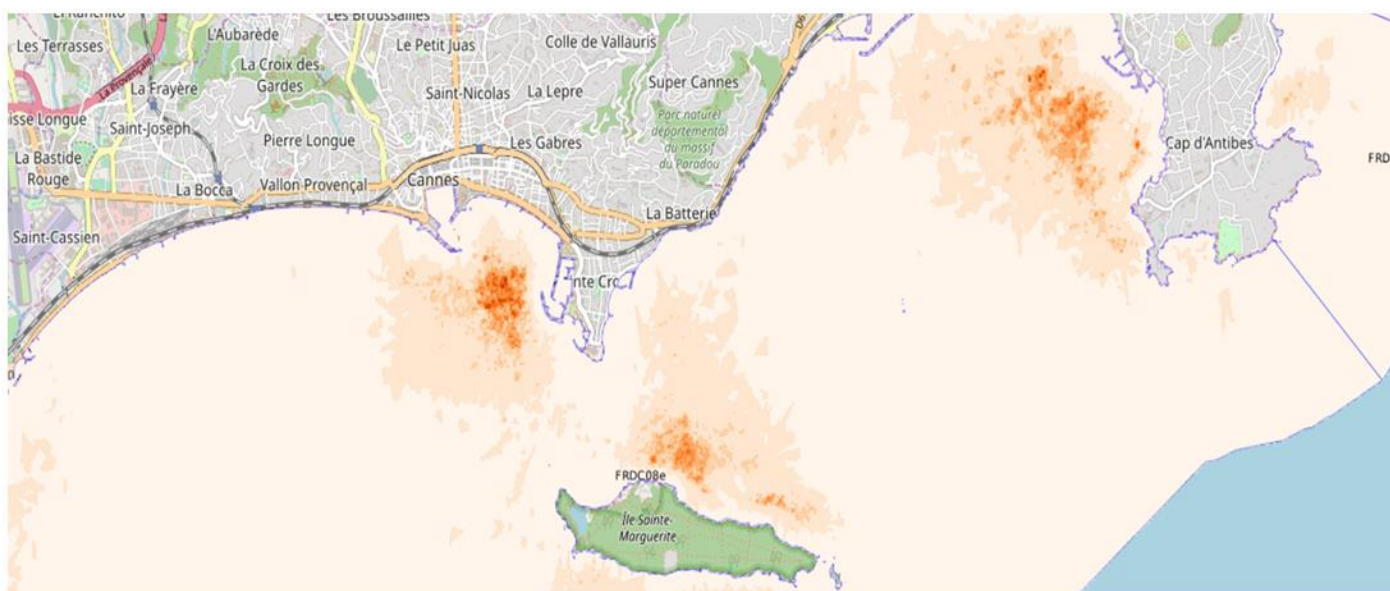


Modélisation des pressions anthropiques côtières IMPACT 2018



ANDROMÈDE
OCÉANOLOGIE

7, place Cassan - Quai des pêcheurs
34 280 Carnon - France
Tél. : 04.67.66.32.48
contact@andromede-ocean.com

SOMMAIRE

1	PRESENTATION D'ANDROMEDE OCEANOLOGIE.....	1
2	HISTORIQUE ET OBJECTIFS DU PROJET.....	2
3	MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS ANTHROPIQUES DE 2014	3
<hr/>		
3.1	Aménagements côtiers	3
3.1.1	Définition	3
3.1.2	Données et méthode de modélisation en 2014	3
3.1.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	4
3.1.4	Cartographie de la pression	5
3.2	Mouillage.....	6
3.2.1	Définition	6
3.2.2	Données et méthode de modélisation en 2014	7
3.2.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	7
3.2.1	Cartographie de la pression	9
3.3	Aquaculture	11
3.3.1	Définition	11
3.3.2	Données et méthode de modélisation en 2014	11
3.3.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	11
3.3.4	Cartographie de la pression	12
3.4	Rejets urbains	13
3.4.1	Définition	13
3.4.2	Données et méthode de modélisation en 2014	13
3.4.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	14
3.4.1	Cartographie de la pression	15
3.5	Effluents industriels.....	16
3.5.1	Définition	16
3.5.2	Données et méthode de modélisation en 2014	16
3.5.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	17
3.5.4	Cartographie de la pression	18
3.6	Usage et dynamique des sols : Urbanisation, agriculture et érosion/aggradation côtière	19
3.6.1	Définition	19
3.6.2	Données et méthode de modélisation en 2014	19
3.6.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	20
3.6.4	Cartographie de la pression	22
3.7	Population	25
3.7.1	Définition	25
3.7.2	Données et méthode de modélisation en 2014	25
3.7.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	26



3.8	Pêche professionnelle hors chalut	27
3.8.1	Définition	27
3.8.2	Données et méthode de modélisation en 2014	27
3.8.3	Données et méthode de Mise à jour en 2018	28
3.8.4	Cartographie de la pression	30
<hr/>		
4	CARTOGRAPHIE DE NOUVELLES PRESSIONS ANTHROPIQUES EN 2018.....	31
<hr/>		
1.	Tourisme balnéaire.....	31
4.1.1	Définition	31
4.1.2	Données et méthode de modélisation.....	31
4.1.3	Cartographie de la pression	33
4.2	Trafic maritime.....	34
4.2.1	Définition	34
4.2.2	Données et méthode de modélisation.....	34
4.2.3	Cartographie de la pression	36
4.3	Pollution par les cours d'eau.....	37
4.3.1	Définition	37
4.3.2	Données et méthode de modélisation.....	38
4.3.3	Cartographie de la pression	39
<hr/>		
5	PERSPECTIVES	40
6	BIBLIOGRAPHIE.....	42
7	ANNEXES	44
<hr/>		
7.1	Annexe 1	44
7.2	Annexe 2	45

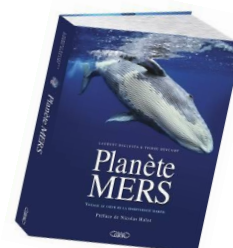
1 PRESENTATION D'ANDROMEDE OCEANOLOGIE

Andromède Océanologie (<http://www.andromede-ocean.com/>) est une société innovante spécialisée dans l'étude et la valorisation de l'environnement marin. Sarl créée en 2008, elle est issue de l'association l'œil d'Andromède qui avait vu le jour dans les années 2000.



Les activités d'Andromède Océanologie sont organisées en trois pôles :

- Un pôle **Ingénierie** dont les capacités d'expertise ont notamment trait à la bathymétrie, la cartographie, l'analyse écologique et la gestion des écosystèmes marins ;
- Un pôle **Recherche & Développement**. En partenariat avec le monde universitaire (Université de Montpellier, MNHN, Université de Liège), académique (CNRS, IRSTEA) et privé, nous participons à des programmes de recherche qui portent sur le développement de techniques innovantes pour l'évaluation, le suivi et l'amélioration de l'état de santé des écosystèmes marins. Andromède Océanologie dispose d'un agrément CIR (crédit impôt recherche) et a plusieurs collaborations actuelles avec des Unités Mixtes de Recherche : MARBEC (MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation), ISEM (Institut des Sciences de l'évolution de Montpellier), TETIS (Territoire, Environnement, Télédétection, Information Spatiale), LIRMM (Laboratoire d'Informatique, Microélectronique et Robotique de Montpellier) ;
- Un pôle **Expéditions scientifiques**, qui vise à développer ses propres projets de connaissance de l'environnement marin à travers notamment la production de films documentaires et l'édition de livres.



Andromède océanologie a toujours investi au maximum de ses possibilités dans la formation et les outils de l'océanologie moderne (systèmes acoustiques, de plongée, d'analyse, etc.). En quinze ans nous avons construit une équipe compacte mais parfaitement opérationnelle et nous disposons d'un parc matériel complet spécifiquement dédié au domaine très spécialisé de l'océanologie.



2 HISTORIQUE ET OBJECTIFS DU PROJET

Depuis 2008 nous avons mis en place des réseaux de surveillance du milieu marin en collaboration avec l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC), notamment les réseaux de surveillance RECOR (récifs coralligènes) et TEMPO (herbiers de posidonie). Nous avons, dans le cadre de ces suivis, produit des données biologiques et écologiques décrivant l'état de santé des écosystèmes marins côtiers.

Pour une gestion efficace de ces écosystèmes, les données biologiques et écologiques d'état doivent être analysées au regard des activités humaines pratiquées sur l'espace maritime et des pressions issues de ces activités, afin de mieux comprendre leurs impacts et d'y apporter les mesures de gestion appropriées (Figure 1). De nombreux travaux ont traité ce sujet dans la dernière décennie, à grande échelle (Halpern et al. 2008), et au niveau régional en Méditerranée (Micheli et al. 2013). Le muséum d'histoire naturelle, et l'agence française pour la biodiversité, travaillent actuellement sur la définition de matrices de scores permettant de faire le lien entre les quatre compartiments du modèle DPSIR (Figure 1) activités humaines – pressions – état – impact pour le milieu marin (Rivière et al. 2015)

Afin de mettre en relation les données de santé avec les activités humaines sur les écosystèmes marins côtiers, nous avons souhaité cartographier finement les pressions côtières. C'est ainsi qu'a été mis en œuvre le projet IMPACT en 2014 (www.medtrix.fr), en collaboration avec l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Ces cartographies de pression publiées en 2015 (Holon et al. 2015b), ont fait l'objet d'une thèse (Holon 2015) et nous ont déjà permis de cartographier leurs impacts sur les habitats sous-marins côtiers (Holon et al. 2015b) et d'analyser les données de régression d'herbiers de posidonie (Holon et al. 2018).

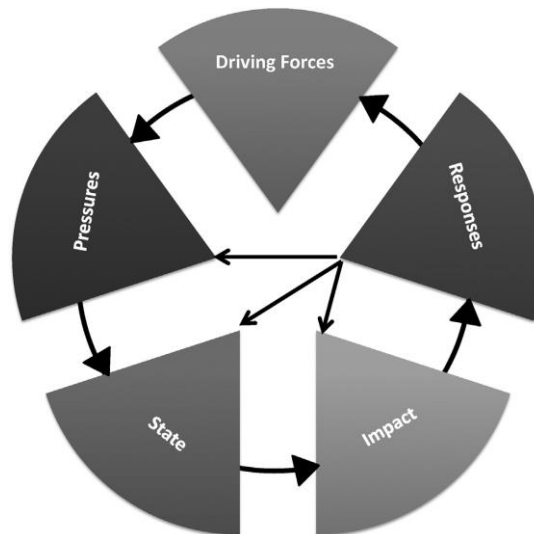


Figure 1 Schéma du cadre conceptuel DPSIR (Oosterwind et al. 2016)

A plusieurs reprises, notamment lors de colloques avec des scientifiques et des professionnels de la mer et/ou d'échanges avec les utilisateurs de la plateforme Medtrix, nous avons identifié le besoin de mettre à jour ces cartes de pression, d'identifier et de modéliser d'autres pressions anthropiques importantes, et de produire un guide clair sur les données et la méthodologie utilisées.

Ce rapport présente les cartographies des pressions anthropiques mises à jour avec les dernières données accessibles, la méthodologie détaillée utilisée pour cette mise à jour, ainsi que les nouvelles pressions modélisées en 2018.

3 MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DES PRESSIONS ANTHROPIQUES DE 2014

Les cartes de pressions sont **bornées entre 0 et 1** (0 = pression absente ; 1 = pression maximale observée), avec une **résolution de 20 m x 20 m** sur l'ensemble des masses d'eau côtière de Méditerranée française.

3.1 AMENAGEMENTS COTIERS

3.1.1 DEFINITION

Les aménagements côtiers (ports, digues, avancées sur la mer, plages artificielles) sont responsables de la destruction irréversible d'habitats marins et représentent une atteinte à la biodiversité marine. En effet, ces aménagements ont un effet direct par la suppression d'habitats sur leur emprise, et des effets indirects à plus ou moins grande distance (Montefalcone et al. 2007) à travers la modification des conditions hydrodynamiques locales qui affecte le régime sédimentaire. Les distances maximales d'impact ont été estimées à plusieurs kilomètres à partir de cartographies historiques du littoral de Méditerranée française (Holon et al. 2015a).



Figure 2 : Digues, épis et port de Palavas (@Google)

3.1.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons utilisé les données du réseau MEDAM (www.medam.org), qui recense tous les aménagements côtiers de Méditerranée française : linéaire de côte anthropisée et inventaire des ouvrages de plus de 100 m² (Université Nice Sophia Antipolis - Laboratoire ECOMERS 2013).

Sur la base de ces données, un impact de 100 a été assigné au droit des ouvrages recensés, et une valeur de 0 à distance suffisante de l'ouvrage, avec une décroissance en fonction de la taille des ouvrages :

- Rayon d'influence de 15 km, décroissance exponentielle pour les gros ports ;
- Rayon d'influence de 5 km, décroissance exponentielle pour les autres ports ;



- Rayon d'influence de 3 km, décroissance exponentielle pour les ports de refuges et plages artificielles ;
- Rayon d'influence de 1 km, décroissance exponentielle pour les pontons, épis et terre-pleins.

Par ailleurs, l'effet de la bathymétrie est pris en compte : la valeur d'influence est diminuée de 10 % par tranche de 10 m de profondeur.

3 . 1 . 3 D O N N E E S E T M E T H O D E D E M I S E A J O U R E N 2 0 1 8

La mise à jour de la carte de pression des aménagements côtiers a été réalisée en utilisant la base de données MEDAM, mise à jour en 2016 (www.medam.org).

Une catégorie de pression a été assignée à chaque aménagement en fonction du type d'ouvrage :

- Catégorie 1 pour les plus gros ports (Marseille, Toulon, La Seine-sur-mer et Fos-sur-Mer) ;
- Catégorie 2 pour les autres ports ;
- Catégorie 3 pour les ports abris et plages artificielles ;
- Catégorie 4 pour les pontons, épis et terre-pleins.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité = 1) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0). Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent du type d'ouvrage. Une Revue bibliographique des publications les plus récentes a été réalisée, n'entraînant pas de réévaluation des rayons d'influence depuis 2014. Le rayon d'influence est donc de 15 km pour la catégorie 1, 10 km pour la catégorie 2, 3 km pour la catégorie 3, et 1 km pour la catégorie 4.

L'effet de la bathymétrie est pris en compte avec une diminution de 10 % de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.

3.1.4 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

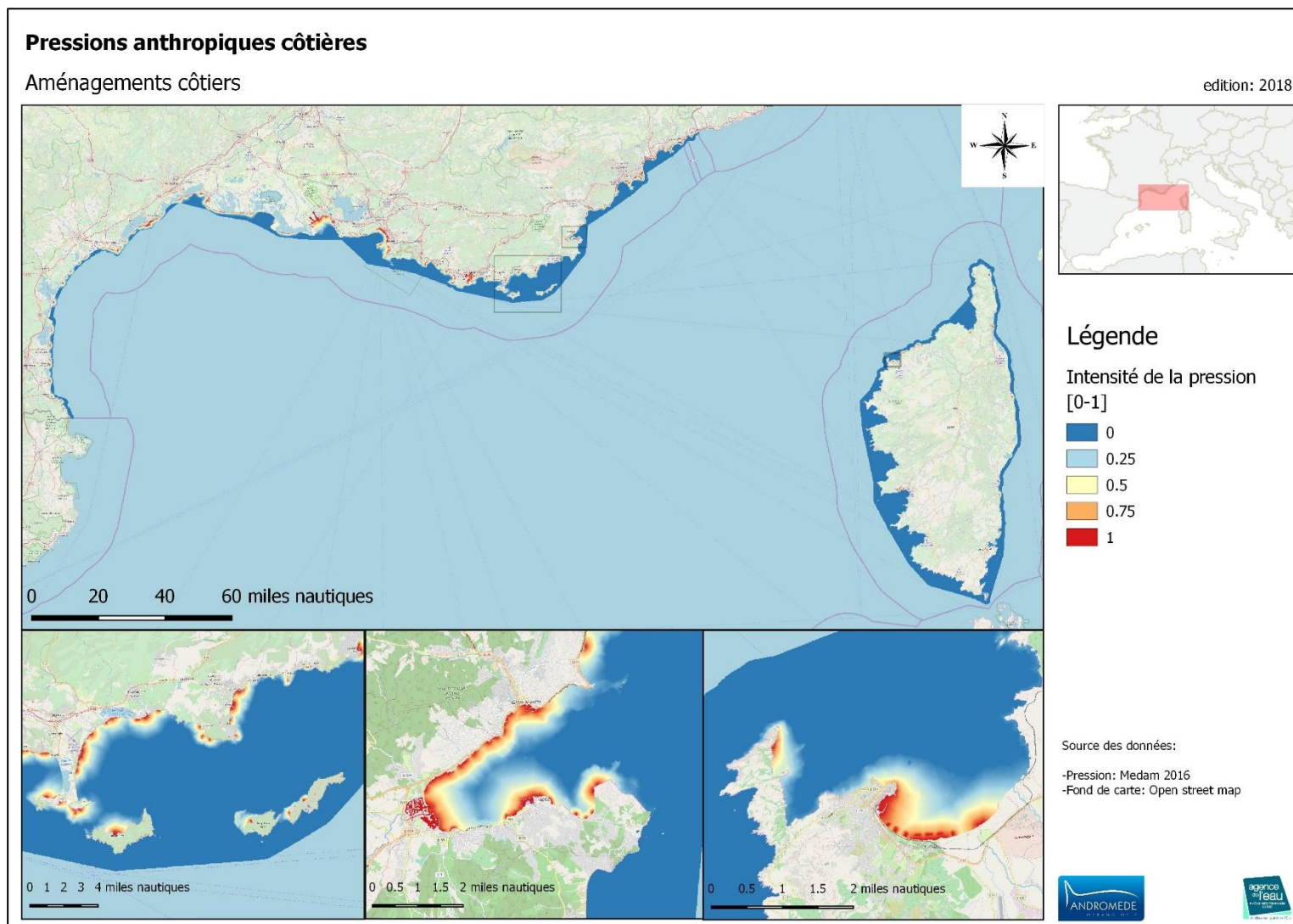


Figure 3 Cartographie de la pression due aux aménagements côtiers

3.2 MOUILLAGE

3.2.1 DEFINITION

Le mouillage à l'ancre cause d'importants dégâts aux habitats marins peu profonds, notamment aux herbiers à posidonie (*Posidonia oceanica*) (Milazzo et al. 2004), l'écosystème le plus riche de Méditerranée. La sensibilité et la croissance annuelle centimétrique de la posidonie en font un habitat tout particulièrement vulnérable. Sur une zone de mouillage fréquentée, les ancres et les chaînes des bateaux arrachent les faisceaux et les rhizomes de posidonie à un rythme bien supérieur à leur capacité de régénération (Boudouresque et al. 2012).

Les figures 4 et 5 illustrent les impacts du mouillage sur les herbiers de posidonie.



Figure 4 : Dégâts d'une ancre sur un herbier de posidonie (©Andromède Océanologie)

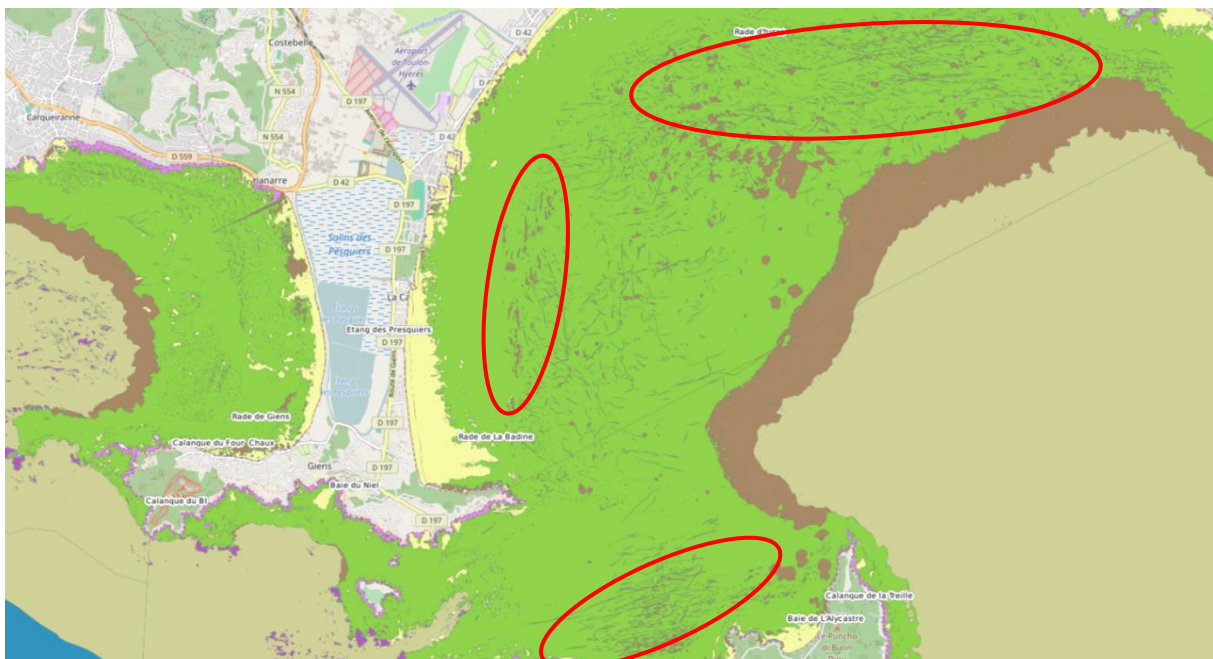


Figure 5 : Traces de mouillage (traits marrons entourés de cercles rouges) sur la cartographie des biocénoses (vert = herbier de posidonie ; marron = matte morte) en rade d'Hyères (Source : application Donia ®)

3.2.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons utilisé les données MEDOBS, Observatoire Aérien de la Méditerranée -Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (www.medobs.fr), un réseau de suivi aérien des pressions anthropiques en mer, notamment la pression de mouillage sur les zones les plus fréquentées.

Le nombre de bateaux par catégorie de taille (<20 m ou >20 m) ont été comptés à partir de prises de vues aériennes en été, complétées par des images satellites. Les zones de mouillage ont ensuite été catégorisées en trois classes en fonction du nombre moyen de bateaux : (1) <100 bateaux, (2) >100 et <200 bateaux, (3) >200 bateaux. Un incrément vers la catégorie supérieure a été fait en fonction du nombre de bateaux supérieurs à 20m.

La valeur de pression a ensuite été calculée de la manière suivante :

- valeur maximale au niveau du mouillage, avec un rayon d'influence de 1 km et une décroissance exponentielle dont la loi dépend de la catégorie de mouillage (1, 2 ou 3) ;
- Prise en compte de la bathymétrie avec un impact croissant entre 0 et -5m, un impact maximal entre -5 et -15m, et un impact décroissant entre -15 m et -45 m avec une diminution de 10 % par tranche de 10 m de profondeur.

3.2.3 DONNEES ET METHODE DE MISE A JOUR EN 2018

Pour la mise à jour, deux cartes de pression de mouillages ont été produites : une carte pour la petite plaisance (navires jusqu'à 20 m de long), et une carte pour le mouillage des grosses unités.

Pour chacune des deux cartes, les zones interdites au mouillage ainsi que les zones de mouillage organisé sont soustraites de l'analyse.



i) La mise à jour de la carte de pression des mouillages de la **petite plaisance** a été réalisée en utilisant les données du réseau MEDOBS, hors grande plaisance, à jour (données jusqu'à 2016). Ce réseau consiste en une série de survols du littoral ayant lieu chaque année, afin notamment de localiser et dénombrer les bateaux au mouillage durant les mois de forte fréquentation (www.medobs.fr).

Les zones de mouillage ont été séparées en trois catégories : 1 : zone de mouillage avec densité maximale de moins de 0.5 bateaux/100 m²; 2 : zone de mouillage avec entre 0.5 et 1 bateau/100 m²; 3 : zone de mouillage avec plus de 1 bateau/100 m².

Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent de la catégorie de la zone de mouillage. Une Revue bibliographique des publications les plus récentes a été réalisée, n'entraînant pas de réévaluation des rayons tampons depuis 2014. Le rayon tampon est égal à 1 km pour toutes les catégories, ce rayon permet d'étendre les zones d'observation qui ne sont pas exhaustives.

Les valeurs maximales d'intensité de pression attribuées aux différentes catégories de zone de mouillages sont : 1 pour la catégorie 3, 0.75 pour la catégorie 2, et 0.5 pour la catégorie 1.

L'effet de la bathymétrie est pris en compte avec une influence décroissante entre -15 m et -45 m avec une diminution de 10 % par tranche de 10 m de profondeur. Cette atténuation permet de tenir compte, dans les polygones d'observation, de la propension des petits navires à jeter l'ancre plutôt dans les fonds de moindre profondeur.

ii) La donnée AIS (« Automatic Identification Signal ») ne permet pas de détecter l'intégralité des navires au mouillage, mais cette estimation se rapproche de la réalité pour les navires de grande taille (>50 m) (Deter et al. 2017).

Pour la carte du mouillage des grandes unités (>24m), les données AIS (Automatic Identification System) ont donc été utilisées sur les années 2016 à 2018 ; renseignant la taille, la position, la vitesse et le cap des navires équipés.

Les polygones de pressions de mouillage sont extraits à partir des positions AIS successives (Deter et al. 2017).

Cette carte utilise le nombre d'heures cumulées au mouillage sur un même pixel (grille de 20 m x 20 m) afin de définir la valeur de pression de mouillage. La valeur de pression s'étend entre 0 et 1 avec une pression maximale de 1 équivalant à au moins un bateau présent en permanence sur la zone.

Pressions anthropiques côtières

Mouillage petite plaisance

edition: 2018



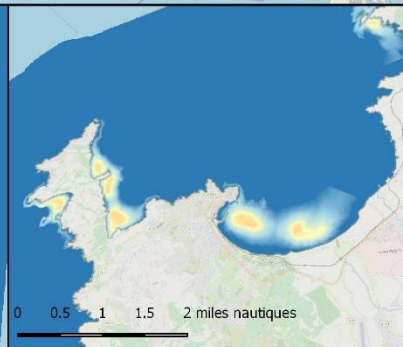
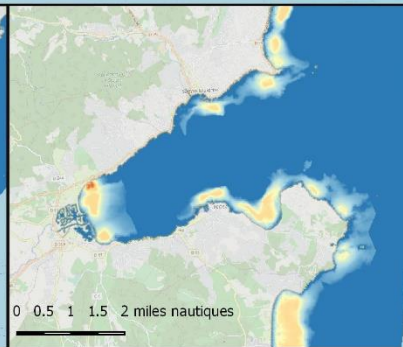
Légende

Intensité de la pression
[0-1]



Source des données:

- Pression: Medobs, sea-seek, Google earth
- Fond de carte: Open street map



Pressions anthropiques côtières

Mouillage grandes unités

edition: 2018

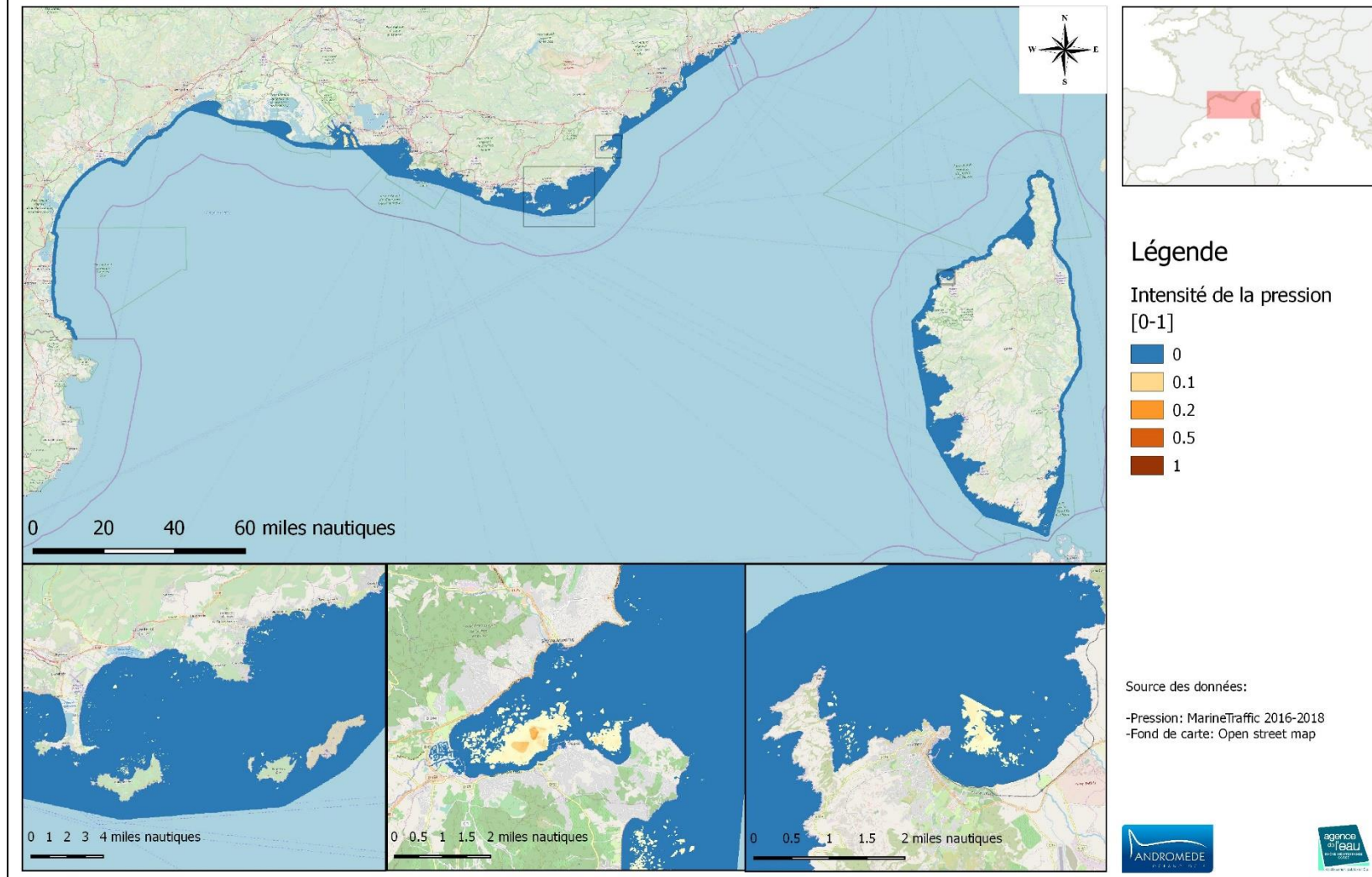


Figure 7 Cartographie de la pression due au mouillage des grandes unités

3.3 AQUACULTURE

3.3.1 DEFINITION

Les fermes aquacoles, généralement proche des côtes, produisent des poissons, des mollusques, des crustacés ou des plantes aquatiques. La forte densité d'organismes dans ces fermes, la quantité importante d'aliments d'élevage et les matériaux utilisés constituent autant de pollutions diffuses qui peuvent nuire aux écosystèmes marins environnants. Une revue bibliographique sur les impacts de l'aquaculture sur le milieu marin a permis de recenser cinq risques : introduction d'espèces, apport important de matière organique au milieu, transfert de pathogènes, d'antibiotiques et d'autres produits liés au fonctionnement de la ferme, et la dégradation génétique des populations sauvages. L'apport excédentaire de matière organique et de nutriments est le principal problème : il conduit à une eutrophisation locale qui diminue la luminosité, produit des dérivés sulfurés qui engendrent une hypoxie du sédiment. Les communautés benthiques et particulièrement les herbiers sont dégradés par ces conditions modifiées. Des impacts sur la croissance des herbiers ont été mesurés jusqu'à 800 m des fermes (Marba N. et al. 2006), et une croissance anormale d'épiphytes jusqu'à 3 km (Ruiz et al. 2010).

3.3.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons utilisé une base de données des fermes aquacoles fournie par l'Agence de l'Eau et Ifremer, et complétée par la recherche de nouvelles entreprises dans l'annuaire et par l'analyse de photos aériennes. Les fermes ont été classées en deux catégories : grandes ou petites (< ou > 3977 m²) en utilisant la méthode de classification de Jenks.

La valeur d'impact a ensuite été calculée de la manière suivante :

- 100 au droit de chaque ferme aquacole ;
- Rayon d'influence de 500m pour les plus petites, avec une décroissance exponentielle ;
- Rayon d'influence de 1000m pour les plus grandes, avec une décroissance exponentielle.

Par ailleurs, l'effet de la bathymétrie est pris en compte : la valeur d'impact est diminuée de 10% par tranche de 10m de profondeur.

3.3.3 DONNEES ET METHODE DE MISE A JOUR EN 2018

La mise à jour de la carte de pression de l'aquaculture a été réalisée au moyen d'une vérification de l'exhaustivité de la base de données des fermes aquacoles à partir d'une revue bibliographique et des images satellites les plus récentes disponibles sur GoogleEarth.

Une catégorie de pression a été assignée à chaque station aquacole en fonction de sa surface, catégorie 1 pour les plus grandes stations (>9275 m², définie par la méthode des ruptures naturelles « jenks »), et catégorie 2 pour les plus petites (≤ 9275 m²).

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité = 1) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0).

Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent de la catégorie de pression. Une revue bibliographique des publications les plus récentes a été réalisée, n'entraînant pas de réévaluation des rayons d'influence depuis 2014. Le rayon d'influence est donc de 1 km pour la catégorie 1, et 500 m pour la catégorie 2.

L'effet de la bathymétrie est pris en compte avec une diminution de 10% de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.

3.3.4 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

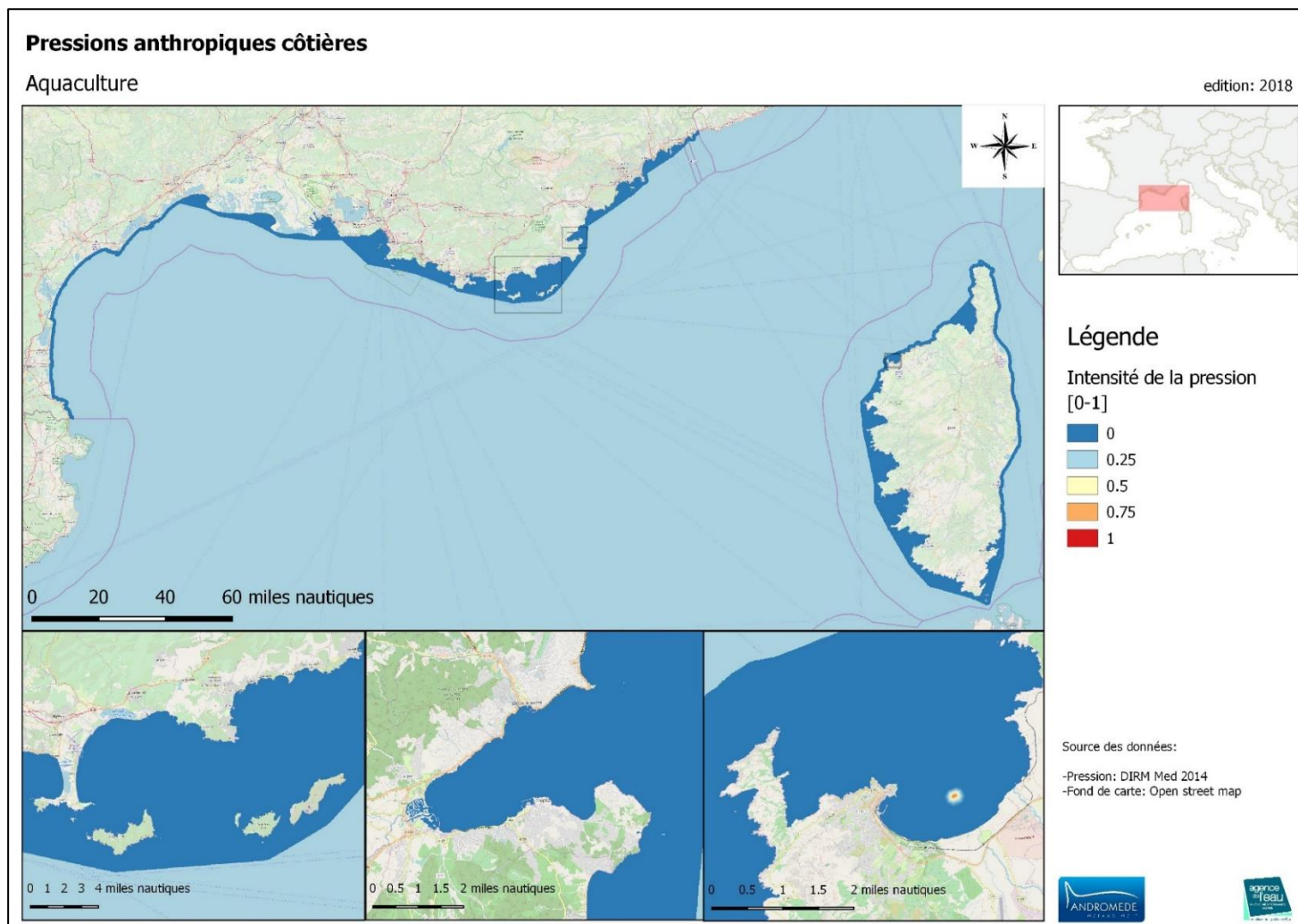


Figure 8 Cartographie de la pression due à l'aquaculture

3.4 REJETS URBAINS

3.4.1 DEFINITION

Les effluents urbains sont généralement rejetés par des émissaires en mer à des endroits de forte activité hydrodynamique afin de garantir leur dilution. Le rayon d'influence des émissaires est très variable en fonction des caractéristiques hydrodynamiques de chaque zone de rejet, mais les effets sont clairement négatifs sur les habitats marins, et tout particulièrement sur les herbiers de posidonie. Sur des fonds meubles, un rejet pourrait influencer les communautés benthiques jusqu'à 8 km de l'émissaire (Kress et al. 2004).



Figure 9 : Émissaire de Golfe Juan (©Andromède Océanologie)

3.4.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons utilisé une base de données des points de rejets fournie par l'Agence de l'eau et Ifremer, complétée et corrigée à partir d'émissaires référencés sur des cartes IGN au 1:25000^{ème}, sur la plateforme Eau France (www.eaufrance.fr) et d'après notre connaissance de terrain. Les débits (m³/j) et équivalent habitants de chaque émissaire ou point de rejet ont été obtenus sur le site <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr>.

Les rejets ont été catégorisés en 5 classes de débit :

- 0) $\leq 1\ 500$ m³/j
- 1)]1 500; 5 000]
- 2)]5 000 ; 10 000]
- 3)]10 000 ; 50 000]
- 4) > 50 000 m³/j

Et en 5 classes d'équivalent habitants :

- 0) $\leq 4\ 000$
- 1)]4 000; 10 000]
- 2)]10 000; 40 000]
- 3)]40 000; 100 000]
- 4) > 100 000

Le rayon d'influence de chaque émissaire a ensuite été calculé sur la base de la moyenne de ces deux classements :

- 1km pour une moyenne de 0 ou 1 ;
- 3km pour une moyenne de 2 ;
- 5km pour une moyenne de 3 ;
- 10km pour une moyenne de 4.

Une loi de décroissance exponentielle est définie pour chaque classe de sorte à avoir une valeur de pression de 100 au droit de chaque émissaire, et 0 à distance supérieure au rayon d'influence. Les conditions hydrodynamiques sont prises en compte pour chaque pixel en soustrayant à la valeur d'impact la force du courant (moyenne Previmer sur 2010-2012, www.previmer.org).

Par ailleurs, l'effet de la bathymétrie est pris en compte : la valeur de pression est diminuée de 10% par tranche de 10m de profondeur.

3 . 4 . 3 D O N N E E S E T M E T H O D E D E M I S E A J O U R E N 2 0 1 8

La mise à jour de la carte de pression des rejets urbains a demandé dans un premier temps la mise à jour de la base de données des émissaires en mer (<http://www.eaufrance.fr/>, <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/>).

La prise en compte du débit et capacité en équivalent-habitant est restée identique à la méthode de 2014. Un facteur de pondération supplémentaire a été rajouté par rapport à 2014 en fonction du type de traitement en place :

- o 0) traitement physico-chimique
- o 1) traitement biologique avec nitrification, dénitrification et déphosphatation
- o 2) traitement biologique avec nitrification et dénitrification ou déphosphatation
- o 3) traitement biologique simple, avec ou sans nitrification
- o 4) Lagunage, Décantation primaire ou fosse toutes eaux

Une moyenne des notes « débit », « équivalent habitants » et « traitement » a été réalisée afin d'attribuer les catégories de pression, de la catégorie 1 pour les rejets les plus impactant à la catégorie 4 pour les rejets les moins impactant.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité = 1) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0).

Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent de la catégorie de rejet. Une Revue bibliographique des publications les plus récentes a été réalisée, n'entraînant pas de réévaluation des rayons d'influence depuis 2014. Le rayon d'influence est donc de 10 km pour la catégorie 1, 5 km pour la catégorie 2, 3 km pour la catégorie 3, et 1 km pour la catégorie 4.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10% de la valeur de pression par tranche de 10m de profondeur

L'effet de la courantologie a été pris en compte avec une atténuation de la valeur de pression en fonction de l'intensité du courant (Ifremer MARC) : la valeur de pression est réduite de 25 % dans le cas d'un courant d'intensité maximale.

3.4.1 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

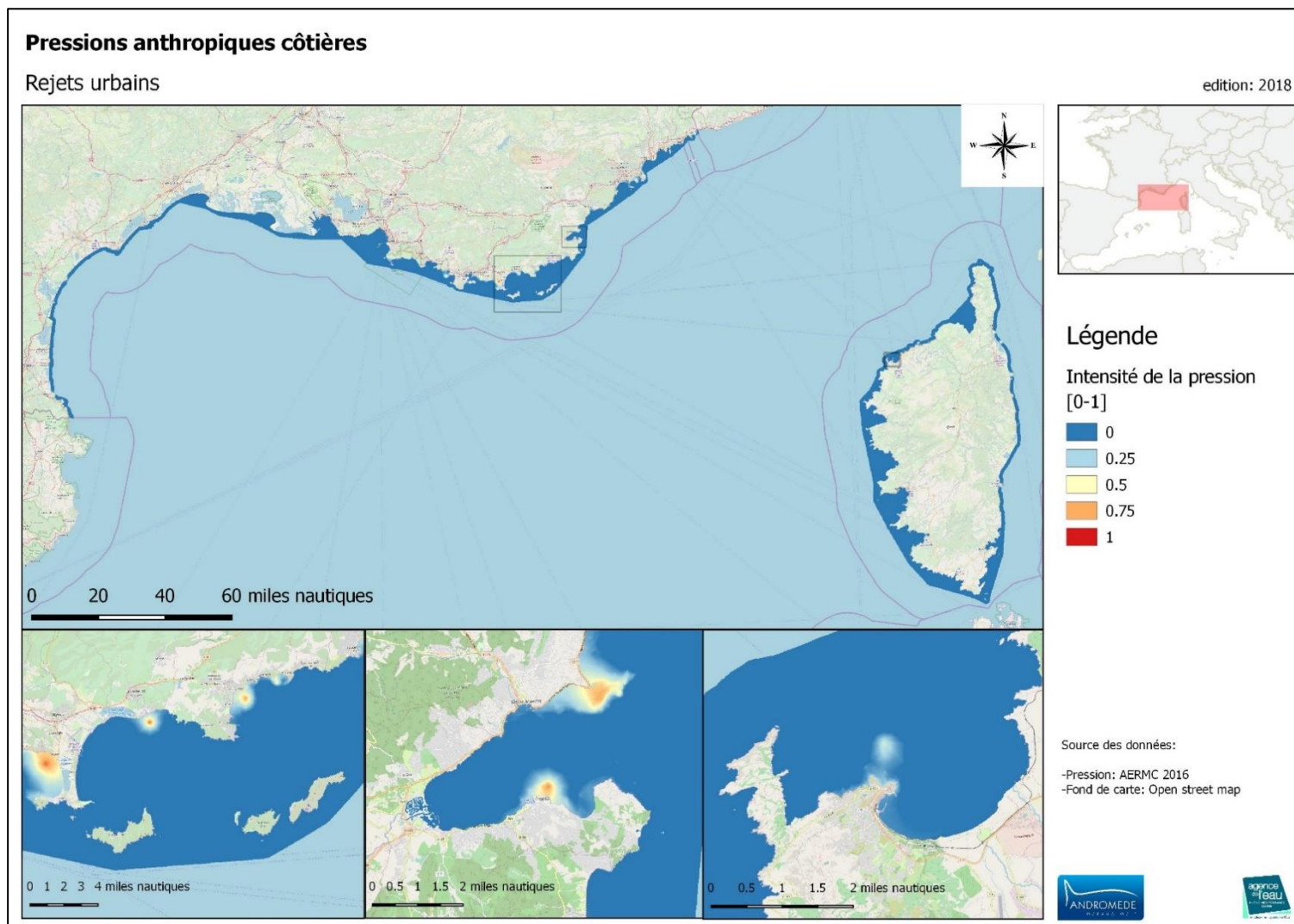
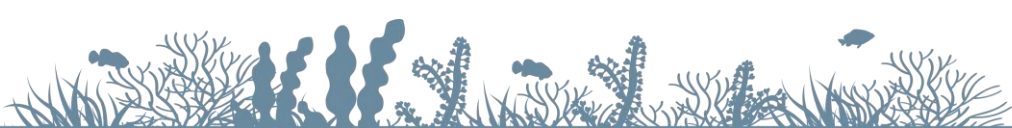


Figure 10 Cartographie de la pression due aux rejets urbains



3.5 EFFLUENTS INDUSTRIELS

3.5.1 DEFINITION

Les industries utilisent l'eau dans leurs systèmes de production, ou encore pour du nettoyage ou de l'entretien. Ces eaux souillées, normalement traitées par les industriels, conservent un taux important de matière organique qui peut être néfaste pour les écosystèmes marins (Jijăescu L. 2009). La quantité de matière organique contenue dans les effluents industriels, comme les effluents urbains, est quantifiée indirectement par ce que l'on appelle la Demande Chimique en Oxygène (DCO), soit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique contenue dans un litre d'eau. Une étude a montré que des herbiers étaient contaminés aux métaux lourds jusqu'à une distance de 5 km de l'émissaire de Canari en Corse (Lafabrie et al. 2009)



Figure 11 : Rejet d'effluents industriels sur la plage (©Ennesys)

3.5.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons utilisé une base de données des rejets industriels fournie par l'Agence de l'Eau et Ifremer (2013). Le rayon d'influence des rejets industriels est, comme pour les rejets urbains, très variable en fonction des conditions hydrodynamiques locales. Le rayon d'influence de chaque rejet a été défini en fonction de sa Demande Chimique en Oxygène :

- 5km pour une DCO < 100 mg/l, avec une décroissance exponentielle ;
- 10km pour une DCO de 100 et 1000 mg/l, avec une décroissance exponentielle ;
- 20km pour une DCO > 1000 mg/l, avec une décroissance exponentielle.

Par ailleurs, l'effet de la bathymétrie est pris en compte : la valeur d'impact est diminuée de 10% par tranche de 10m de profondeur.

3.5.3 DONNEES ET METHODE DE MISE A JOUR EN 2018

La mise à jour de la carte de pression des effluents industriels a demandé dans un premier temps la mise à jour de la base de données des effluents industriels (<https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/>).

Depuis 2007, les flux de polluants sont uniquement disponibles pour les établissements dépassant les seuils réglementaires et donc soumis à suivi régulier (SRR) (<https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/>).

Les rejets industriels situés proche d'un cours d'eau sur une bande de 1 km au droit du littoral sont aussi pris en compte. La catégorie attribuée à ces rejets est pondérée en fonction de la distance linéaire du rejet en amont de l'embouchure (-1 jusqu'à 5 km et -2 pour plus de 5 km).

Les rejets sont donc séparés en trois catégories :

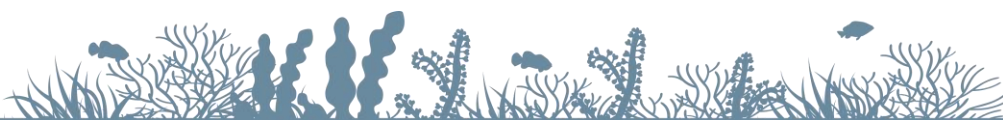
- Catégorie 2 ; soumis à SRR/ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement),
- Catégorie 1 ; non soumis à SRR,
- Catégorie 0 ; rejet de catégorie 2 sur cours d'eau et situé à plus de 5 km en amont de l'embouchure, ou rejet de catégorie 1 sur cours d'eau et situé à moins de 5 km en amont de l'embouchure.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité = 1) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0).

Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent de la catégorie de rejet. Le rayon d'influence est égal à 1 km pour la catégorie 0, 5 km pour la catégorie 1, et 10 km pour la catégorie 2.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10% de la valeur de pression par tranche de 10m de profondeur.

L'effet de la courantologie a été pris en compte avec une atténuation de la valeur de pression en fonction de l'intensité du courant (Ifremer MARC) : la valeur de pression est réduite de 25 % dans le cas d'un courant d'intensité maximale.



3.5.4 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

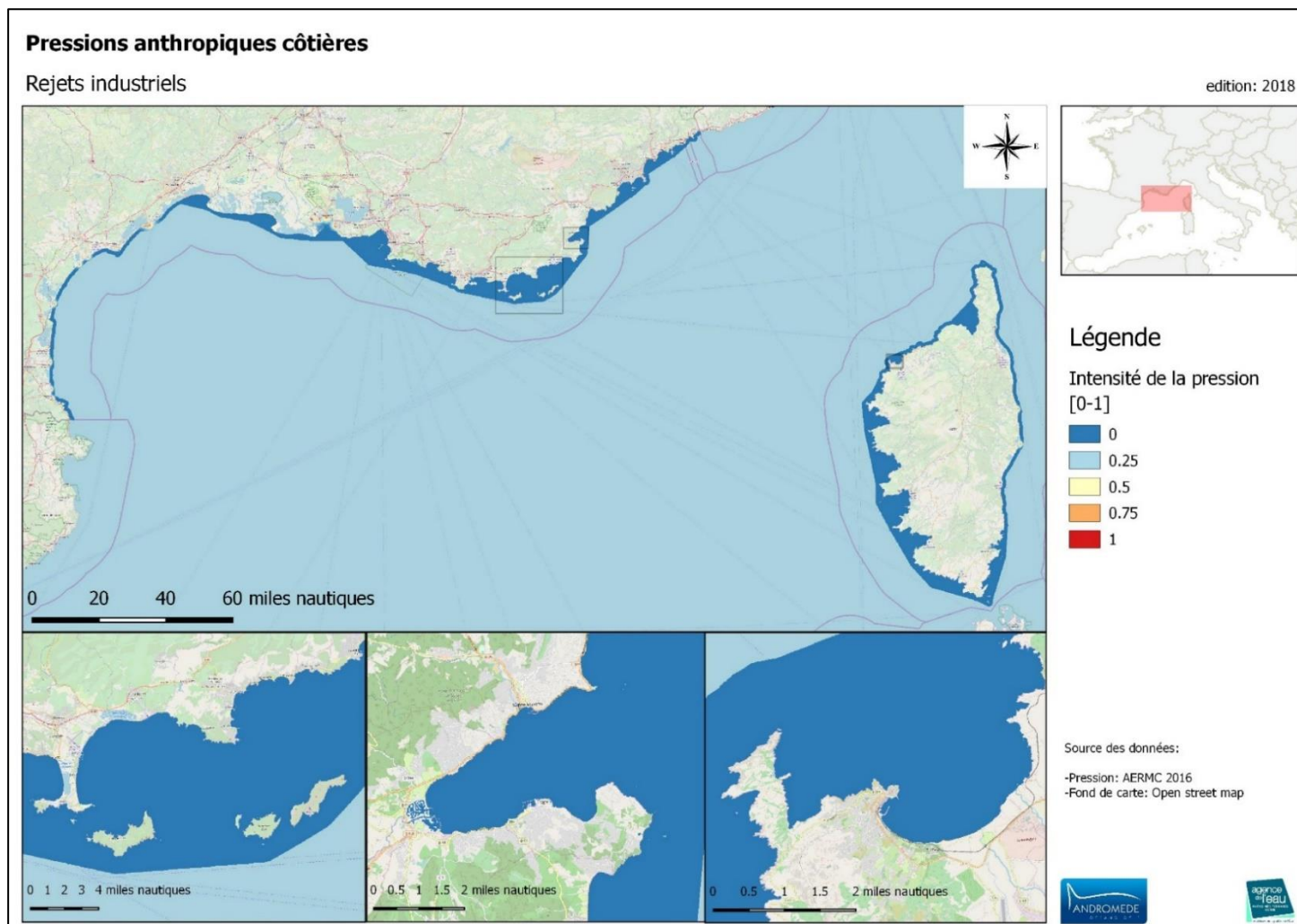


Figure 12 Cartographie de la pression due aux rejets industriels

3.6 USAGE ET DYNAMIQUE DES SOLS : URBANISATION, AGRICULTURE ET EROSION / AGGRADATION COTIERE

3.6.1 DEFINITION

L'urbanisation, par l'artificialisation et l'imperméabilisation des sols, empêche la provision des services écosystémiques des espaces naturels préexistants. Les zones urbaines sont également d'importantes sources de polluants du fait de leur forte activité anthropique (transport, chauffage, industries, déchets,...).

L'agriculture est également une source majeure de pollution pour le milieu marin : les engrais et pesticides utilisés massivement pour la production sont en partie lessivés et acheminés à la mer par les cours d'eau et le ruissellement côtier. Les apports massifs d'engrais peuvent notamment conduire à une eutrophisation des écosystèmes marins côtiers par la production excessive de phytoplancton et d'algues, qui induisent une diminution de l'oxygène disponible pour les autres organismes. De même, les pesticides qui sont drainés jusqu'à la mer représentent un risque toxique pour les organismes marins.

Par ailleurs, les activités et les aménagements anthropiques influencent largement les processus d'érosion et d'aggradation côtière. Ceux-ci représentent donc un indicateur couramment utilisé pour mesurer les impacts anthropiques, conjointement avec l'urbanisation et l'agriculture.



Figure 13 : Urbanisation, agriculture et érosion côtière (source : GoogleEarth, CNRS le journal, et Portail Géolittoral)

3.6.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons utilisé la base de données Corine Land Cover 2006 qui fournit le détail de l'occupation des sols sur tout le territoire, ainsi que les données du projet EuroSION (www.euroSION.org) pour l'érosion côtière sur les côtes françaises. Le rayon d'influence dépend de la pression considérée :

- 10 km pour les zones urbaines ou agricoles, avec une décroissance exponentielle ;
- 20 km pour les zones d'aggradation, avec une décroissance exponentielle ;
- 10 km pour les zones d'érosion, avec une décroissance exponentielle.

Par ailleurs, l'effet de la bathymétrie est pris en compte : la valeur d'impact est diminuée de 10 % par tranche de 10 m de profondeur.



3.6.3 DONNEES ET METHODE DE MISE A JOUR EN 2018

Urbanisation et population

La mise à jour de la carte de pression d'urbanisation a été réalisée grâce à l'utilisation de la base de données Corine Land Cover à jour (2012) qui classe le sol en fonction de son usage et des données du recensement de 2016 de l'INSEE pour les communes associées.

Chaque parcelle urbanisée a reçu une note d'intensité de pression en fonction de la population et de la commune sur laquelle elle est située. Une catégorie de pression de 1 à 4 a ainsi été attribuée à chaque commune littorale en fonction des quartiles de population. Un incrément de catégorie vers les bas/vers le haut a ensuite été attribué aux communes en fonction de leur densité de population respectives.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité maximale) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0).

L'intensité de pression à la source dépend de la catégorie de population de chaque parcelle urbanisée (intensité de 0.25 pour la catégorie 1, 0.5 pour la catégorie 2, 0.75 pour la catégorie 3 et 1 pour la catégorie 4).

Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent aussi de la catégorie de population de chaque parcelle urbanisée. Le rayon d'influence est égal à 1 km pour la catégorie 1, 3 km pour la catégorie 2, 5 km pour la catégorie 3 et 10 km pour la catégorie 4.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10 % de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.

Agriculture

La mise à jour de la carte de pression due à l'agriculture a été réalisée grâce à l'utilisation de la base de données Corine Land Cover à jour (2012) qui classe le sol en fonction de son usage.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité = 1) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0).

Le rayon d'influence utilisé est égal à 10 km.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10% de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.

Erosion

Pour la mise à jour de la carte de pression de l'érosion côtière, les données d'érosion du trait de côte du projet européen EuroErosion de 2014 (www.euroerosion.org) ont été complétées par l'utilisation du récent indicateur national de l'érosion côtière (Hédou et al. 2018). Cet indicateur repose sur la comparaison de marqueurs de position du trait de côte sur des orthophotographies à différentes dates.

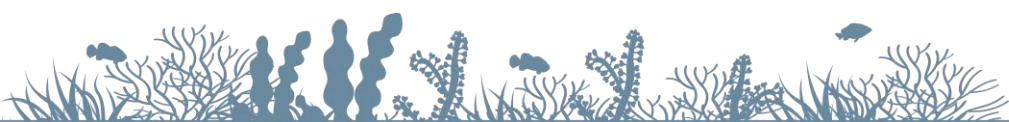
Chaque portion du littoral a reçu une note d'intensité de pression en fonction de l'intensité d'érosion/aggradation : 1 pour une érosion faible, 2 pour une aggradation faible, 3 pour une érosion forte, et 4 pour une aggradation forte.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité maximale) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0).

L'intensité de pression à la source dépend de la catégorie de pression (intensité de 0.5 pour la catégorie 1, 0.5 pour la catégorie 2, 1 pour la catégorie 3 et 1 pour la catégorie 4).

Le rayon d'influence et les paramètres de la fonction de décroissance exponentielle (Annexe 1) dépendent aussi de la catégorie de pression. Le rayon d'influence est égal à 0.5 km pour la catégorie 1, 1 km pour la catégorie 2, 1 km pour la catégorie 3 et 2 km pour la catégorie 4.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10 % de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.



3.6.4 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

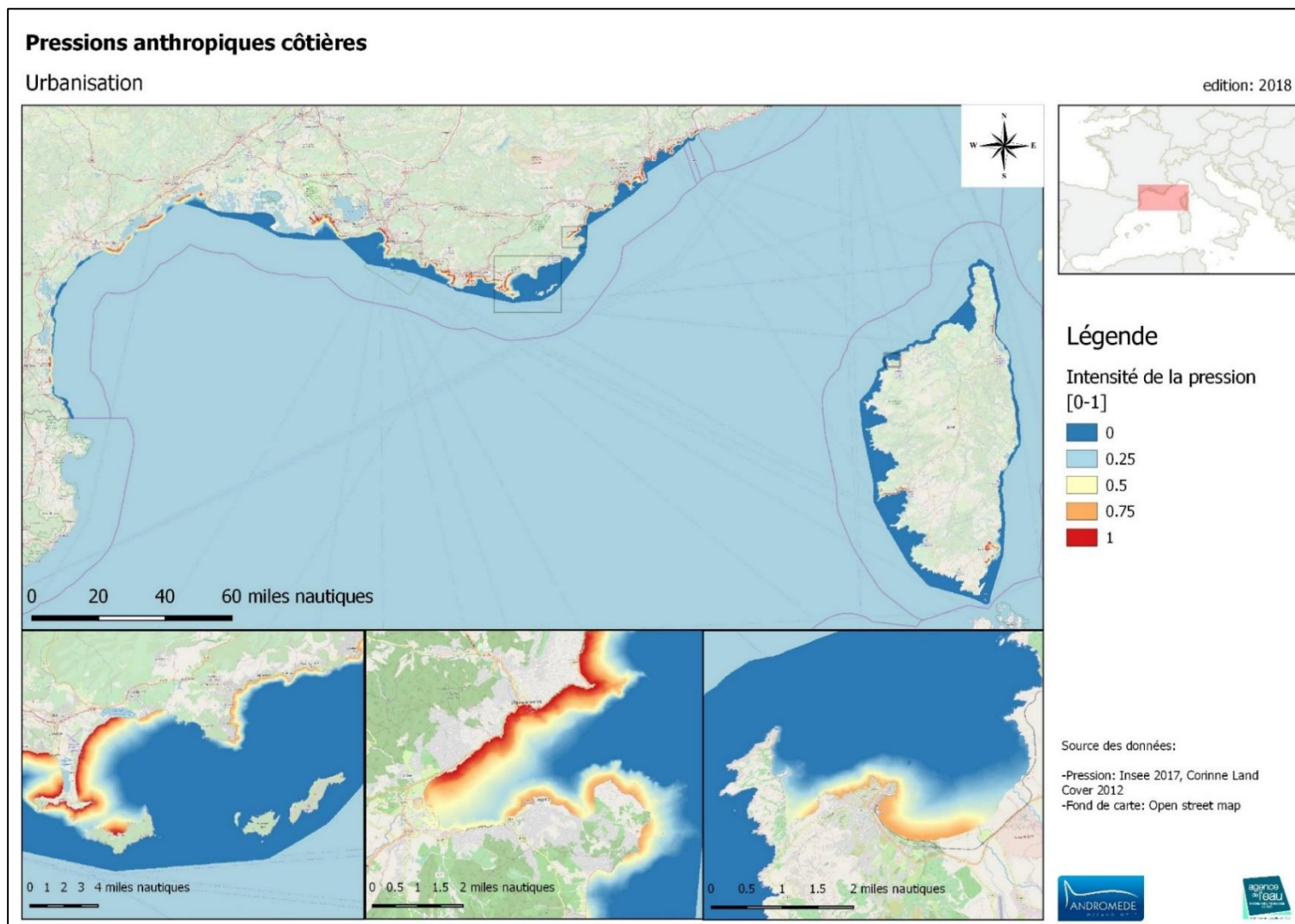


Figure 14 Cartographie de la pression due à l'urbanisation et la population côtière

Pressions anthropiques côtières

Agriculture

edition: 2018

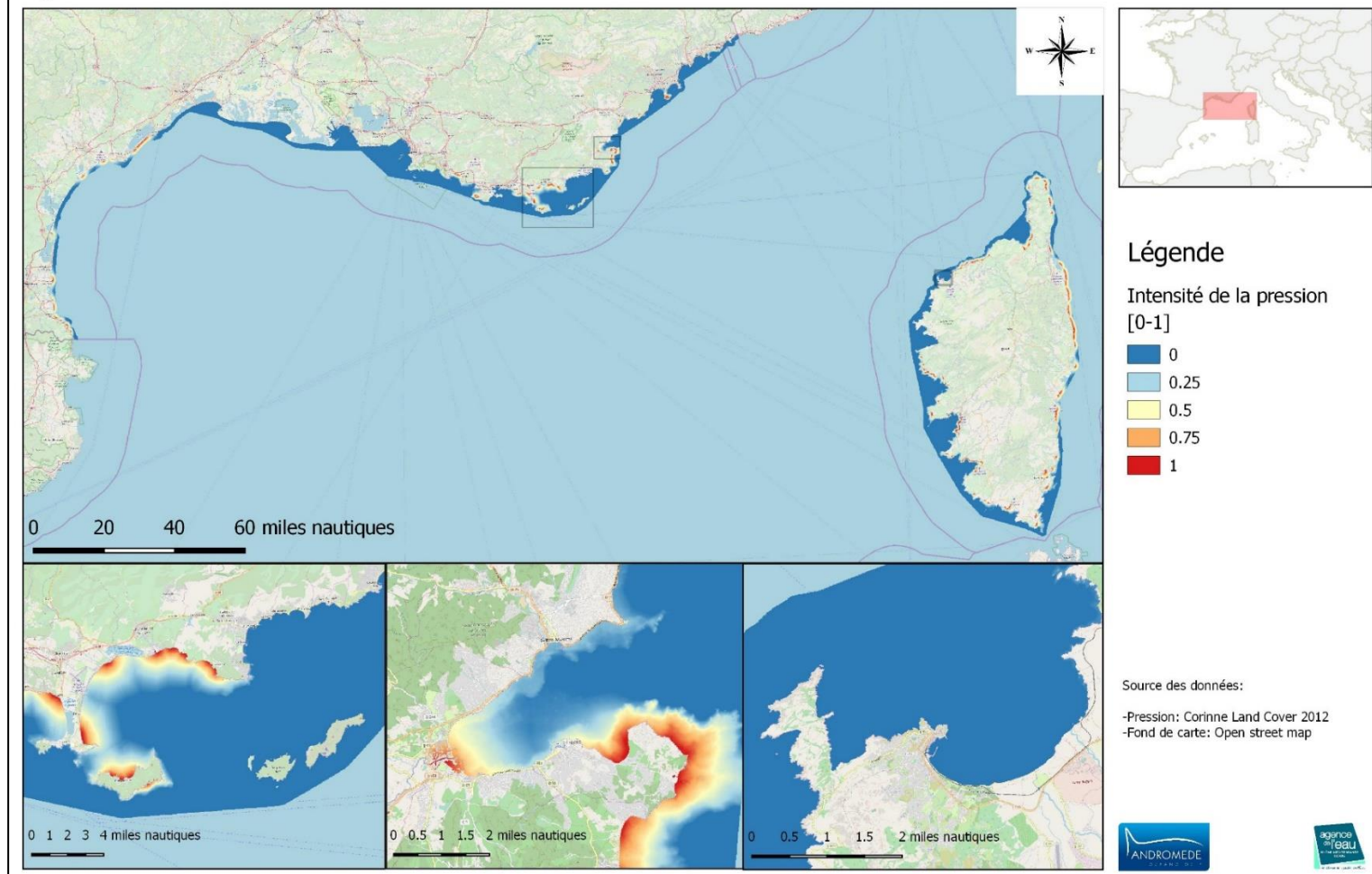


Figure 15 Cartographie de la pression due à l'agriculture

Pressions anthropiques côtières

Erosion

edition: 2018

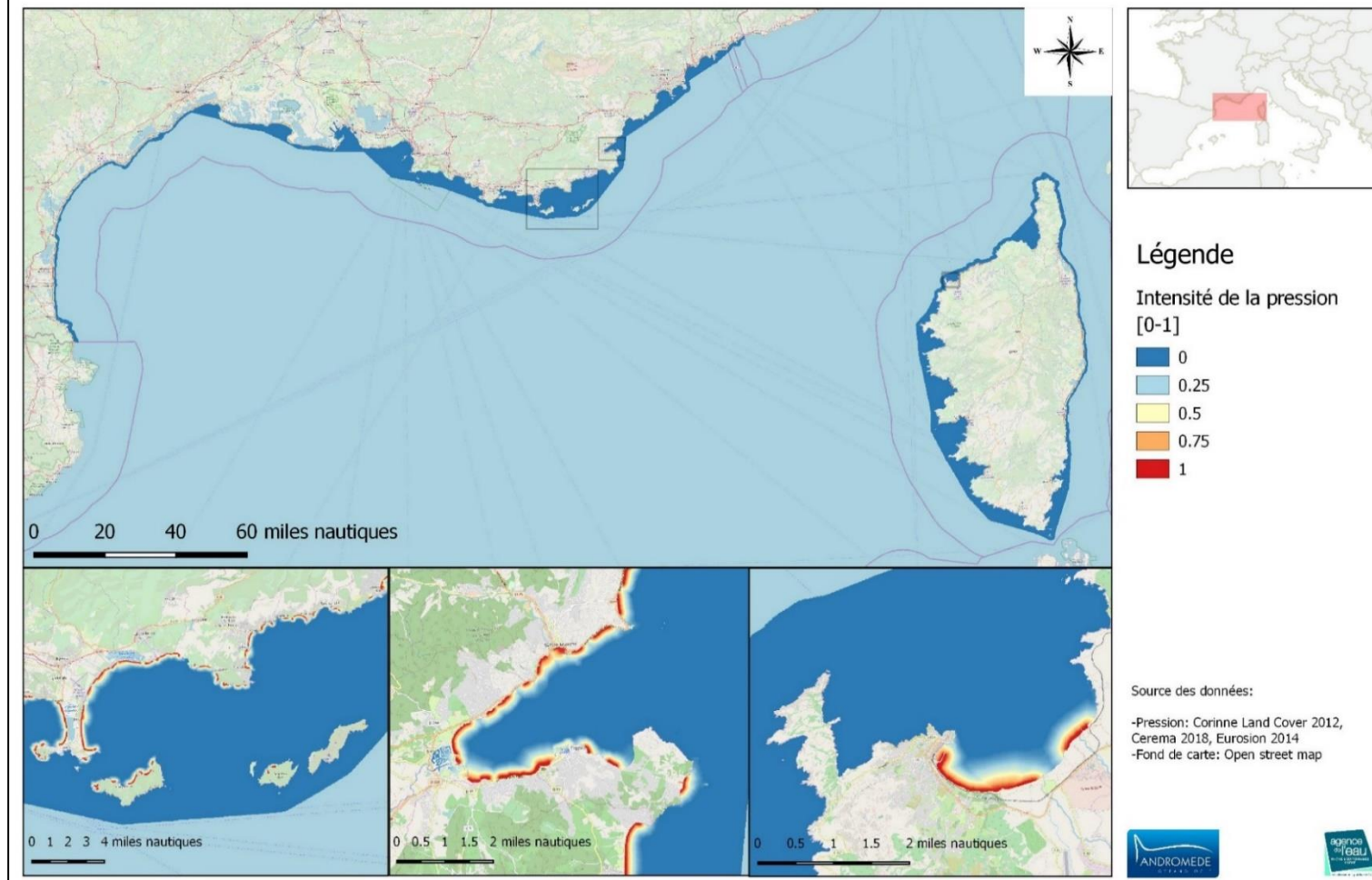


Figure 16 Cartographie de la pression due à l'érosion/aggradation

3.7 POPULATION

3.7.1 DEFINITION

La population côtière représente une pression importante sur le milieu marin. En effet, elle est directement et proportionnellement reliée aux besoins en ressources (eau, énergie, matériaux) et en espaces naturels pour des activités de loisirs, ainsi qu'au niveau d'émission de polluants dans l'eau et l'air (Savage Candida et al. 2010). Par ailleurs, le nombre d'habitants des villes côtières reflète également le niveau de fréquentation de la mer par les plaisanciers (anti-fooling, corrosion d'anodes, fumées échappements, rejets d'eaux noires, macrodéchets, pêche récréative, plongée, chasse sous-marine,...).

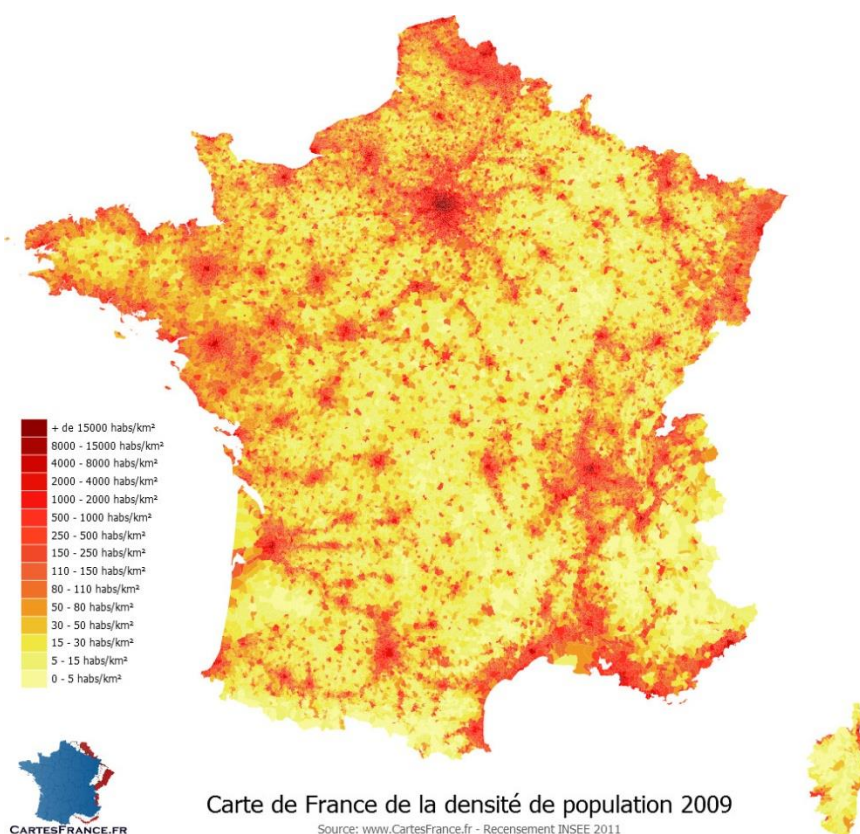


Figure 17 : Densité de population en France en 2009 (source : CartesFrance.fr)

3.7.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION EN 2014

Nous avons d'abord construit une couche d'informations géographiques composée de toutes les communes à moins de 5 km de la côte. Pour chacune de ces communes, le nombre d'habitants et la densité de population 2009 ont été récupérés sur la base de données de l'INSEE (www.insee.fr).

Une note est ensuite attribuée à chaque commune en fonction du nombre d'habitants de la densité de population :

- 0) $0 \leq 500$;
- 1) $]10 ; 30]$;
- 2) $]30 ; 80]$;

- 3)]80 ; 300];
- 4)]300 ; 2000];
- 5) > 2000 habitants/km²

Puis le rayon d'influence dépend de la valeur moyenne entre ces deux notes :

- 1 km pour une note moyenne de 0,1 ou 2, avec une décroissance exponentielle ;
- 3 km pour une note moyenne de 3, avec une décroissance exponentielle ;
- 5 km pour une note moyenne de 4, avec une décroissance exponentielle ;
- 20 km pour une note moyenne de 5, avec une décroissance exponentielle ;

Par ailleurs, l'effet de la bathymétrie est pris en compte : la valeur d'impact est diminuée de 10% par tranche de 10 m de profondeur.

3 . 7 . 3 D O N N E E S E T M E T H O D E D E M I S E A J O U R E N 2 0 1 8

Dans le cadre de la mise à jour des cartographies des pressions anthropiques, les pressions issues de la population côtière et de l'urbanisation ont été regroupées en une seule pression « urbanisation et population ».

Voir chapitre précédant.

3.8 PÊCHE PROFESSIONNELLE HORS CHALUT

3.8.1 DÉFINITION

La pêche présente des effets directs et indirects sur le milieu marin. L'Union Européenne divise les effets directs en quatre catégories (Seas at risk 2009) :

- Impacts sur les espèces cibles et leur histogramme de taille ;
- Impacts sur les autres espèces (pêches accessoires, pêche fantôme et espèces dépendant des espèces cibles) ;
- Impacts sur les habitats,
- Impacts sur les mammifères, les oiseaux marins et autres espèces vulnérables.

Pour chacune de ces catégories, le niveau d'impacts dépend du type d'engin de pêche utilisé, de l'intensité de pêche (dans l'espace et dans le temps), les synergies avec d'autres activités et le niveau de complexité de l'environnement physique et écologique (Broeg 2008). Par exemple, le chalutage a des effets désastreux sur les herbiers de posidonie, particulièrement entre -15 et -35m (Boudouresque et al. 2012). Les engins de pêche se distinguent en trois catégories :

- Engin tracté : chalut, drague ;
- Engins passifs : filets et palangres, fixes ou dérivants ;
- Engins mobiles : senne et pêche à la traîne (downrigger tracking ?).

Chacun d'entre eux vise différents types d'espèces cibles, et affecte le milieu de manière différente.



Figure 18 Différentes catégories d'engins de pêche (chalut, filet dérivant, senne) (sources : Ouest-France, Ifremer, Ifremer)

3.8.2 DONNÉES ET MÉTHODE DE MODÉLISATION EN 2014

Étant données la sensibilité des données de pêche, l'accès à des données précises et géolocalisées n'est pas évidente. Une base de données de l'intensité d'effort de pêche a été compilée d'après différentes sources de données :

- Localisation de filets de pêche lors de nos nombreuses campagnes de terrain (entre 2008 et 2014, environ 100 jours/an, 1/3 de la côte française chaque année) ;

- Données MEDOBS 2011-2014 (www.observatoire-mer.fr/en/autres_pressions.html) : localisation de filets et de pêcheurs à partir d'images aériennes et satellites ;
- Enquêtes auprès des pêcheurs (aires marines protégées et réserves) ;
- Localisation des ports de pêche et nombre d'anneaux pour des navires de pêche ;
- Localisation des roches (DONIA®).

Il a été affecté à chaque port une activité de pêche proportionnelle au nombre d'anneaux réservés à des navires de pêche. Cette activité a été propagée aux roches environnantes, avec une loi de décroissance exponentielle, en faisant l'hypothèse que les pêcheurs connaissent les roches de leur secteur, généralement plus poissonneuses. Les roches situées à l'intérieur de zones interdites à la pêche (aires marines protégées, réserves,...) ont été exclues de cette analyse. Nous avons ensuite ajouté les zones identifiées d'après les données MEDOBS et nos observations.

Par ailleurs, les sites profonds étant généralement moins accessibles et donc moins pêchés, la valeur d'impact diminue de manière exponentielle entre -50 et -120 m.

3 . 8 . 3 D O N N E E S E T M E T H O D E D E M I S E A J O U R E N 2 0 1 8

Le principal problème concernant l'évaluation de la pression de pêche est l'accessibilité à la donnée. Les données sont souvent incomplètes concernant la pêche artisanale (le VMS, Vessel Monitoring System, n'est obligatoire que pour les navires de plus de 12 m de long) et sensibles pour la pêche industrielle. Par ailleurs, les données de captures géoréférencées pour les navires de pêche équipés de VMS ne sont pas toujours représentatives de leur effort de pêche (un trait de chalut rentable peut ramener autant de poissons que 10 traits de chaluts malchanceux, mais l'impact sur le milieu marin ne sera pas le même). A défaut de données précises d'effort de pêche, les captures sont utilisées comme approximation de l'effort de pêche.

Dans le cadre de son Système d'Informations Halieutiques (SIH), l'Ifremer a développé des algorithmes qui permettent de traiter des données de différentes sources (VMS, criées, enquêtes auprès des pêcheurs,...) pour générer une base de donnée de l'effort de pêche, des engins utilisés, des captures, de la durée des marées, des performances économiques,... en utilisant pour chaque indicateur les données disponibles avec un ordre de priorité.

Le fichier d'activité des navires de pêche (Ifremer, SIH) sur les années 2016 et 2017 a donc été utilisé pour la mise à jour. Ce fichier contient les informations suivantes :

- Port d'attache du navire
- Métier pratiqué
- Taux d'activité
- Rayon d'action

Ces informations ont été utilisées pour localiser les zones de pêche en fonction du métier (hors chalutiers, ces derniers opérant majoritairement en dehors de la zone d'étude), et de la nature des fonds (les métiers hors chalutiers sont considérés comme étant pratiqués à proximité des zones de roches, considérées comme plus poissonneuses) et calculer un nombre de pêcheurs par cellule.

Les zones d'interdiction de pêche ont été retirées de l'analyse.

Chaque zone de pêche a reçu une note d'intensité de pression, de 1 à 4, en fonction du nombre de pêcheurs en opération. Catégorie 1 pour les zones dépourvues de pêche professionnelle, plus les sites de pêche du bord, catégorie 2 pour un équivalent de moins de 1 pêcheur par an, catégorie 3 entre 1 et 10 pêcheurs par an, et catégorie 4 pour plus de 10 pêcheurs par an.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité maximale) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0) (Annexe 1).

L'intensité de pression à la source dépend de la catégorie de pêche (intensité de 0.25 pour la catégorie 1, 0.5 pour la catégorie 2, 0.75 pour la catégorie 3 et 1 pour la catégorie 4.

Le rayon d'influence est égal à 0.5 km pour chacune des catégories.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10 % de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.

L'influence de l'éloignement aux ports d'attache des navires de pêche est prise en compte en réduisant l'influence de 10 % par tranche de 10 km.



3.8.4 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

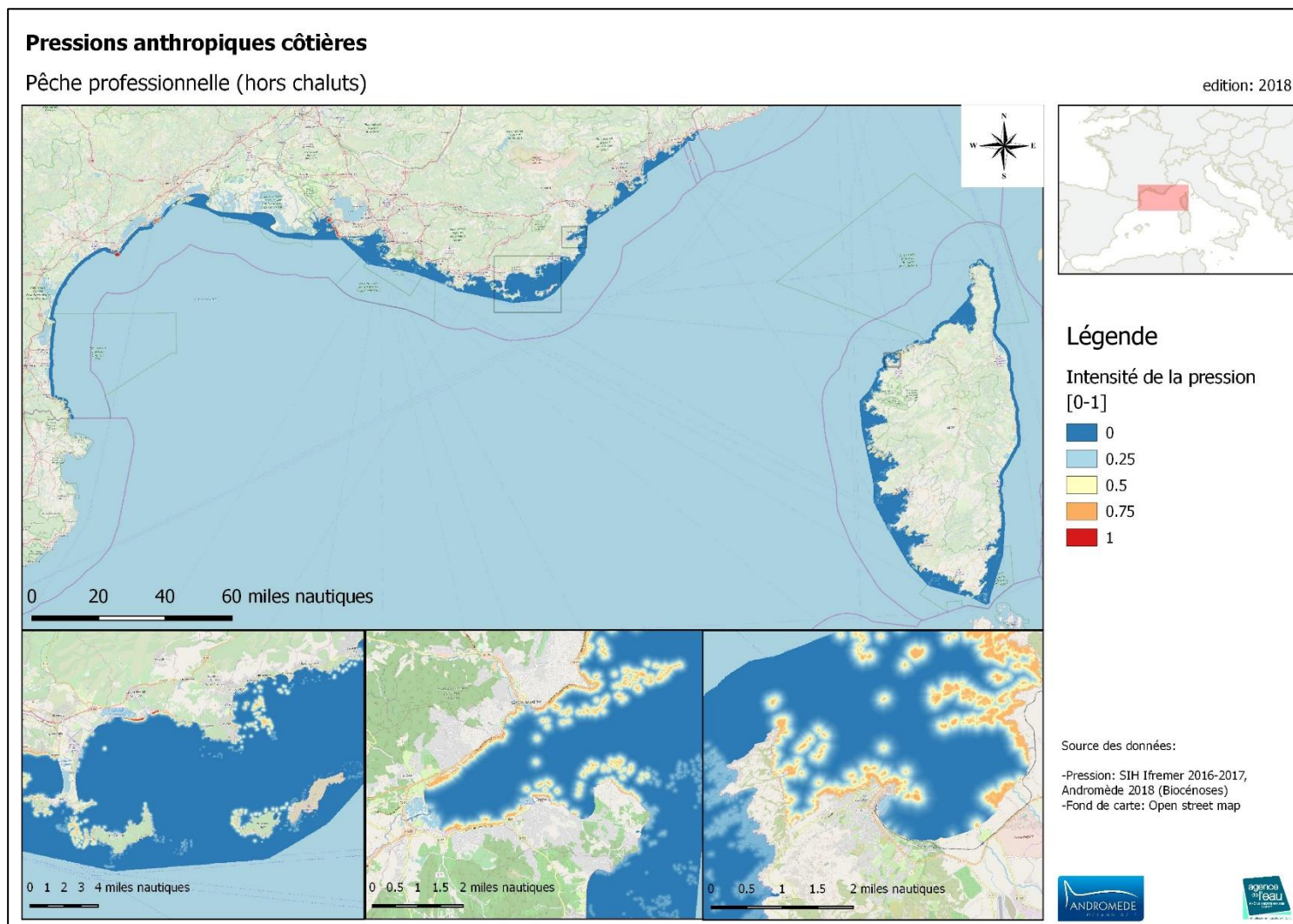


Figure 19 Cartographie de la pression due à la pêche professionnelle (hors chalut)

4 CARTOGRAPHIE DE NOUVELLES PRESSIONS ANTHROPIQUES EN 2018

1. TOURISME BALNEAIRE

4.1.1 DEFINITION

Le tourisme balnéaire représente une grande partie de l'activité touristique (www.wastewiseproductsinc.com 2018), particulièrement en saison estivale où des villes de taille modeste connaissent une explosion démographique. Ces changements ne sont pas sans conséquences : augmentation du trafic dans les villes touristiques et aux alentours, augmentation des activités nautiques récréatives (sports nautiques, pêche, plongée, chasse sous-marine) et donc du bruit et de la lumière, des rejets d'eau usées et de polluants (crème solaire, mégots de cigarette,...), de la consommation en eau douce et en énergie,... (Zahedi 2008).

Tous ces changements et cette activité affectent directement ou indirectement le milieu marin.



Figure 20 : Tourisme de masse sur une plage d'Occitanie (©La Dépêche)

4.1.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION

Une recherche bibliographique a été menée pour collecter et compiler différentes données, et définir le rayon d'influence des zones touristiques en fonction de leur taille :

- Base de données Insee 2018 (www.insee.fr) de la capacité des communes en hébergements touristiques (chambres d'hôtels, places de camping, villages vacances, auberges de jeunesse,...) ;
- Base de données Insee 2015 du nombre de résidences secondaires et/ou du pourcentage de résidences secondaires pour chaque commune.
- Base de données OpenStreetMap contenant la localisation des plages du littoral.

Les communes du littoral ont ensuite été séparées en quatre classes correspondant aux quartiles de l'offre d'hébergements touristiques proposée.

Les sources de pressions touristiques sur les masses d'eau côtières sont uniquement localisées au niveau des principales plages (<https://planet.openstreetmap.org/>), pour chaque commune concernée.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité maximale) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0) (Annexe 1).

Un rayon d'influence croissant est associé à chaque catégorie de pression touristique : 1 km pour la catégorie 1, 2 km pour la catégorie 2, 3 km pour la catégorie 3, et 5 km pour la catégorie 4.

La valeur de pression maximale attribuée dépend aussi de la catégorie de pression touristique : 0.25 pour la catégorie 1, 0.5 pour la catégorie 2, 0.75 pour la catégorie 3, et 1 pour la catégorie 4.

L'effet de la bathymétrie a été pris en compte avec une diminution de 10 % de la valeur de pression par tranche de 10 m de profondeur.

4.1.3 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

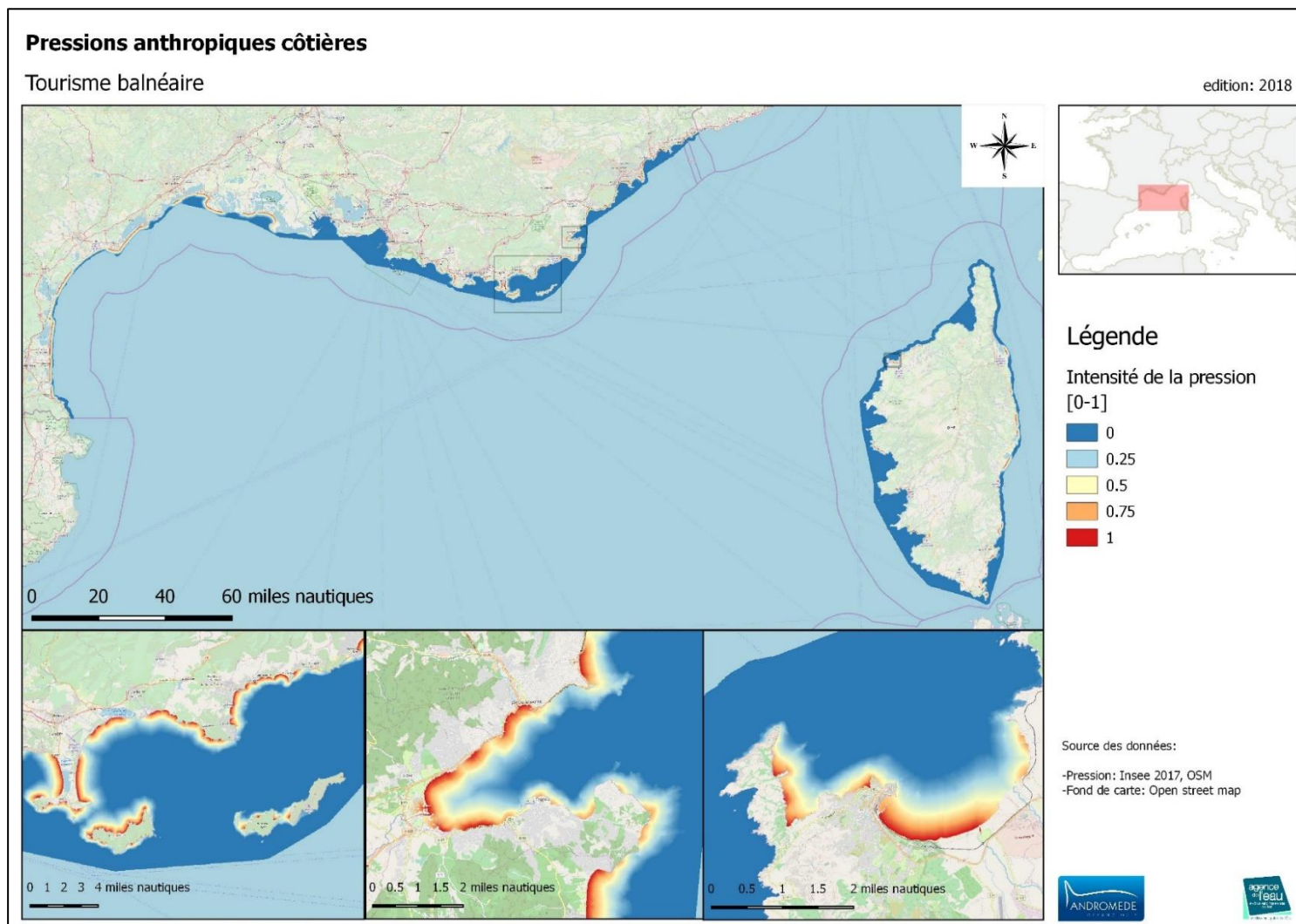


Figure 21 Cartographie de la pression due au tourisme balnéaire



4.2 TRAFIC MARITIME

4.2.1 DEFINITION

Le trafic maritime, de la petite plaisance aux plus gros navires de transport commercial, représente une menace directe et indirecte pour le milieu marin (Walker et al. 2018). Parmi les différents impacts du trafic maritime on distingue notamment : risque de collision avec les cétacés, pollution sonore, pollution par les fumées d'échappement, rejet d'eaux noires, macrodéchets,...



Figure 22 : L'EMMA MAERSK, le plus long modèle de porte-conteneur du monde (source : Logistics Manager)

4.2.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION

L'AIS (Automatic Identification System), est un système embarqué qui permet de connaître l'identification, la position, la vitesse, le cap et la destination d'une grande partie des grands navires dans le monde entier. Ces informations sont transmises par radio (VHF) aux autres usagers, avec pour principal objectif l'évitement de collisions et la planification de routes de navigation. Ces données sont captées par des récepteurs à terre ou par satellite et sont accessibles via des plateformes web, généralement payantes.

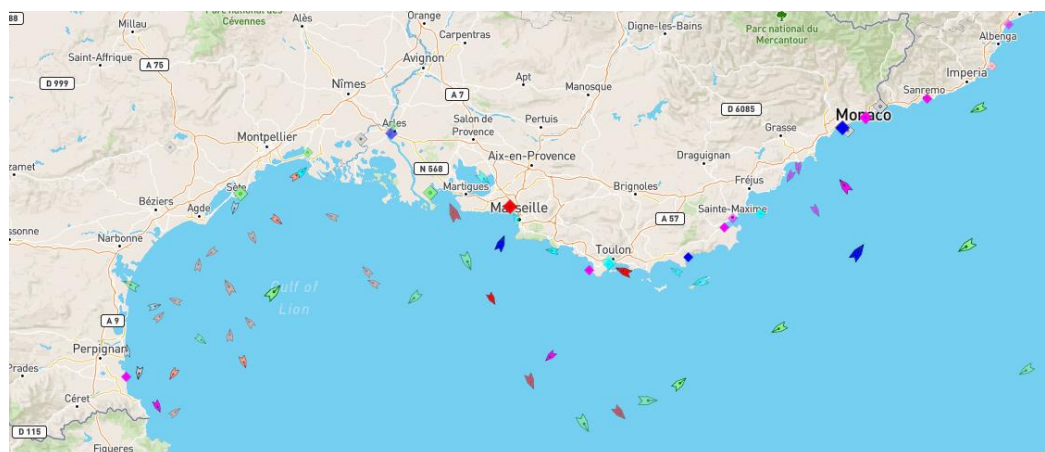
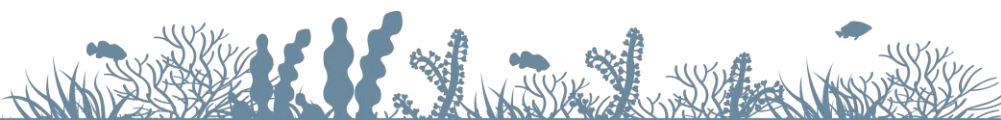


Figure 23 : Position des navires équipés de l'AIS en Méditerranée Française le 25/11/2016 à 14h (www.marinetraffic.com)

L'achat de données historiques de l'AIS est limité et coûteux (suivi de navires en particulier, suivi d'une zone géographique restreinte,...). Il est cependant possible de récupérer les données AIS en temps réel grâce à des applications gratuites comme l'AIS Dispatcher (www.aishub.net). Il est donc possible de récupérer ces données en continu avec un serveur connecté pendant une durée suffisante (idéalement 1 an ou plus), puis de traiter ces données pour cartographier le trafic maritime.

Pour chaque pixel de la carte, le nombre de navires ayant traversé la zone est calculé et permet ainsi le calcul d'un indice de pression du trafic maritime.

Les données AIS issues de la plateforme Vesselfinder ont ainsi pu être récupérées pour la méditerranée française sur l'année 2017. Une carte de pression anthropique basée sur le nombre de passages de bateaux a ainsi pu être construite. Une pression de 1 est associée aux zones où le plus grand nombre de passages de bateaux est recensé.



4.2.3 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

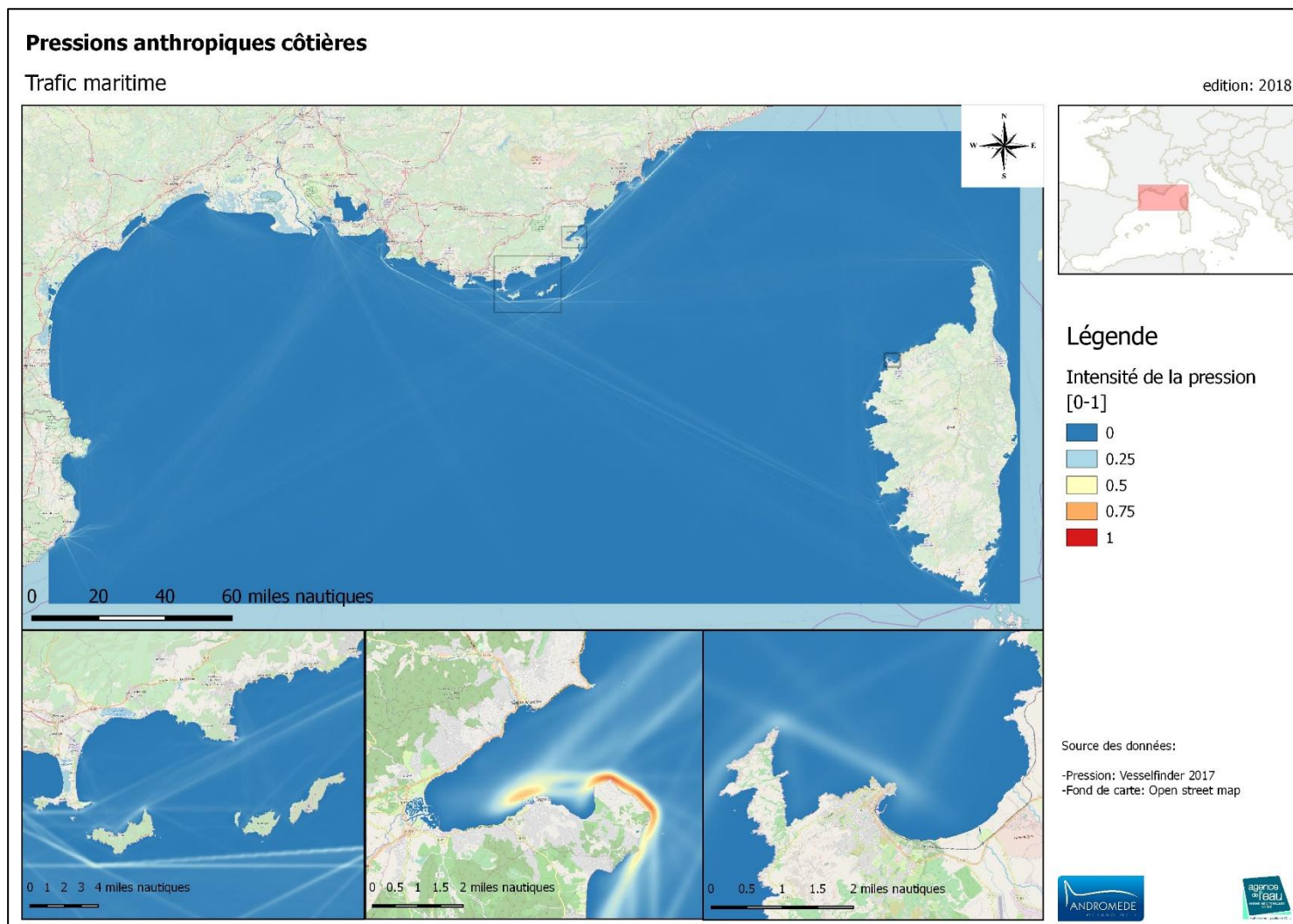


Figure 24 Cartographie de la pression due au trafic maritime

4.3 POLLUTION PAR LES COURS D'EAU

4.3.1 DEFINITION

Les cours d'eau, depuis les plus petits ruisseaux jusqu'aux grands fleuves, sont des vecteurs importants de pollutions d'origine anthropique, et permettent le transfert vers le milieu marin de pollutions émises même à grande distance de la côte. Il est estimé que plus de 80 % des pollutions retrouvées en mer sont d'origine terrestre (UNEP/GPA 2006), pour la plupart acheminées par les cours d'eau. Ces pollutions sont dites « ponctuelles » lorsque leur origine peut être clairement identifiée (rejet industriel ou de station d'épuration), et « diffuses » lorsqu'elles sont la résultante de petites émissions sur de vastes étendues (fertilisants en agriculture, épandage de lisier,...). Ces pollutions sont de différentes natures et ont différentes origines : bactériologique (élevage, eaux usées), chimique (agriculture, industries, eaux usées, eaux de ruissellement) et physiques (macro-déchets, le plus souvent en zones urbaines et périurbaines).

Parmi les pollutions chimiques, on distingue les molécules toxiques (PCB, métaux lourds, pesticides,...) et les molécules naturellement assimilées par les êtres vivants mais qui peuvent avoir un effet négatif sur les milieux aquatiques en trop grande concentration (nitrates, phosphates,...).

Tous ces éléments chimiques et ces molécules se retrouvent dans les cours d'eau et sont transportées directement vers le milieu marin où ils sont ensuite distribués et diffusés par les courants.

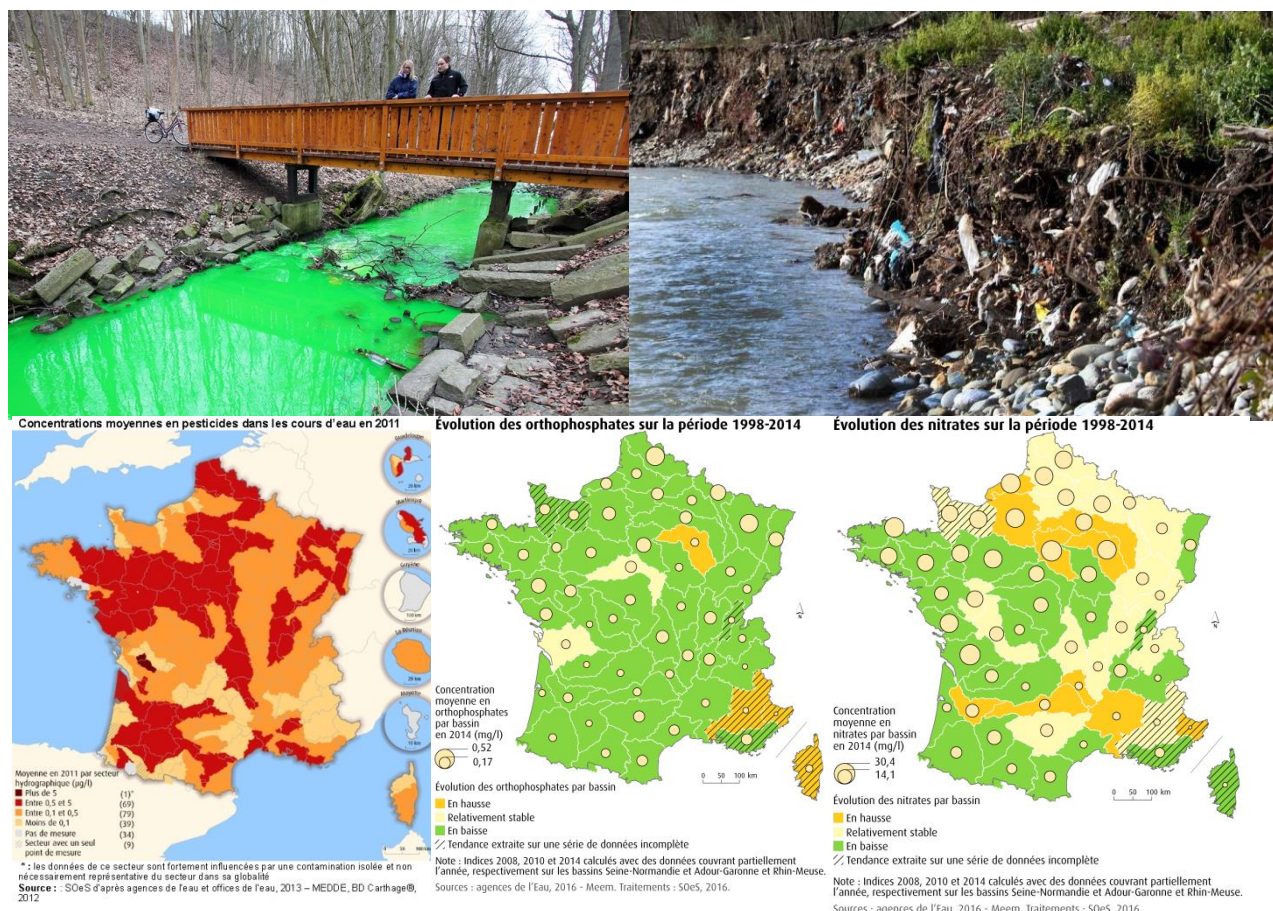


Figure 25 Pollutions des cours d'eau en France (de haut en bas : ex. de pollution chimique en Allemagne (nwzonline.de), berges du Gave à Pau (larepubliquedespyrenees.fr), concentration en pesticides dans les cours d'eau (agences de l'eau 2012), cartes d'évolution des orthophosphates et des nitrates (agences de l'eau 2016))

4.3.2 DONNEES ET METHODE DE MODELISATION

Les données utilisées pour la réalisation de cette cartographie de pression sont les suivantes :

- Carte des cours d'eau (BD Carthage, www.sandre.eau.fr)
- Données de qualité des eaux 2016 www.eaufrance.fr
- Données de débits des fleuves 2016 www.hydro.eaufrance.fr
- Estimation de la localisation du Panache du Rhône (Demarcq 1985; Gangloff et al. 2017), principal fleuve côtier de Méditerranée Française
- Courantologie de surface (Ifremer MARC)

Dans un premier temps les cours d'eau majeurs (classe de 1 ou de 2 sur la typologie Carthage¹) se déversant directement sur le littoral méditerranéen sont extraits de la base de données Carthage.

Les valeurs de module annuel de débit sont ensuite récupérées pour l'ensemble des stations de suivi des fleuves côtiers méditerranéens (<http://hydro.eaufrance.fr/>). Les valeurs de débits sont séparées en quatre classes avec comme seuils les quartiles et la médiane.

Les données d'état écologique et d'état chimique issues de la surveillance de l'état des eaux de surfaces continentales sont ensuite récupérées pour l'ensemble des stations de suivi d'Occitanie, PACA et Corse (<http://sierm.eaurmc.fr/surveillance/eaux-superficielles/index.php>).

Les différentes stations de suivi sont rattachées à leur cours d'eau respectifs par analyse spatiale.

Un indice de pression unique par cours d'eau est calculé en fonction du débit moyen, et des quartiles des valeurs d'état écologique et chimique. L'indice de pression est calculé en fonction de la valeur d'état écologique, et est ensuite corrigé pour les valeurs extrêmes de débit et d'état chimique. L'indice de pression est borné entre 1 et 5 (Annexe 2).

Un indice de pression maximal de 5 est attribué au Rhône.

Une décroissance exponentielle de la pression est définie entre la source de pression (intensité maximale) et le rayon maximal d'influence (intensité = 0) (Annexe 1).

Une revue bibliographique des publications les plus récentes a été réalisée afin d'estimer le rayon d'influence de l'apport des cours d'eaux. Pour le Rhône, le panache de propagation est documenté dans la littérature, ainsi que son rayon d'influence moyen (Demarcq 1985; Gangloff et al. 2017).

Les rayons d'influence attribués sont : 5 km pour un indice de pression de 1, 10 km pour une pression de 2, 15 km pour une pression de 3, 20 km pour une pression de 4 et 80 km pour une pression de 5.

La valeur de pression maximale attribuée dépend aussi de la catégorie de pression : 0.6 pour la catégorie 1, 0.7 pour la catégorie 2, 0.8 pour la catégorie 3, et 0.9 pour la catégorie 4 et 1 pour la catégorie 5.

La valeur de pression est pour finir corrigée par la bathymétrie (10 % en moins par tranche de 10 m) et par la courantologie (jusqu'à 25 % en moins pour une courantologie maximale).

¹1 : tout cours d'eau d'une longueur supérieure à 100 km ou tout cours d'eau se jetant dans une « embouchure logique » et d'une longueur supérieure à 25 km.

2 : tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 50 et 100 km ou tout cours d'eau se jetant dans une « embouchure logique » et d'une longueur supérieure à 10 km.

Une embouchure logique est une interruption du réseau formé par les cours d'eau naturels : mer, puits

...

4.3.3 CARTOGRAPHIE DE LA PRESSION

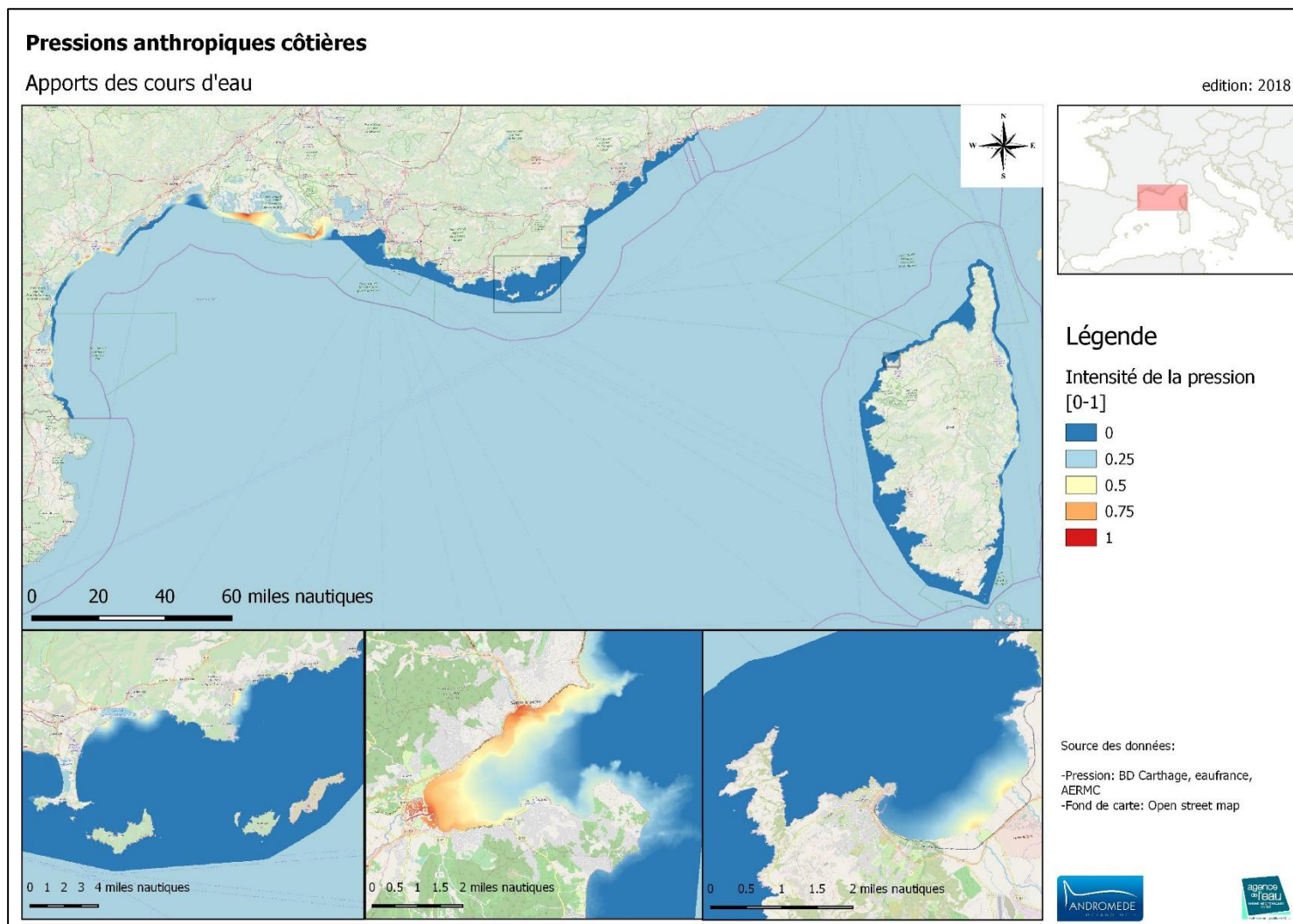


Figure 26 Cartographie de la pression due aux apports des cours d'eau



5 P E R S P E C T I V E S

L'ensemble des cartes de pressions anthropiques actualisées en 2018 sont accessibles en ligne sur la plateforme cartographique medtrix (www.medtrix.fr).

Ces cartes sont disponibles à la consultation et au téléchargement pour l'ensemble des acteurs du milieu marin, afin notamment de servir d'appui à la décision pour les gestionnaires d'espaces littoraux dans une démarche de développement durable.

Ces cartes ne sont cependant pas figées et ont aussi vocation à faire réagir les usagers sur la plateforme medtrix afin d'enrichir au fur et à mesure la base de données des sources de pressions sur le milieu marin côtier au moyen d'une démarche participative.

Les cartes d'impact associées à ces cartes de pression, prenant en compte la sensibilité des biocénoses marines, seront par la suite aussi disponibles à la consultation et au téléchargement sur la plateforme medtrix.

De nouvelles pressions seront à l'avenir ajoutées sur la plateforme medtrix, comme par exemple la pression issue de la plongée sous-marine, la pêche de plaisance, l'influence du changement climatique à travers l'augmentation de la température de fond, ou encore la pression issue des espèces envahissantes, venant ainsi enrichir cette base de connaissances. Concernant la pression issue des espèces envahissantes, trop peu de données existent aujourd'hui, et un réseau de surveillance participatif devra être mis en place à l'avenir.

Aujourd'hui, ces cartographies fines de pressions anthropiques et d'impact peuvent être utilisées, en lien avec l'équipe de la société Andromède Océanologie, comme un outil d'aide à la décision afin par exemple d'évaluer les enjeux écologiques parmi différents scénarios de planification marine/aménagement du littoral.

Demain, ces connaissances cruciales pour une bonne gestion de notre littoral ont vocation à être partagées et utilisées plus largement encore, à travers un outil plus complet et plus opérationnel.

Nous proposons ainsi la mise en place d'une chaîne de traitement et de diffusion robuste et efficace de ces données :

- Les données sources des pressions (points de rejets ponctuels, sites de pêche, débits des fleuves...) seront stockées sur une base de données spatiale structurée et mise à jour périodiquement en fonction des évolutions des sources de pressions sur la façade. Un historique des données sources de pressions sera bancarisé et accessible par périodes temporelles.
- Du fait de l'évolution très rapide des sources de pressions sur le littoral et de la difficulté d'accès à l'information précise à une échelle locale (à l'image de la pêche artisanale du bord par exemple), une fonctionnalité participative sera intégrée à la plateforme web afin de permettre à chaque usager du milieu marin d'enrichir l'outil de son expérience du terrain.
- Les cartes de pressions issues de ces données sources seront produites et mises à jour automatiquement par des scripts en routine reliés à la base de données. Grâce à la traçabilité des données historiques pour chaque pression, l'utilisateur pourra ainsi visualiser et accéder à l'évolution spatiale et temporelle de l'étendue et de l'intensité de chaque pression sur les masses d'eau côtières.
- De même que pour les cartes de pressions, la cartographie des impacts sera produite et mise à jour automatiquement, pour chaque pression et chaque période le cas échéant.
- La bonne structuration de l'ensemble de ces données permettra aussi le calcul facilité d'indicateurs innovants pour l'évaluation des objectifs de gestion au niveau local (plan de gestion AMP, Docob Natura 2000...) comme à une échelle plus large (DCE, DCSMM...), sur la thématique des activités humaines, pour laquelle la donnée reste aujourd'hui encore trop souvent rare et peu accessible.

- Le fonctionnement de l'outil en mode base de données serveur pourrait de plus permettre l'évaluation de différents scénarios d'aménagements/gestion en temps réel sur la plateforme web par l'utilisateur (construction digue, création cantonnement de pêche).
- Pour certaines activités humaines, la donnée existante permet dès aujourd'hui un aperçu de l'évolution en temps réel de la pression engendrée sur le milieu naturel. C'est le cas pour le mouillage des navires (<http://www.andromede-ocean.com/partage/ancrage/site/index.html>). Dans une société du « BIG DATA » où la production de données s'accélère de jour en jour, une telle fonctionnalité pourrait à l'avenir être généralisée à d'autres pressions, et ainsi fournir une information précieuse aux autorités pour la gestion et le contrôle des zones sensibles (à l'image de l'interdiction du mouillage dans l'herbier de posidonies par exemple).

A travers ces améliorations au programme IMPACT, nous proposons ainsi la mise en place d'un outil d'aide à la décision opérationnel, innovant et unique en son genre, pour une gestion intégrée et durable des activités humaines et des écosystèmes marins côtiers en Méditerranée française.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Boudouresque, Bernard, Bonhomme, et al (2012) Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. RAMOGE - RAC/SPA
- Broeg (2008) Towards Low Impact Fishery Techniques. WWF Ger Int Cent Mar Conserv.
- Demarcq H (1985) Applications de la télédétection infrarouge et visible en océanographie. Etude de la zone de dilution rhodanienne, observations des zones de production dans le Golfe du Lion, et estimation de l'éclairement solaire global en Méditerranée Occidentale. Phdthesis, Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II
- Deter J, Lozupone X, Inacio A, et al (2017) Boat anchoring pressure on coastal seabed: Quantification and bias estimation using AIS data. *Mar Pollut Bull* 123:175–181. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.08.065
- Gangloff A, Verney R, Doxaran D, et al (2017) Investigating Rhône River plume (Gulf of Lions, France) dynamics using metrics analysis from the MERIS 300m Ocean Color archive (2002–2012). *Cont Shelf Res* 144:98–111. doi: 10.1016/j.csr.2017.06.024
- Halpern BS, Walbridge S, Selkoe KA (2008) A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319:946–948. doi: 10.1126/science.1151084
- Hédou F, Roche A, Trmal C, et al (2018) Élaboration de l'indicateur national de l'érosion côtière. In: XVèmes Journées, La Rochelle. Editions Paralia, pp 647–654
- Holon F (2015) Interactions entre écosystèmes marins et pressions anthropiques: Applications au suivi et à la gestion des eaux côtières de la mer Méditerranée. Thesis, Montpellier
- Holon F, Boissery P, Guilbert A, et al (2015a) The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (*Posidonia oceanica* L. (Delile)) in South Eastern France: A slow but steady loss without recovery. *Estuar Coast Shelf Sci* 165:204–212. doi: 10.1016/j.ecss.2015.05.017
- Holon F, Marre G, Parravicini V, et al (2018) A predictive model based on multiple coastal anthropogenic pressures explains the degradation status of a marine ecosystem: Implications for management and conservation. *Biol Conserv* 222:125–135. doi: 10.1016/j.biocon.2018.04.006
- Holon F, Mouquet N, Boissery P, et al (2015b) Fine-Scale Cartography of Human Impacts along French Mediterranean Coasts: A Relevant Map for the Management of Marine Ecosystems. *PLOS ONE* 10:e0135473. doi: 10.1371/journal.pone.0135473
- <https://planet.openstreetmap.org/> <https://planet.openstreetmap.org/>
<https://planet.openstreetmap.org/>. Accessed 11 Feb 2019
- Ifremer MARC Images satellite Méditerranée.
[https://marc.ifremer.fr/resultats/turbidite/images_satellite_mediterranee/\(typevisu\)/map/\(zoneid\)/menor](https://marc.ifremer.fr/resultats/turbidite/images_satellite_mediterranee/(typevisu)/map/(zoneid)/menor). Accessed 29 Nov 2018
- Jijăescu L. (2009) Environmental pollution and global climate change the impact of industrial activity on the environment. *Met Int*
- Kress N, Herut B, Galil BS (2004) Sewage sludge impact on sediment quality and benthic assemblages off the Mediterranean coast of Israel—a long-term study. *Mar Environ Res* 57:213–233. doi: 10.1016/S0141-1136(03)00081-3
- Lafabrie C, Pergent G, Pergent-Martini C (2009) Utilization of the seagrass *Posidonia oceanica* to evaluate the spatial dispersion of metal contamination. *Sci Total Environ* 407:2440–2446. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.001

- Marba N. et al. (2006) Seagrass (*Posidonia oceanica*) vertical growth as an early indicator of fish farm-derived stress. ResearchGate
- Micheli F, Halpern BS, Walbridge S, et al (2013) Cumulative Human Impacts on Mediterranean and Black Sea Marine Ecosystems: Assessing Current Pressures and Opportunities. PLoS ONE 8:e79889. doi: 10.1371/journal.pone.0079889
- Milazzo M, Badalamenti F, Ceccherelli G, Chemello R (2004) Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): effect of anchor types in different anchoring stages. J Exp Mar Biol Ecol 299:51–62. doi: 10.1016/j.jembe.2003.09.003
- Montefalcone M, Albertelli G, Morri C, Bianchi CN (2007) Urban seagrass: Status of *Posidonia oceanica* facing the Genoa city waterfront (Italy) and implications for management. Mar Pollut Bull 54:206–213. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.10.005
- Oesterwind D, Rau A, Zaiko A (2016) Drivers and pressures – Untangling the terms commonly used in marine science and policy. J Environ Manage 181:8–15. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.05.058
- Rivière ML, Aish A, Gauthier O, et al (2015) Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques. MNHN
- Ruiz JM, Marco-Méndez C, Sánchez-Lizaso JL (2010) Remote influence of off-shore fish farm waste on Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. Mar Environ Res 69:118–126. doi: 10.1016/j.marenvres.2009.09.002
- Savage Candida, Leavitt Peter R., Elmgren Ragnar (2010) Effects of land use, urbanization, and climate variability on coastal eutrophication in the Baltic Sea. Limnol Oceanogr 55:1033–1046. doi: 10.4319/lo.2010.55.3.1033
- Seas at risk (2009) Towards sustainable European fisheries: The double challenge of restructuring and reducing the fishing fleet
- UNEP/GPA (2006) The State of the Marine Environment. La Hague
- Université Nice Sophia Antipolis - Laboratoire ECOMERS (2013) MEDAM CÔTES MEDITERRANEENES FRANÇAISES : INVENTAIRE ET IMPACT DES AMENAGEMENTS GAGNES SUR LA MERRapport MEDAM
- Walker et al. (2018) Environmental Effects of Marine Transportation. Dalhousie University, Halifax, NS, Canada
- www.euroSION.org EUROSION. www.euroSION.org. Accessed 30 Nov 2018
- www.medam.org MEDAM. In: MEDAM Côtes MEditerrannéennes Fr. Inventaire Impact Aménage. Gagnés Sur Domaine Mar. <http://www.medam.org/index.php/fr/>. Accessed 27 Nov 2018
- www.medobs.fr www.medobs.fr. In: MEDOBS. <http://www.medobs.fr/>. Accessed 28 Nov 2018
- www.medtrix.fr Medtrix. Accessed 13 Apr 2018
- [www.wastewiseproductsinc.com](https://www.wastewiseproductsinc.com/blog/sustainability/the-impact-of-tourism-on-coastal-areas/) (2018) The Impact Of Tourism On Coastal Areas. <https://www.wastewiseproductsinc.com/blog/sustainability/the-impact-of-tourism-on-coastal-areas/>. Accessed 11 Dec 2018
- Zahedi S (2008) Tourism impact on coastal environment. In: Environmental Problems in Coastal Regions VII. WIT Press, The New Forest, UK, pp 45–57



7 ANNEXES

7.1 ANNEXE 1

Les paramètres des lois de décroissance ont été déterminés en ajustant une courbe exponentielle de la forme « $a e^{-bx}$ » aux valeurs de références à l'aide du logiciel R. Les valeurs de références sont une pression maximale à la source de pression, une pression nulle à une distance égale au rayon d'influence, et une pression égale 50% de la pression maximale à une distance égale à 20% du rayon d'influence (concertation d'après expertise terrain).

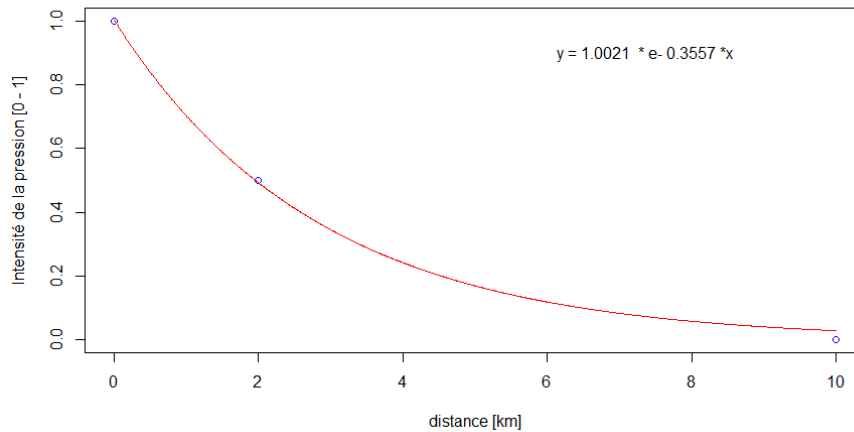


Figure 27 Ajustement de la fonction de décroissance exponentielle. Exemple pour une intensité maximale de 1 et une distance d'impact de 10 km

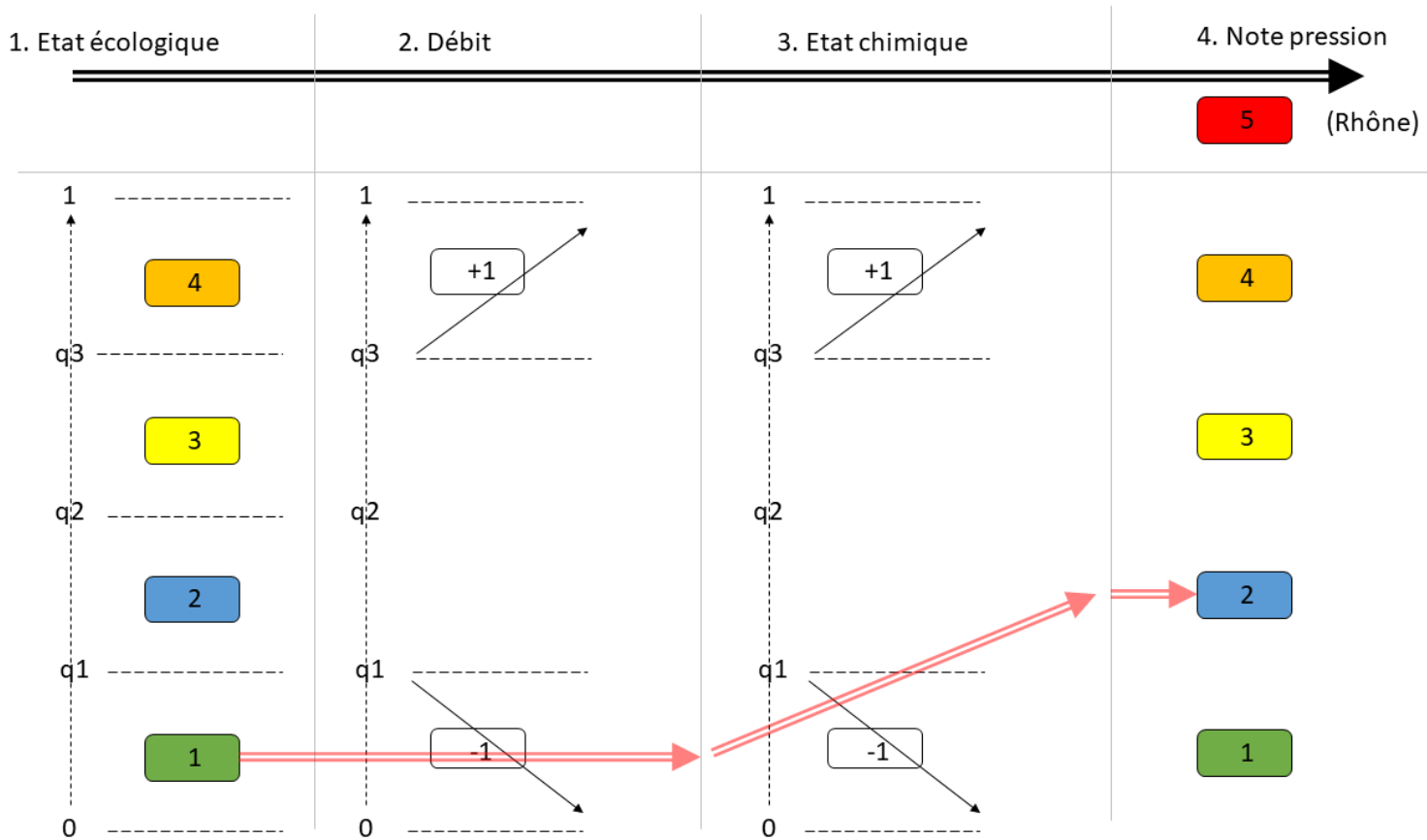


Figure 28 Schéma décrivant la méthodologie de calcul de la note de pression « cours d'eau ». La double flèche rouge illustre l'exemple d'un cours d'eau possédant un bon état écologique (note état écologique inférieure au premier quartile), un débit moyen (note débit entre le 2nd et le 3^{ème} quartile) et un état chimique mauvais (note état chimique supérieure au 3^{ème} quartile). Une note de pression moyenne de 2 est donc attribuée à ce cours d'eau.

Contact

7, place Cassan - Quai des pêcheurs

34 280 Carnon - France

Tél. : 04.67.66.32.48 - contact@andromede-ocean.com

www.andromede-ocean.com