad [Eq. 9]$$

$$F(\alpha) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right).$$

[Eq. 10]

Au final, le step 2 effectue i) la détection des impulsions, ii) permet la datation des impulsions et leurs extractions et iii) évalue le niveau de bruit ambiant (ANL) qui renseigne directement le niveau sonore du chorus généré par la communauté acoustique benthique.

Descripteurs et algorithmes de calcul

Nous proposons 28 descripteurs s'inspirant de ceux utilisés pour décrire les sons transitoires émis par les navires et les sous-marins ([Tucker & Brown 2005](#)) et les sons émis par les poissons ([Malfante et al. 2018](#)). Le descripteur d_9 est un descripteur original ([Lossent et al. 2017](#)).

Concernant le comptage des sons : sur toute la durée de la mesure nous évaluons toutes les 30 secondes le descripteur d_1 égal au nombre de sons benthiques détectés dans les 60 secondes autour du temps de calcul.

Concernant la description des niveaux sonores :

- pour chaque impulsion individualisable, nous évaluons son niveau sonore efficace (d_2 , SPL_{rms} dB re. 1μPa), son niveau sonore pic à pic (d_3 , SPL_{p-p} dB re.1μpa), son énergie (d_4 , SCL dB re. 1μPa²s)
- pour le chorus benthique, sur toute la durée de la mesure nous évaluons toutes les 30 secondes nous évaluons le niveau de bruit ambiant (d_5 , ANL_{rms} dB re. 1μPa) dans les 60 secondes autour du temps de calcul.

Concernant le step 3-a-1 dédié à la description des formes d'onde : pour chaque impulsion détectée, nous décrivons :

- son contenu fréquentiel par la fréquence peak (d_6 , Hz), la fréquence centroïde (d_7 , Hz), la bande passante (d_8 , Hz) et la forme de son spectre (d_9)
- la variation fréquentielle dans la durée de l'impulsion en coupant l'impulsion en 3 portions et pour chaque portion en évaluant sa fréquence peak (d_{10} , d_{11} , d_{12} Hz) et la différence entre la fréquence peak du 3^{ième} tiers avec la fréquence peak du 1^{ier} tiers (d_{13} , Hz),
- sa durée en évaluant le support temporel contenant 90% de l'énergie de l'impulsion (5% à 95%) (d_{14} , s)
- la distribution de son amplitude et sa stabilité en calculant le skewness (d_{15}) et le kurtosis (d_{16}) de l'amplitude, le skewness (d_{17}) et le kurtosis (d_{18}) temporels, les taux de montée (d_{19} , μPa/s) et de descente (d_{20} , μPa/s) de la forme d'onde, les taux de montée (d_{21} , μPa/s) et de descente (d_{22} , μPa/s) de l'enveloppe énergétique, l'entropie de Shannon normalisée de la forme d'onde (d_{23}) et de l'enveloppe (d_{24}), l'énergie du premier, second et troisième tiers du signal (d_{25} , d_{26} , d_{27} , SCL dB re.1μPa²s) et le rapport entre l'énergie du 3^{ième} tiers et du 1^{ier} tiers du signal (d_{28} , dB).

La Table 17 présente la liste des descripteurs proposés.

Table 17 : Liste et utilité des descripteurs acoustiques proposés.

N° descr.	Nom	Utilisé pour la diversité acoustique			Utilisé pour l'abondance	Utilisé pour la puissance sonore	
		Signaux individualisables			Signaux individualisables	Signaux individualisables	Chorus
		Durée	Distribution fréquences	Distribution amplitudes			
d ₁	Nomb. Imp/minute				✓		
d ₂	SPL _{rms} dB re. 1μPa					✓	
d ₃	SPL _{p-p} dB re. 1μPa					✓	
d ₄	SCL dB re. 1μPa ² s					✓	
d ₅	ANL dB re. 1μPa						✓
d ₆	Peak freq. (Hz)		✓				
d ₇	Centr. freq. (Hz)		✓				
d ₈	Bandwidth (Hz)		✓				
d ₉	Forme du spectre (sans unité)		✓				
d ₁₀	f _{inst1} (Hz)		✓				
d ₁₁	f _{inst2} (Hz)		✓				
d ₁₂	f _{inst3} (Hz)		✓				
d ₁₃	f _{inst3} - f _{inst1} (Hz)		✓				
d ₁₄	Duration (s)	✓					
d ₁₅	Mag. Skew.			✓			
d ₁₆	Mag. Kurt.		✓	✓			
d ₁₇	Tem. Skew.			✓			
d ₁₈	Tem. Kurt.		✓	✓			
d ₁₉	Rat.Att.Wav. (μPa/s)		✓	✓			

d ₂₀	Rat.De.Wav. (μPa/s)		✓	✓			
d ₂₁	Rat.Att.Env. (μPa/s)		✓	✓			
d ₂₂	Rat.De.Env. (μPa/s)		✓	✓			
d ₂₃	Shan.Ent.Wav		✓	✓			
d ₂₄	Shan.Ent.Env		✓	✓			
d ₂₅	SCL _{inst1} dB re. 1μPa2s			✓			
d ₂₆	SCL _{inst2} dB re. 1μPa2s			✓			
d ₂₇	SCL _{inst3} dB re. 1μPa2s			✓			
d ₂₈	SCL _{inst3} - SCL _{inst1} dB			✓			

SPL : Sound Pressure Level, SCL : Sound Cumulative Level, ANL : Ambient Noise Level, Peak freq. : Peak frequency, Centr. Freq : centroid frequency, f_{inst1} : peak frequency of the first third of the impulse, f_{inst2} : peak frequency of the first third of the impulse, f_{inst3} : peak frequency of the third, third of the impulse, Mag. Skew : skewness on magnitude, Mag. Kurt : kurtosis on magnitude, Tem. Skew : skewness on time, Tem. Kurt : kurtosis on time, Rat.Att.Wav. : Rate of Attack of raw waveform, Rat.De.Wav. : Rate of Decay of raw waveform, Rat.Att.Env. : Rate of Attack of energetic envelop, Rat.De.Env. : Rate of Decay of energetic enveloppe, Shan.Ent.Wav : Shannon Entropy on raw waveform, Shan.Ent.Env : Shannon Entropy on the energetic envelop, SCL_{inst1} : Sound Cumulative level of the first third of the signal, SCL_{inst2} : Sound Cumulative level of the second third of the signal,

Nous détaillons maintenant les formules nécessaires pour calculer les descripteurs d₁ à d₂₈ lorsque ceci s'impose.

Calcul de d₂ (ISO 2018) : soit s(t), t ∈ [0,T], le signal mesuré, le niveau SPL rms dB re. 1μPa se calcule par :

$$SPL_{rms} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T s(t)^2 dt \right)$$

[Eq. 11]

Calcul de d₃ (ISO 2018) : soit s(t), t ∈ [0,T], le signal mesuré, le niveau SPL p-p dB re. 1μPa se calcule par :

$$SPL_{p-p} = 10 \log_{10} \left(\frac{\max(s(t), t \in [0,T])}{\min(s(t), t \in [0,T])} \right)$$

[Eq. 12]

Calcul de d₄ (ISO 2018) : soit s(t), t ∈ [0,T], le signal mesuré, le niveau SCL dB re. 1μPa²s se calcule par :

$$SCL = 10 \log_{10} \left(\int_0^T s(t)^2 dt \right)$$

[Eq. 13]

Calcul de l'enveloppe d'un signal s(t) : cette phase est préparatoire au calcul de plusieurs descripteurs, on suppose un signal s(t) de la forme $s(t) = env(t) \times \cos(\Phi(t))$ où env(t) est un signal variant lentement devant cos(Φ(t))

et soit T_e la période d'échantillonnage. Si B_{env} est la bande passante de $env(t)$, alors nous avons $B_{env} \ll \min(\frac{1}{2\pi} \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t})$. Dans ce cas, $env(t)$ est l'enveloppe énergétique de $s(t)$ et elle peut être approximée à partir de $s(t)$ en :

- filtrant $s(t)$ par un filtre passe-bande centré sur la bande passante de $\cos(\Phi(t))$ pour obtenir $s_f(t)$,
- en élevant au carré $s_f(t)$ au carré pour obtenir $s_{2f}(t)$,
- en filtrant passe-bas $s_{2f}(t)$ par un filtre moyennneur sur N_{int} échantillons avec N_{int} choisi tel que : $B_{env} \ll \frac{1}{N_{int}T_e} \ll \min(\frac{1}{2\pi} \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t})$ pour obtenir $s_{3f}(t)$
- en calculant la racine carrée de $s_{3f}(t)$.

Ces 4 pas correspondent aux blocs B1 à B3 de la Figure 50.

Calcul de d_5 : Pour calculer le niveau de bruit ambiant ANL, nous utilisons la méthode du centile empirique proposée dans (Kinda et al. 2013). Pour calculer le niveau de bruit ANL à la date t_0 , on calcule la série temporelle de l'enveloppe énergétique du signal sur la minute autour de t_0 avec un pas T_e . On choisit *a priori* deux centiles Q_1 et Q_2 (0.2, 0.5) et soient X_1 et X_2 la valeur des centiles Q_1 et Q_2 de la série temporelle de l'enveloppe énergétique sur la minute, alors le niveau de bruit ambiant ANL dB re.1μPa s'exprime par :

$$ANL = 10 \log_{10} \left(\frac{erfc^{-1}(2Q_1)X_2 - erfc^{-1}(2Q_2)X_1}{erfc^{-1}(2Q_1) - erfc^{-1}(2Q_2)} \right)$$

Calcul de d_{6_1} : soit f_s la fréquence d'échantillonnage et $\gamma(f)$, $f \in [0, f_s/2]$, la densité spectrale de puissance du signal mesuré ($\mu Pa^2/Hz$), la fréquence peak se calcule par :

$$f_{peak} = \arg \max(\gamma(f)), f \in [0, f_s/2] \quad [Eq. 14]$$

Calcul de d_7 : soit f_s la fréquence d'échantillonnage et $\gamma(f)$, $f \in [0, f_s/2]$, la densité spectrale de puissance du signal mesuré ($\mu Pa^2/Hz$), la fréquence centroïde se calcule par :

$$f_o = \frac{\int_0^{f_s/2} f \times \gamma(f) df}{\int_0^{f_s/2} \gamma(f) df} \quad [Eq. 15]$$

Calcul de d_8 : soit f_s la fréquence d'échantillonnage, $\gamma(f)$, $f \in [0, f_s/2]$, la densité spectrale de puissance du signal mesuré ($\mu Pa^2/Hz$) et f_0 la fréquence centroïde, la bande passante se calcule par :

$$B = \sqrt{\frac{\int_0^{f_s/2} (f - f_0)^2 \times \gamma(f) df}{\int_0^{f_s/2} \gamma(f) df}} \quad [Eq. 16]$$

Cette bande passante peut être remplacée par la bande passante à 3dB ou la bande passante à 10 dB. Dans ce cas, on évalue la bande passante du signal en cherchant de part et d'autre de la fréquence peak, les fréquences dont la densité spectrale de puissance est inférieure de 3 dB ou 10 dB de la densité spectrale maximale.

Calcul de d_9 (Lossent et al. 2017) : Pour calculer ce descripteur de la forme du spectre d'une impulsion, nous utilisons la méthode développée dans Lossent et al. (2017). Ce nouveau descripteur permet de quantifier avec un jeu de deux indices $\{\alpha_1, \alpha_2\}$ la forme du spectre d'une impulsion. Ce descripteur est basé sur

une Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée sur les spectres des impulsions détectées dans toute la base de données. Les deux premières composantes de l'ACP (α_1 , α_2), soient les deux coordonnées d'un spectre d'une impulsion dans la base de représentation de l'ACP (les deux premier vecteurs propres), constituent le jeu d'indices de d_9 .

Calcul de d_{10} d_{11} d_{12} , d_{13} : Nous découpons le support temporel de chaque impulsion en 3 segments puis pour chaque segment, nous calculons la fréquence peak.

Calcul de d_{14} : soit $s(t)$, le signal détecté, nous calculons la durée « utile » T_u du signal par les formules suivantes :

$$t_o = \frac{\int_0^T t \times s(t)^2 dt}{\int_0^T s(t)^2 dt} \quad [Eq. 17]$$

$$T_u = \sqrt{\frac{\int_0^T (t-t_o)^2 \times s(t)^2 dt}{\int_0^T s(t)^2 dt}} \quad [Eq. 18]$$

Calcul de d_{15} et d_{16} : soit $s(t)$ $t \in [0, T]$, le signal détecté et $s(n)$, $n \in [0, N]$ sa version échantillonnée à la fréquence f_s . Nous calculons tout d'abord sa valeur moyenne et son écart-type :

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_i s(i) \quad [Eq. 19]$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i (s(i) - \mu)^2} \quad [Eq. 20]$$

Nous calculons ensuite le skewness et le kurtosis de la distribution de l'amplitude du signal par :

$$d_{15} = skew_a = \frac{1}{N} \sum_i \left(\frac{s(i) - \mu}{\sigma} \right)^3 \quad [Eq. 21]$$

$$d_{16} = kurt_a = \frac{1}{N} \sum_i \left(\frac{s(i) - \mu}{\sigma} \right)^4 \quad [Eq. 22]$$

Calcul de d_{17} et d_{18} : soit $s(t)$ $t \in [0, T]$, le signal détecté et $s(n)$, $n \in [0, N]$ sa version échantillonnée à la période d'échantillonnage T_s . Nous utilisons le temps t_o et la durée T_u introduit pour d_{13} pour calculer le skewness et le kurtosis du temps du signal par les formules suivantes :

$$d_{17} = skew_t = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \left(\frac{i \times T_s - t_o}{T_u} \right)^3 \times s(i)^2}{\sum_i s(i)^2} \quad [Eq. 23]$$

$$d_{18} = kurt_t = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \left(\frac{i \times T_s - t_o}{T_u} \right)^4 \times s(i)^2}{\sum_i s(i)^2} \quad [Eq. 24]$$

Calcul de d_{19} , d_{20} , d_{21} et d_{22} : Nous considérons soit la forme d'onde (d_{21} , d_{22}) du signal soit l'enveloppe (d_{23} , d_{24}), soit $x(n)$, $n \in [0, N]$ la version échantillonnée, le taux d'attaque et de décroissance s'évaluent par :

$$Taux\ attaque = \max \left(\frac{x(n) - x(n-1)}{T_s} \right); n \in [1, N]$$

[Eq. 25]

$$Taux\ décroissance = \min \left(\frac{x(n) - x(n-1)}{T_s} \right); n \in [1, N]$$

[Eq. 26]

Calcul de d_{23} et d_{24} : Nous considérons la densité de probabilité $p(i)$, $i \in [1, M]$ de la forme d'onde ou de l'enveloppe et nous calculons l'entropie de Shannon normalisée par :

$$E_s = - \frac{\sum_i \log(p(i)) \times p(i)}{\log(M)}$$

[Eq. 27]

Calcul de d_{25} , d_{26} , d_{27} , d_{28} : Nous découpons le support temporel du signal reçu en 3 segments et nous évaluons le SCL (cf. d_4) pour chacun des segments.

25 Annexe 10 : Paramètres descriptifs de la forme des sons de poissons de type « drums » & « /kwa/ »

List of measured acoustic features (c.f., Supplementary Information SI for detailed descriptions).

Abbreviation	Definition	Description
NP	Number of pulses	Number of pulses within the temporal envelope
T	Duration (s)	
BW	Bandwidth (Hz)	Bandwidth based on the signal selection box
F_{min} & F_{max}	Minimal and maximal frequency (Hz)	Minimal & maximal frequency based on the signal selection box
F_{peak}	Peak or dominant frequency (Hz)	The frequency at the maximum of the power spectrum
F_s & F_e	Start frequency & end frequency (Hz)	Start and end frequency of the most energetic contour $C(t, f, f_{peak})$.
ΔF_{es}	End frequency minus start frequency (Hz)	$F_e - F_s$
ΔF_{sp}	Start frequency minus peak frequency (Hz)	$F_s - F_{peak}$
ΔF_{ep}	End frequency minus peak frequency (Hz)	$F_e - F_{peak}$
NbH	Number of pseudo-harmonics	Number of pseudo-harmonics between F_{min} and F_{max} .
HI	Pseudo-harmonic interval	Interval between the estimated using the complex auto-correlation function of $E(f_0)$ (Le Bot et al. 2015).

PP	Pulse period	The reciprocal of HI (i.e., $1/HI$) It is therefore redundant to include both features in the analyses.
H1, H2, H3, H4	Pseudo-harmonic index	The index of the four most energetic pseudo-harmonics.
Q3H	Pseudo-harmonic ratio	Ratio of the energy contained in $H1 + H2 + H3$ to the energy contained in all pseudo-harmonics between F_{min} and F_{max} .
Entro	Normalized linear entropy	$\text{Entro} = \frac{\int_{F_{min}}^{F_{max}} -\gamma(f) \log_2(\gamma(f)) df}{\log_2(LFFT)}$
RL	Received Level in dB re 1μPa	$RL = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \int_T [s_r(t)]^2 dt \right\}.$ RL corresponds to the root mean square (RMS) sound pressure level.
SNR	Signal to noise ratio in dB re 1μPa	Signal to noise ratio with the underlying Ambient Noise Level (ANL) in dB re 1μPa. (Kinda et al. 2013, Mathias et al. 2016).
SCL	Sound cumulative level in dB re 1μPa ² s	The SCL quantifies the energy contained in the signal. $SCL = 10 \log_{10} \left(\int_T (s_r(t))^2 dt \right).$

- Number of pulses (**NP**) within the temporal envelope.
- Duration (**T**) of the temporal envelope.
- Bandwidth (**BW**) based on the signal selection box.
- Minimal frequency (**F_{min}**) & maximal frequency (**F_{max}**) based on the signal selection box.
- Peak (or dominant) frequency (**F_{peak}**): The frequency at the maximum of the power spectral density (dB re 1 μ Pa²Hz⁻¹) estimated by the periodogram (Stoica and Moses 2005) with LFFT =512 (df = 7.8 Hz) and a Kaiser window of 180 dB.
- Start frequency (**F_s**) and end frequency (**F_e**) of the most energetic contour $C(t, f, f_{peak})$. The most energetic contour C on the spectrogram (LFFT=512, REC=0.75, Kaiser Window 180 dB) is obtained as followed: For each time t_0 of computation of the spectrogram $\gamma(t, f)$, the local maxima of $\gamma(t_0, f)$ versus f are determined. The first point (P1) of the most energetic contour was chosen as the nearest local maxima to the point $[t_{centre} = 0.5 \cdot (t_{max} + t_{min}), F_{peak}]$. Then the most energetic contour was built by linking for each time t_0 the nearest local maximum from the beginning towards the end of the signal. The center frequency (F_c) of the most energetic contour was only used to calculate another feature related to the signal's contour (frequency modulation).
- Contour features of the pseudo-harmonics of the sounds:
 - End frequency minus start frequency: $F_e - F_s$ (**ΔF_{es}**),
 - Start frequency minus peak frequency: $F_s - F_{peak}$ (**ΔF_{sp}**),
 - Centre frequency minus peak frequency: $F_c - F_{peak}$ (**ΔF_{cp}**),
 - End frequency minus peak frequency: $F_e - F_{peak}$ (**ΔF_{ep}**).
- Number of pseudo-harmonics (**NbH**) between F_{min} and F_{max} . For each frequency f_0 , the energy of a potential pseudo-harmonic was estimated by integrating the spectrogram along the time-frequency contour $C(f, f_0)$ to obtain the energy $E(f_0)$: $E(f_0) = \int_{t=t}^{t_{max}} c(t, f, f_0) \gamma(t, f) dt$. The number of pseudo-harmonics represents the number of local maxima of $E(f_0)$ between F_{min} and F_{max} .
- Pseudo-harmonic interval (**HI**): The waveform of the /kwa/ is a fundamental frequency component around F_{peak} modulated by a periodic envelop. This specific structure creates pseudo-harmonics, with the pseudo-harmonic interval in Hz being estimated using the complex auto-correlation function of $E(f_0)$ (Le Bot et al. 2015). The reciprocal of HI (i.e., 1/HI) corresponds to the pulse period (**PP**) of the temporal envelope of the signal.
- **H1, H2, H3 & H4**: The index of the most energetic pseudo-harmonic (**H1**), considering that the principal contour (with F_{peak}) has the index 0, the one just above +1 and the one just below -1, etc.; the second most energetic pseudo-harmonic (**H2**), the third (**H3**) and the fourth one (**H4**).
- Ratio of the energy contained in H1, H2 and H3 together (**Q3H**) to the energy contained in all pseudo-harmonics between F_{min} and F_{max} . Let f_i be the

frequency of the i^{th} pseudo-harmonic among NbH , then $Q3H = \frac{E(f_1) + E(f_2) + E(f_3)}{\sum_1^{NbH} E(f_i)}$.

- Normalized linear entropy (**Entro**): The power spectral density $\cdot (f)$ in the linear scale ($\mu Pa^2 Hz^{-1}$) is considered as a distribution, its entropy is computed by: **Entro** = $\frac{\int_{F_{min}}^{F_{max}} -\gamma(f) \log_2(\gamma(f)) df}{\log_2(LFFT)}$. This entropy is used to characterize the flatness (higher entropy) versus the peakness (lower entropy) of the power spectral density. Thanks to the normalization term **log2(LFFT)**, the entropy value is between 0 and 1.
- Received Level (**RL**) in dB re 1 μPa : If $s(t)$ is the raw data within the selected time period, $s(t)$ is bandpass filtered within $[F_{min}, F_{max}]$ by a Butterworth filter of order 4 to give $s_f(t)$, then RL is computed by: **RL** = $10 \log_{10} \{ \frac{1}{T} \int_T [s_f(t)]^2 dt \}$. RL corresponds to the root mean square (RMS) sound pressure level.
- Signal to noise ratio (**SNR**) in dB is the difference between RL in dB re 1 μPa with the underlying Ambient Noise Level (ANL) in dB re 1 μPa . ANL is

computed from a segment of two seconds (one second before, one second after) adjacent to the signal selection with the method used in Kinda *et al.* 2012 and Mathias *et al.* 2016.

- Sound cumulative level (**SCL**): The SCL dB re 1 $\mu Pa^2 s$ quantifies the energy contained in the signal. It is computed as the Sound Exposure Level (SEL dB re 1 $\mu Pa^2 s$) used for anthropogenic sounds (Southall *et al.* 2007): **SCL** = $10 \log_{10} (\int_T (s_f(t))^2 dt)$.

References

- Le Bot O, Mars JI, Gervaise C, Simard Y (2015). Rhythmic analysis for click train detection and source separation with examples on beluga whales. *Appl Acoust* 95:37-49. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.02.005
- Stoica P, Moses RL (2005) *Spectral analysis of signals* (Vol 452). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall

Le tableau suivant résume l'analyse semi-quantitative de CALME 2016 et 2017 pour les herbiers de posidonie

Page 135 sur 146

Synthèse qualitative sons poissons CALME 2016 / 2017 CORALLIGÈNE													
Dir	NomSite	date	year	Dist.coast	corb	heure début	aphidion	heure début	kwa	heure début	autre	heure début	commentaires
D4	Ciotat	2016/06/02 18:55	2016	18.12.177	0		0		0				strumming! & bruits bf, don't bateau x
D8	Sicie	2016/06/03 19:01	2016	749.7308	0		1	23:00	1		ps		peu de kwa
D12	Giens	2016/06/04 18:56	2016	2242.081	0			22:10	1		non identifié		chorus kwa seulement, sons bio? Intéressants
D16	Bormes	2016/06/05 18:44	2016	3033.963	1	21:10	1	22:00	1	21:10			
D20	CapLardier	2016/06/06 18:28	2016	1241.897	1	18:40	1	22:00	1	22:00 chorus	dsps		
D24	Bonneau	2016/06/08 19:00	2016	574.8642	1	20:00 vs	1	22:00	1	20:06, chorus 22:00			bateau x!
D28	CapRoux	2016/06/09 17:13	2016	1213.226	0		1	22:00	1	22:00 chorus			juste chorus kwa, pas de proches, bruit bf
D32	GalleJuan	2016/06/10 18:38	2016	862.1149	0		1	22:00	1	22:00:00 chrous	dsps	22:00-23:00	chorus kwa, pas de proches, peu de ophi
D36	Bacon	2016/06/11 18:15	2016	1064.496	1	21:30	0		0		dsps	01:05?	corb peut-être avant 21:30, peut-être mérou?
D40	TombantAméricains	2016/06/12 16:25	2016	282.0802	0		0		0		dsps, ds-fpt	20:50	
D44	Eze	2016/06/13 18:47	2016	1338.505	0		1	21:51	1	chorus 21:20:00			pas de kwa individuellement
D47	CapMartin	2016/06/15 19:56	2016	726.4304	0		1	21:49	0		dsps, lds, ds		
D50					0		0		0				pas exploitable, trop de strumming
D54					0		0		0		ldsps, ds, ps		strumming
D57					0		1	22:20	0				bruits bf
D1	Agriates56	2017/06/03 18:10	2017	4082.963	0		1	21:30	0		ps 1000Hz, ps 600Hz		dauphins, ps hf, ophi jusqu'au petit matin
D5	Bastia62	2017/05/31 17:40	2017	2921.929	1	19:00	0		0		ps 1000Hz, ~22:40		chorus de corb après 20:30 - 23:00
D9	CapoRossu56	2017/06/10 18:05	2017	967.5482	0		0		0		ps1000Hz, lps?, lds		
D13	Maccinaggio65	2017/06/02 17:47	2017	4426.887	0		0		0		ps 600Hz, ps 1000Hz		
D17	Parata60	2017/06/12 17:20	2017	902.1396	0		1	21:47	1	20:43	stereotyped ps, ds, grunts		aussi chorus kwa et ophi, bcp de bateaux
D25	Calvi55	2017/06/05 17:00	2017	1430.927	0		1	21:32	0		lt, stereotyped ps, ps		ophi faible rsb, plutot chorus, bateau! Poor
D29	Focolara60	2017/06/09 17:30	2017	1020.666	1	21:23	1	21:23	1		ps, ldsps, lds, ds		corbifable rsb, ophi chorus, qqs kwa très faible rsb, jolis (f)dsps & (f)ds mérou?
D33	Tanco52	2017/05/30 18:00	2017	1794.937	1	19:55	1	21:38	0		lt, ps 600Hz, "grunt" biza lps series @ 1am that seem biological but many!		
D37	Rondinara43	2017/05/29 16:00	2017	5998.738	1	19:00	1	22:30	0		ps600Hz, ps1000Hz, dspt bcp de bruits de bateaux continus, dauphins		

27 Annexe 12 : Etude pilote – construction d'indicateurs environnementaux des herbiers à partir de la production ichtyo-sonore /kwa/

27.1 Contexte et objectifs

A la suite de nos travaux préliminaires sur la description des /kwa/ (Di Iorio et al, 2017) en s'appuyant sur les données du screening de façade 2016 sur les herbiers de posidonie, nous avons quantifié la production sonore du /kwa/ pour établir son potentiel comme « un son indicateur » de l'état des herbiers. Nous avons corrélié la production sonore des /kwa/ à différents paramètres de l'herbier ainsi que les indices de qualité BiPo et EBQI. Cette analyse permet d'identifier quels paramètres acoustiques ou combinaison de paramètres (e.g., nombre de sons, recouvrement, chorus, etc.) peuvent constituer des indicateurs acoustiques de l'état de l'habitat « herbier ».

27.2 Matériel et méthodes

Matériel

Données acoustiques - Pour tous les sites « herbier » du screening CALME 2016 (une nuit par site), une analyse exhaustive des métriques acoustiques des /kwa/ a été effectuée (Figure 51). L'intégration des données 2017 est en cours.

Données environnementales - Afin d'étudier paramètres environnementaux qui pilotent la production des /kwa/ et étudier les liens de la production des /kwa/ avec la qualité environnementale, les métriques acoustiques ont été corrélées et testées en fonction de paramètres environnementaux issus des cartes de biocénoses et des échantillonnages effectués par Andromède Océanologie : densité de faisceaux, pourcentage de recouvrement, taux de broutage, longueur des feuilles, EBQI, BIPO, l'aire de posidonie occupée dans un rayon de 100 m, 300 m, 500 m, 1 000 m autour du point d'écoute, le nombre de biocénoses présentes dans un rayon de 100 m, 300 m, 500 m, 1 000 m autour du point d'écoute.

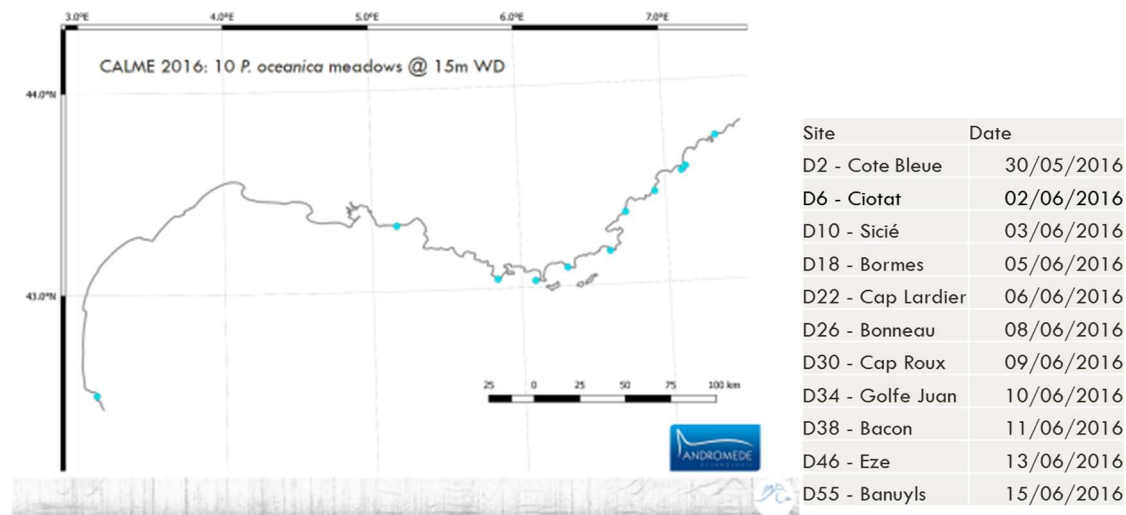


Figure 51 Herbières de posidonies du réseau CALME 2016

Méthodes

L'analyse acoustique comprend différentes composantes qui quantifient les trois niveaux de la production sonore des /kwa/ (Figure 52) :

- La métrique du premier niveau-les sons individualisables a été représentée par le nombre de /kwa/ émis par nuit,
- Les métriques du deuxième niveau-les sons individualisables de masse, comprenaient :
 - o la durée du phénomène de masse,
 - o la bande de fréquence,
 - o le taux de couverture /kwa/.
- Les métriques du troisième niveau-le chorus, phénomène de masse de fond, étaient :
 - o la durée, la bande de fréquence,
 - o les niveaux cumulés et moyens du « nuage » de /kwa/.

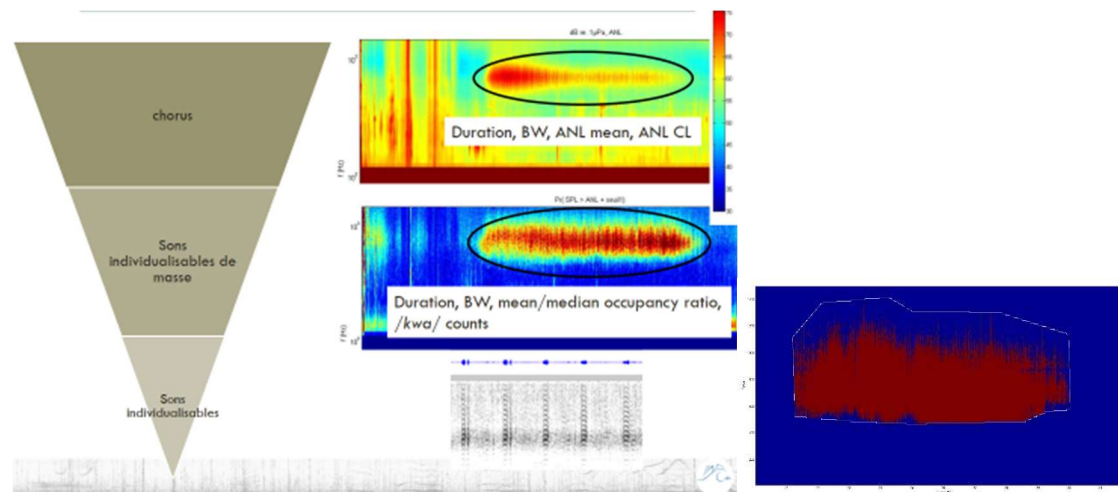


Figure 52 : Les trois niveaux de la production sonore des /kwa/ (gauche) et les métriques acoustiques (droite) avec une image (bleu/rouge) du taux de recouvrement

Les métriques acoustiques ont été corrélées aux paramètres environnementaux. Une ACP avec les métriques acoustiques des sons individualisables de masse (niveaux 1 et 2) et des métriques du chorus (niveau 3) ont été effectuées pour établir le poids de chacune des variables. Un index des niveaux 1 et 2 et un index du niveau 3 ont été créés en utilisant les poids des variables les plus influentes.

Afin d'étudier le lien entre la qualité des herbiers et les métriques et index acoustiques, les herbiers ont été classés par leur état de santé en fonction des indices BiPo et EBQI, comme indiqué dans le tableau qui suit, créant ainsi deux catégories d'herbiers, les bons et moins bons. Les métriques et indexes acoustiques ont été testées en fonction de ces deux « classes » d'herbiers.

Site	EBQI	BIPO	EBQI.level	BIPO.level
D2	3.51	0.45	bas	ok
D6	4.060	0.553	bas	bon
D10	3.71	0.702	ok	bon
D18	4.8	0.675	ok	bon
D22	3.72	0.625	ok	bon
D26	3.58	0.447	bas	ok
D30	4.72	0.663	ok	bon
D34	2.92	0.435	bas	ok
D38	3.33	0.418	bas	ok
D46	3.37	0.507	bas	ok
D55	4.5	0.437	ok	ok

EBQI:
 bad: < 3.5
 Mediocre: 3.5 – 4.5
 Ok: 4.5 – 6
 Bon: 6 – 7.5
 Très bon: > 7.5

BiPo:
 bad: 0-0.1
 Mediocre: 0.1-0.325
 Ok: 0.325-0.55
 Bon: 0.55-0.775
 Très bon: 0.775-1

27.3 Résultats

Les paramètres acoustiques corrélient positivement principalement avec l'aire de posidonie (en m²) dans un rayon jusqu'à 300m et le pourcentage de recouvrement de l'herbier et négativement avec le nombre de biocénoses dans

ce rayon. Les paramètres acoustiques du chorus de /kwa/ semblent moins corrélier avec les métriques des /kwa/ individualisables. L'indice de régression, qui représente un indice surfacique et qui pourrait être en lien avec les métriques du chorus, qui est également surfacique a été inclus dans les analyses mais n'est pas représentatif car il a été calculé pour 5 herbiers seulement jusqu'à présent. Ces corrélations montrent en fort lien entre le /kwa/ et l'herbier de posidonie.

Table des régressions entre métriques acoustiques et paramètres environnementaux

	EBQI	BIPO	Dens.faisceaux	pc.Recouvrement	pc.brouillage	Longueur.feuilles.cm	Dist.coast	Posi.area.100	Posi.100m	N.Biocen.100	Posi.area.300	Posi.area.500	Posi.500m	Posi.area.1000	Posi.1000m	Indice.regression
duration	-0.3	0.10909091	-0.18181818	0.8090909	-0.05454545	0.45454545	0.01818182	0.50909091	0.449560204	-0.2354408	0.4	0.4	0.38181818	0.35454545	0.29090909	-0.1
BW	0.13636364	0.32727273	0.52727273	0.3454545	-0.109090909	0.31818182	0.13636364	0.7	0.678927655	-0.32019949	0.65454545	0.38181818	0.42727273	0.51818182	0.24545455	0.2
kwa.tot	0.11818182	0.45454545	0.33636364	0.8090909	-0.172727273	0.56363636	0.09090909	0.70909091	0.697277051	-0.51796977	0.66363636	0.48181818	0.49090909	0.42727273	0.38181818	0.3
kwa.min	0.09090909	0.5	0.47272727	0.7090909	-0.009090909	0.51818182	0.03636364	0.7	0.678927655	-0.55093148	0.70909091	0.48181818	0.5	0.5	0.37272727	0.4
TCTF.median	0.18721656	0.26484294	0.3561681	0.6255773	-0.324204293	0.36073435	0.21004785	0.68037239	0.723509987	-0.62913879	0.71233619	0.64840859	0.63927607	0.57991472	0.64840859	-0.1
TCTF.mean	0.23636364	0.41818182	0.37272727	0.6363636	-0.145454545	0.48181818	0.01818182	0.57272727	0.596355373	-0.57447556	0.60909091	0.48181818	0.47272727	0.4	0.47272727	0.3
duration.ANL	-0.35454545	0.18181818	0.04545455	0.6909091	-0.018181818	0.35454545	-0.2	0.47272727	0.42203611	-0.16009975	0.37272727	0.21818182	0.2	0.2	0.18181818	0
BW.ANL	-0.03189074	0.45102623	0.46013787	0.6697056	0.09567223	0.5785892	0.13667461	0.84738261	0.832203699	-0.6961343	0.89294081	0.72893128	0.73804292	0.7334871	0.64237069	-0.1
ANL.mean	-0.21818182	-0.19090909	-0.15454545	-0.1272727	-0.590909091	-0.3	0.23636364	-0.12727273	-0.04587349	0.409667	-0.04545455	0.12727273	0.05454545	0.01818182	0.20909091	-0.3
ANL.CL	-0.08181818	-0.28181818	-0.15454545	-0.3181818	-0.554545455	-0.3	0.06363636	-0.07272727	0.009174698	0.409667	-0.03636364	0.13636364	0.06363636	0.04545455	0.23636364	-0.4

Les indices acoustiques ont été calculés en utilisant le poids (en %) des métriques dans l'ACP. Après normalisation des métriques acoustiques, un index a été créé pour les /kwa/ individualisables et un index pour le chorus :

- /kwa/ individualisables : TC.index = Nombre total de /kwa/ + recouvrement médian + aire de recouvrement
- /kwa/ chorus : ANL.index = durée du chorus + Niveau cumulé du chorus + bande de fréquence du chorus

Les indices acoustiques ne semblent pas corrélérer linéairement avec les indices BiPo et EBQI. Ils corréleraient cependant avec le pourcentage de recouvrement, la longueur des feuilles (légèrement) et l'aire de posidonie (Figure 53, Figure 54). L'index des chorus est négativement corrélé (-0.7) avec l'indice de régression, mais plus de données d'indices de régressions sont nécessaires pour confirmer ce résultat.

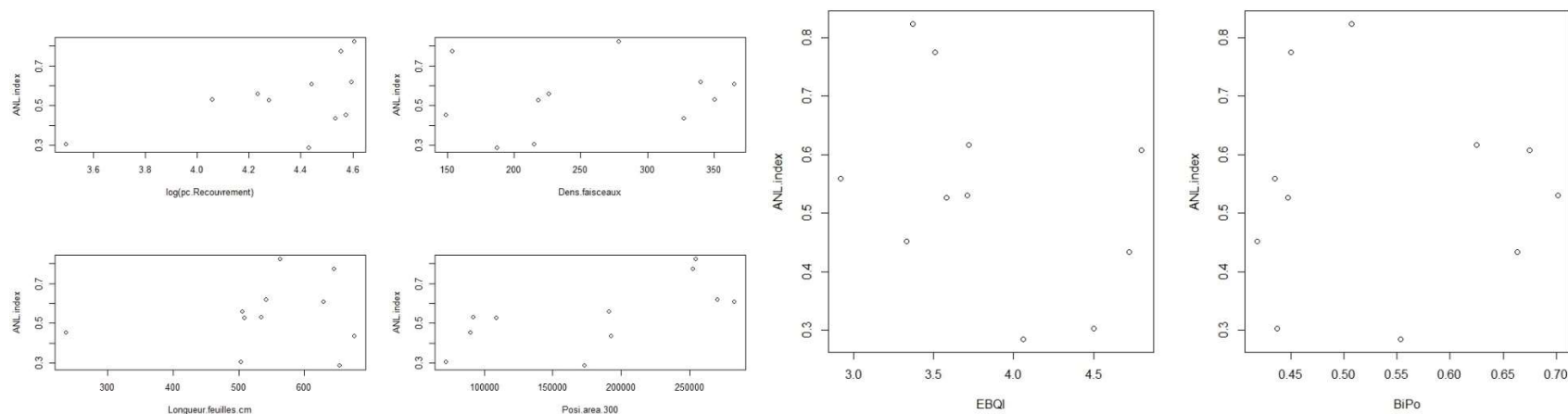


Figure 53 : Corrélations entre l'index des chorus, les paramètres environnementaux et les indices de qualité des herbiers

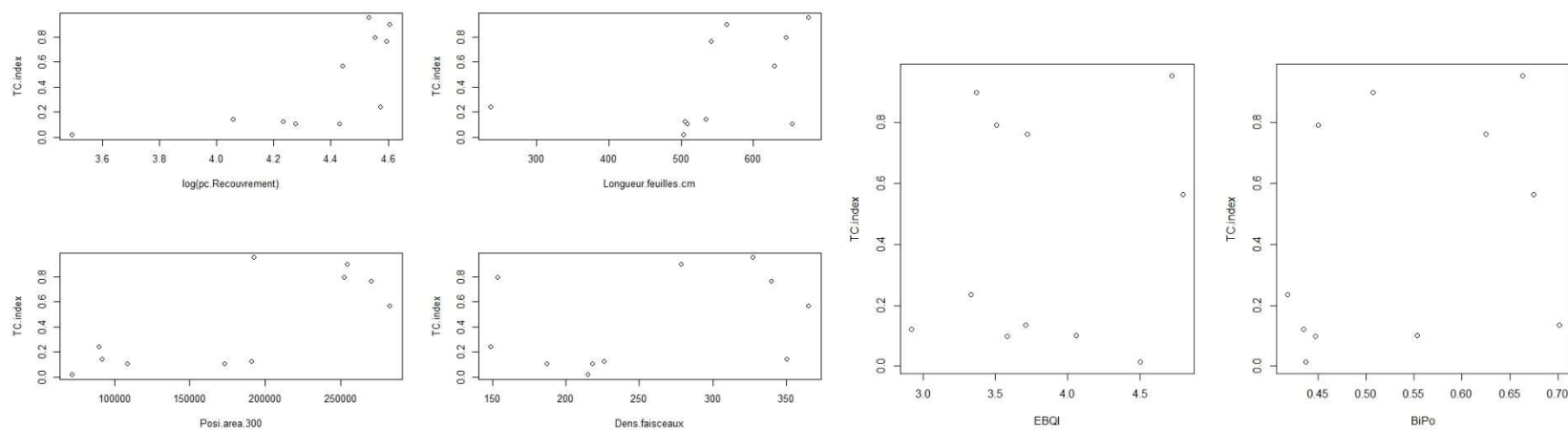


Figure 54 : Corrélations entre l'index des chours, les paramètres environnementaux et les indexes de qualité des herbiers

Cependant, l'analyse des métriques et indexes acoustiques en fonction de la catégorie de qualité (bon, moyen) des herbiers montre un lien fort avec le niveau de de qualité de l'herbier, surtout par rapport aux métriques des /kwa/ individualisables. Pour les métriques des chorus, seuls les niveaux moyen et

cumulés des chorus sont statistiquement plus forts dans les herbiers en bonne santé que ceux de santé moyenne, mais seulement pour le BiPo, pas pour le EBQI (BiPo, Fig. 19).

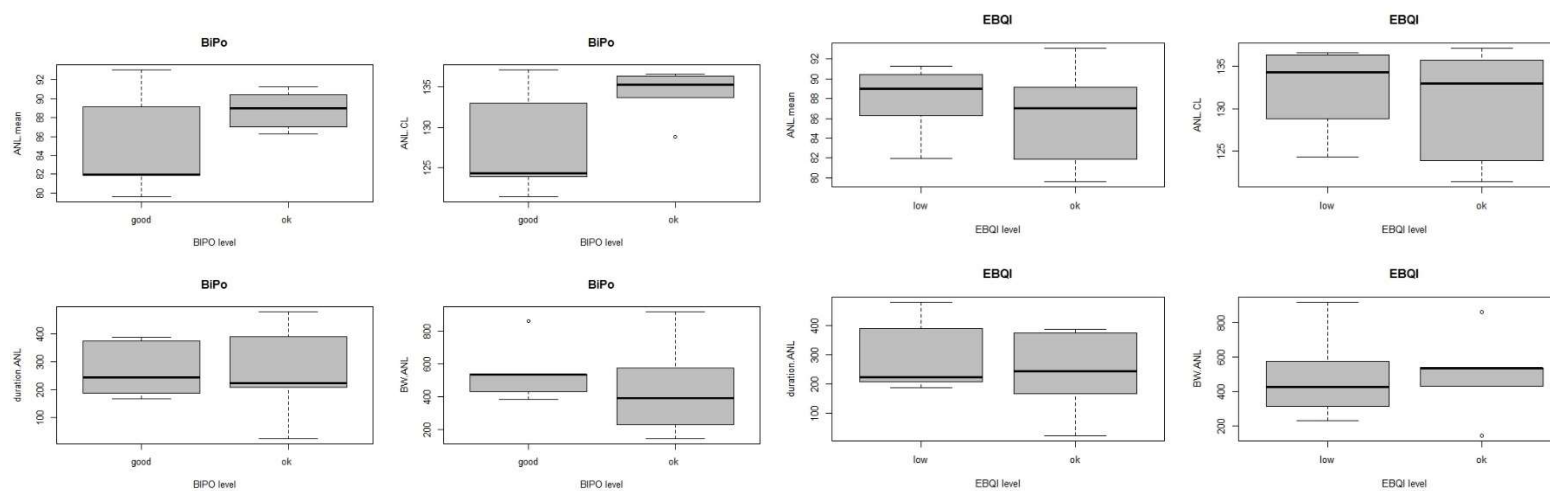


Figure 55 : Diagrammes moustaches indiquant les valeurs des métriques acoustiques des chorus en fonction du niveau de santé des herbiers (BiPo en haut, EBQI en bas).

Toutes les métriques acoustiques des /kwa/ individualisables ont des valeurs supérieures dans les herbiers en meilleure santé (Figure 56).

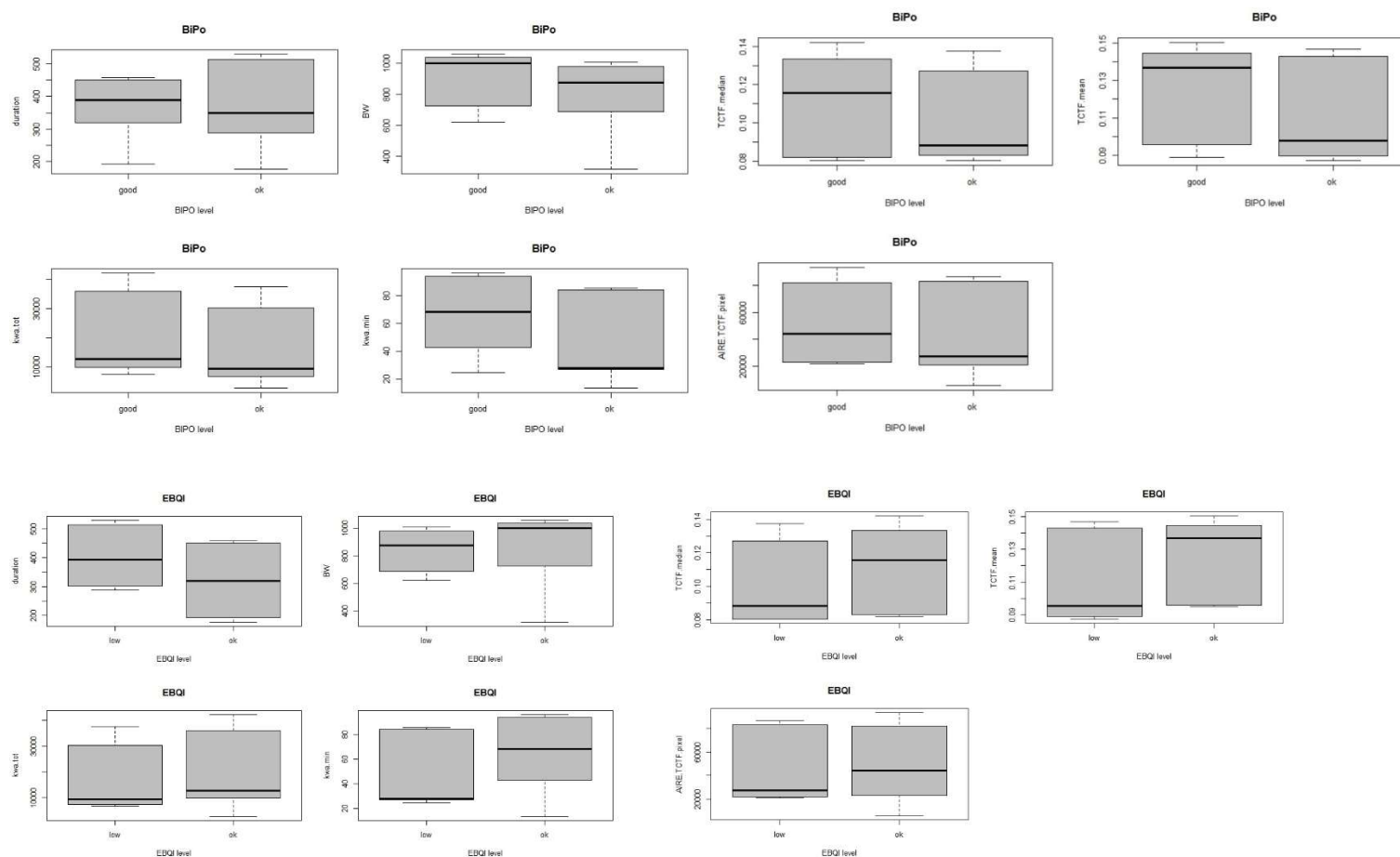


Figure 56 : Diagrammes moustaches indiquant les valeurs des métriques acoustiques des /kwa/ individualisables en fonction du niveau de santé des herbiers (BiPo en haut, EBQI en bas).

En termes d'index acoustiques, seul l'indice acoustique des /kwa/ individualisables dépend de la qualité de l'herbier, mais pas l'indice des chorus.

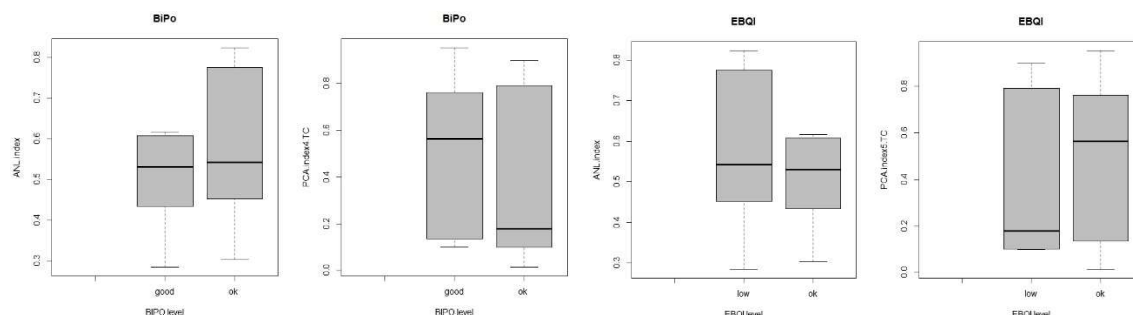


Figure 57 : Diagrammes moustaches indiquant les valeurs des indexes acoustiques en fonction du niveau de santé des herbiers (BiPo à gauche, EBQI à droite).

27.4 Discussion

Les analyses des données 2016 ont permis d'établir un indicateur acoustique des /kwa/ (index des /kwa/ individualisables) qui corrèle avec les descripteurs BiPo et EBQI. Les corrélations ne sont pas linéaires, ce qui implique que l'acoustique est complémentaire. Les paramètres des /kwa/ individualisables représentent ce qui se passe ponctuellement autour de l'hydrophone et dépendent des animaux proches. L'index des /kwa/ individualisables est donc comparable aux index de qualité BiPo et EBQI ainsi que la plupart des paramètres environnementaux qui sont pris ponctuellement, sur une surface limitée. L'index des chorus représente une métrique surfacique, qui regroupe l'ensemble des animaux vocalisant dans l'herbier. Il n'est donc pas surprenant que cette métrique ne corrèle pas avec les index et paramètres ponctuels. En effet, les métriques des chorus et l'index corrélaient avec la surface de posidonie, le pourcentage de recouvrement et possiblement l'indice de régression (négativement). L'ANL.index pourrait donc

fournir des informations complémentaires surfaciques de l'herbier. Des analyses plus approfondies des pilotes environnementaux des /kwa/ sont en cours et seront effectuées aussi sur les données 2015 et 2017.

Un modèle statistique sera implémenté sur les données 2016, puis 2015 et 2017 pour mieux identifier les pilotes des métriques et indexes des /kwa/. Le même type de traitement à la même période a été effectué sur 6 à 10 jours consécutifs dans l'herbier de Calvi. Ces analyses permettront d'estimer la variabilité naturelle des métriques de /kwa/ et établir si les résultats obtenus sur les données CALME ont une variabilité supérieure à la variabilité naturelle, confirmant que le /kwa/ peut servir comme production sonore indicatrice. Des données long-terme obtenues simultanément sur des herbiers en bonne et mauvaise santé (CALME 2018), serviront de validation « ultime » et surtout pour définir la grille des index /kwa/ à implémenter dans le réseau CALME.

