



HAL
open science

Rapport intermédiaire sur l'évaluation des impacts des actions du projet Life Marha sur les activités et les usagers

Elsa Mosseri, Catherine Boemare, Harold Levrel

► **To cite this version:**

Elsa Mosseri, Catherine Boemare, Harold Levrel. Rapport intermédiaire sur l'évaluation des impacts des actions du projet Life Marha sur les activités et les usagers. CIRED/SMASH. 2022. hal-04445462

HAL Id: hal-04445462

<https://hal.science/hal-04445462>

Submitted on 7 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Rapport intermédiaire sur l'évaluation des impacts des actions du projet Life Marha sur les activités et les usagers

Elsa Mosseri, Catherine Boemare & Harold Levrel

Mai 2022



Projet Life intégré LIFE16 IPE/FR001 Marha



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

Rapport intermédiaire sur l'évaluation des impacts des actions du projet Life Marha sur les activités et les usagers

Elsa Mosseri, Catherine Boemare & Harold Levrel

Mai 2022

Projet Life intégré LIFE16 IPE/FR001 Marha

Table des matières

Introduction.....	1
I. Mobilisation d’outils de modélisation et de simulation pour l’évaluation des aires marines protégées.....	2
A. Un contexte de demande croissante d’outils d’évaluation des aires protégées.....	2
B. Quelques outils de modélisation et de simulation des socio-écosystèmes marins et des aires marines protégées.....	3
C. Principes et intérêts de la modélisation et simulation multi-agents.....	6
II. Proposition d’une méthode d’exploration des effets des mesures de conservation sur les activités et les usagers	10
A. Sélection des mesures pour lesquelles le recours à la modélisation multi-agents apparaît la plus pertinente	10
B. Description de la méthode proposée.....	15
C. Identification des sites Natura 2000 intéressés et disponibles pour déployer la méthode	18
III. Exemples d’application de la méthode auprès de sites partenaires	21
A. Zone de protection forte de l’Aire marine protégée de la côte agathoise.....	21
1. Description de la dynamique de gestion	21
2. Eléments d’analyse	45
B. Zone de mouillage et d’équipements légers du Parc naturel marin du golfe du Lion..	47
1. Description de la dynamique de gestion.....	47
2. Elaboration de l’exercice de modélisation avec le gestionnaire	52
3. Description du modèle informatique	66
4. Simulation des scénarios et analyse des résultats	82
Conclusion	94
Bibliographie	95
Annexe 1 : Récapitulatif de l’exercice de modélisation et simulation multi-agents de la ZMEL du PNMGL	101

Liste des figures

Figure 1 : Biocénoses de l'Aire marine protégée de la côte agathoise et emplacement du futur cantonnement de pêche (Commune d'Agde, 2018).....	23
Figure 2 : Périmètres retenus pour les différents scenarii (Sabbio, 2017)	26
Figure 3 : Les « spots » de plongée de l'Aire marine protégée agathoise (ADENA, 2010)	28
Figure 4 : Fréquentation nautique journalière lors du pic de fréquentation de 11h00 (Trougan et al., 2019).....	35
Figure 5 : Cartographie de la fréquentation par la pêche professionnelle aux petits métiers au sein de l'AMP de la côte agathoise au regard de la future zone de cantonnement de pêche, d'après Sabbio, 2017 (Commune d'Agde, 2018).....	36
Figure 6 : Répartition spatiale de la CPUE moyenne globale (g/hameçon* h) (Dali, 2020)	39
Figure 7 : Les sites de plongée d'Agde (Menthonnex et al., 2020).....	41
Figure 8 : Zonage de l'AMP pour le comptage de terrain (Trougan et al., 2019)	43
Figure 9 : Evolution entre 2019 et 2020 du pourcentage moyen journalier d'embarcations de pêche de plaisance au pic de 10h, dans les principales zones de l'AMP (Trougan et al., 2020)	43
Figure 10 : Localisation des quatre secteurs de la ZMEL du PNMGL avant leur extension (Laurent, 2020).....	49
Figure 11 : Typologie des activités humaines en mer côtière (Peuziat & Le Berre, 2015)	55
Figure 12 : Destination des bateaux de plongée en fonction de la force du vent.....	58
Figure 13 : Destination des bateaux de plaisance quand le vent dominant est la tramontane	59
Figure 14 : Destination des bateaux de plaisance quand le vent dominant est le marin.....	59
Figure 15 : Diagramme d'activité du bateau d'une structure de plongée associative	62
Figure 16 : Diagramme d'activité du bateau d'une structure de plongée professionnelle.....	63
Figure 17 : Diagramme d'activité du bateau de plaisance.....	65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des effectifs d'embarcations de plaisance au départ des principaux ports de plaisance de la côte.....	78
Tableau 2 : Répartition des effectifs d'embarcations de plongée au départ des principaux ports de plaisance de la côte.....	79
Tableau 3 : Nombre de bouées destinées en priorité aux bateaux de plaisance et de plongée dans les différents secteurs de ZMEL/ZMO avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL.....	88
Tableau 4 : Nombre de bateaux de plaisance, de plongée et nombre de rotations des bateaux de plongée simulés dans les différents scénarios.....	88
Tableaux 5 : Nombre de bateaux de plaisance et de plongée amarrés dans les secteurs de ZMEL, ancrés à proximité de ces derniers, ou ancrés dans des zones abritées du vent pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL	89
Tableaux 6 : Part des bateaux de plaisance et de plongée ayant pu accéder à leur destination privilégiée ou ayant dû changer de destination ; part des bateaux de plaisance ayant amarré, ancré ou caboté ; part des bateaux de plongée amarrés solo ou à couple pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL.....	90
Tableaux 7 : Rapport moyen (%) du nombre de bateaux de plaisance et de plongée réellement amarrés au nombre de places qui leurs sont destinées en priorité dans chaque secteur de ZMEL/ZMO pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL.....	91
Tableaux 8 : Rapport maximum (%) du nombre de bateaux de plaisance et de plongée réellement amarrés au nombre de places qui leurs sont destinées en priorité dans chaque secteur de ZMEL/ZMO pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL.....	92
Tableaux 9 : Durée cumulée (heures) pendant laquelle le nombre de bateaux de plaisance et de plongée réellement amarrés excède le nombre de places qui leurs sont destinées en priorité dans chaque secteur de ZMEL/ZMO pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL.....	93

Remerciements

Nous souhaitons remercier les gestionnaires d'aires marines protégées qui ont accepté de collaborer avec le CIREN et en particulier les agents du Parc naturel marin du golfe du Lion qui ont participé à l'exercice de modélisation : Marc Dumontier (Responsable du service Ingénierie), Alizée Martin (Chargée de mission Usages de loisir), Christelle Guyon (Chargée de mission Marha), Thierry Auga-Bascou (Agent du service Opérations), Romain Hubert (Adjoint du responsable du service Opérations) et Bruno Ferrari (Adjoint au directeur et responsable du service Opérations). Nous remercions également les agents de la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls qui nous ont transmis des données précieuses pour notre exercice de modélisation : Virginie Hartmann (Responsable scientifique) et Frédéric Cadène (Conservateur). Nous remercions enfin Mélissa Trougan (Chargée de mission Milieu marin de l'Aire marine protégée de la côte agathoise) d'avoir répondu à nos questions et transmis les documents nécessaires à la réalisation de notre étude.

Nous souhaitons également remercier les partenaires scientifiques contactés pour échanger ou collaborer sur cette action du projet : Cyril Tissot (Chargé de recherche CNRS, UMR 6554 LETG) et Mathias Rouan (Ingénieur de recherche CNRS, UMR 6554 LETG) pour nos échanges sur la modélisation multi-agents des activités marines ; Adrien Comte (Manager Expert, Nature-based Solutions chez EcoAct) pour nos échanges sur les zones de protection forte ; Mathieu Leclaire (Ingénieur de Recherche CNRS, UPS 3611 ISC-PIF) et Romain Reuillon (Chargé de recherche CNRS, UMR 8504 Géographie-Cités & UPS 3611 ISC-PIF) pour la collaboration sur l'exploration du modèle avec OpenMole (en cours) ; et enfin François Bousquet (Chercheur CIRAD, UMR SENS) pour notre échange sur la modélisation d'accompagnement.

Introduction

Ce rapport présente les travaux réalisés par le CIRED dans le cadre de l'action D2 du projet Life Marha entre janvier 2020 et avril 2022.

Le projet Life Marha (2018-2025) s'inscrit dans la démarche de préservation des habitats d'intérêt communautaire de l'Union européenne engagée depuis 1992 avec l'adoption de la Directive habitat. Cette Directive se traduit par le déploiement d'un réseau de sites Natura 2000 d'abord terrestre puis étendu en mer à partir de 2008. En milieu marin, la Directive classe les habitats en neuf grandes catégories génériques dont l'état de conservation est régulièrement évalué par le Muséum national d'histoire naturelle. Or les dernières évaluations de 2012 et 2018 rapportent un état de conservation défavorable de ces habitats. Pour remédier à cette situation critique et poursuivre l'objectif de rétablissement et de maintien du bon état de conservation des habitats naturels marins, le projet Life Marha prévoit de renforcer les capacités des acteurs impliqués dans la gestion des sites Natura 2000 en mer du territoire français.

Dans le cadre de cet effort collectif, l'un des axes thématiques abordés concerne l'intégration des usages et des activités (thématique 3). Parmi les enjeux de cette thématique (améliorer les connaissances sur les activités et les usagers en appui à la gestion, à l'évaluation et à la communication, ...), l'action D2 vise à évaluer les impacts des mesures de gestion, identifiées dans le cadre du projet, sur les activités des usagers du milieu marin, en termes d'acceptabilité, de conséquences économiques ou de fréquentation des sites. Les actions identifiées pour être évaluées en priorité sont la création de zones de protection forte, la mise en place de zones de mouillage écologique, des dispositifs de sensibilisation aux mesures et l'identification de mécanismes de financements innovants.

Pendant la phase 1 du projet, les actions à conduire dans le cadre de l'action D2 consistaient à identifier et ajuster les mesures et les sites à évaluer ainsi qu'à proposer les premiers développements méthodologiques. Pendant la phase 2 du projet, les actions à conduire consistaient à poursuivre les développements méthodologiques et à débiter les évaluations. Concernant les méthodes d'évaluation, il était attendu un certain degré de généralité, afin que ces dernières puissent être employées sur différents sites. Concernant la contribution du CIRED au développement de méthodes d'évaluation, il a été choisi de recourir à la modélisation multi-agents, présentant l'avantage de proposer une vision dynamique et systémique du socio-écosystème (SES).

Le présent rapport détaille ainsi la contribution du CIRED à la réalisation de l'action D2 durant les phases 1 et 2 du projet, en introduisant le contexte de demande croissante d'outils d'évaluation des aires protégées et notamment d'outils de modélisation (I) ; en proposant une méthode d'évaluation faisant appel à la modélisation multi-agents (II) ; en présentant sa mise en application à différents degrés dans deux sites partenaires (III).

I. Mobilisation d'outils de modélisation et de simulation pour l'évaluation des aires marines protégées

A. Un contexte de demande croissante d'outils d'évaluation des aires protégées

On peut situer le besoin correspondant à l'action D2 du projet Marha dans un contexte plus général de demande croissante d'outils d'évaluation des aires protégées, au point d'avoir fait l'objet d'un numéro spécial dans une revue scientifique (Ferraro & Pressey (Eds.), 2015). Il y est rappelé que le développement et la mise en œuvre de méthodes d'évaluation des impacts des stratégies de conservation constituent une préoccupation urgente des scientifiques et des gestionnaires, à terre comme en mer. En effet, la désignation légale de certaines zones par la création de différentes catégories d'aires protégées est un élément clé des efforts de conservation, mais pour développer des réseaux d'aires protégées efficaces, les praticiens ont besoin d'éléments scientifiques crédibles concernant le type et l'amplitude des impacts de ces aires protégées sur l'environnement et la société (Ferraro & Pressey, 2015). Il s'agit de déterminer dans quelle mesure les zones protégées contribuent à la conservation de la diversité biologique et des services écosystémiques, et de quelle manière elles affectent le bien-être des riverains et des autres bénéficiaires de ces espaces (touristes). Autrement dit, dans quelles conditions les zones protégées produisent-elles les effets environnementaux et sociaux attendus, et quand produisent-elles des effets indésirables ?

Répondre à cette question nécessite de concevoir des méthodes d'évaluation des impacts permettant d'estimer concrètement les effets produits par les aires protégées sur les plans environnementaux et sociaux, par rapport à des conditions inobservables (dites contrefactuelles¹) dans lesquelles les aires protégées seraient absentes ou prendraient d'autres formes. Il est généralement reconnu que la conception de telles méthodes nécessite une collaboration étroite entre chercheurs et gestionnaires ; l'identification des mécanismes par lesquels les zones protégées influent sur les plans environnementaux et sociaux ; l'emploi des résultats d'études rétrospectives pour alimenter des études prospectives visant à anticiper les impacts possibles de nouvelles formes de protection (Ibid.).

Parmi les approches disponibles, les outils de modélisation permettent aux gestionnaires d'explorer une série d'options et d'évaluer les impacts potentiels futurs d'interventions alternatives par rapport à des contrefactuels « hors intervention » (Fulton et al., 2015). Les modèles fournissent un outil pour formaliser et communiquer les expériences de pensée auxquelles les décideurs se livrent habituellement, et dans le cas présent restituer les hypothèses et attendus des gestionnaires de site Natura 2000 qui prévoient d'employer une mesure de gestion. Les résultats des modèles permettent aux parties concernées d'anticiper

¹ Un contrefactuel explore ce qui aurait pu se produire si une séquence d'événements ou de circonstances avait été différente. Dans le contexte de la modélisation et de la gestion des écosystèmes, le contrefactuel est l'état antérieur ou l'évolution future d'un système modélisé hors mesure de gestion. La différence entre le contrefactuel et l'état observé ou prédit permet d'isoler l'impact attribuable à la gestion ou à la perturbation.

les défis liés au déploiement de la mesure de gestion, de prévoir des moyens d'adaptation ou de faire valoir d'autres arrangements plus acceptables.

Bien sûr, les projections offertes par les modèles sont incertaines, et cette incertitude progresse avec l'horizon de simulation. Une partie de cette incertitude est liée aux réponses et aux décisions humaines, et à la façon dont elles façonnent le système. Or la gestion des aires marines protégées (AMP) peut impliquer de prendre en compte un grand nombre d'intérêts et d'intentions potentiellement contradictoires, qu'il n'est pas toujours aisé d'appréhender dans les modèles de gestion des AMP. Il est toutefois possible de modéliser certains aspects du comportement humain, réduisant ainsi certaines formes d'incertitude (Ibid.).

Parmi les techniques de modélisation existantes, la modélisation multi-agents constitue un moyen efficace de saisir les nuances du comportement humain à l'échelle d'individus ou de communautés. Plutôt que des équations, ces modèles utilisent des ensembles de règles comportementales dérivées d'observations empiriques, ou des arbres de décision, pour prescrire des comportements. Dans le contexte des AMP, cette approche a déjà été utilisée pour aider à évaluer les options de conservation et d'exploitation de stocks de poissons par la pêche à la ligne (Little et al., 2007) ou pour aider à la gestion du trafic maritime en présence de mammifères marins (Parrott et al., 2010). Plus généralement, un intérêt des approches modélisées réside dans le fait que l'environnement de simulation peut servir de socle commun pour des échanges entre participants ayant des représentations différentes et poursuivant des objectifs distincts (voire contradictoires). La démarche de modélisation permet alors d'organiser la discussion entre les participants, et d'aborder les questions critiques en amont du déploiement effectif des mesures de gestion (Fulton et al., 2015).

B. Quelques outils de modélisation et de simulation des socio-écosystèmes marins et des aires marines protégées

Dans le cas des socio-écosystèmes marins, les efforts de modélisation sont généralement concentrés sur le système écologique, et au titre du système économique, sur les activités de pêche. Certains modèles sont adaptés pour explorer l'impact des mesures spatiales de gestion sur la dynamique des pêcheries avec une description explicite de la dynamique spatiale et saisonnière des stocks de pêche, des activités halieutiques et des droits d'accès (ISIS-Fish²). Mais ils ne représentent pas les conditions environnementales ou les interactions trophiques et leur capacité à simuler l'impact de la gestion des pêches sur la dynamique des écosystèmes et les éventuelles rétroactions est limitée. D'autres outils modélisent explicitement les interactions trophiques entre des groupes écologiques uniformes avec des flux de biomasse basés sur des matrices de diète (Ecopath with Ecosim³, Atlantis⁴). Ils reposent sur l'hypothèse que les principales caractéristiques des écosystèmes marins dépendent de leur structure

² <http://isis-fish.org/>

³ <https://ecopath.org/>

⁴ <https://research.csiro.au/atlantis/>

trophique, et qu'il n'est donc pas nécessaire de détailler chaque espèce pour décrire l'état et la dynamique de l'écosystème. Ils peuvent être utilisés pour explorer l'évolution du système sous des variations des conditions biologiques ou halieutiques mais peuvent manquer de flexibilité pour simuler des changements de régime dus à des variations radicales de ces conditions. D'autres ne fixent pas d'interactions trophiques a priori, jugées trop rigides pour explorer les effets non linéaires à la fois de la pêche et d'un changement de la production primaire (pollutions telluriques, changement climatique). Ils décrivent la prédation comme un processus opportuniste qui dépend de la co-occurrence spatiale et de l'adéquation de la taille entre un prédateur et sa proie (OSMOSE⁵). Grâce à la simulation d'interactions trophiques émergentes, ils sont particulièrement pertinents pour explorer les effets simples ou combinés de la pêche, de la gestion et du changement climatique sur la dynamique de l'écosystème. Mais ils ne décrivent pas finement la dynamique des pêches (mortalité par pêche fixe) et doivent être couplés à des modèles individu-centré de dynamiques des flottilles (DSVM) (Bourdaud, 2018). Un tel couplage a été effectué pour évaluer les impacts à moyen terme de l'obligation de débarquement de toutes les captures sur le comportement des pêcheurs de Manche orientale et sur la structure de l'écosystème⁶ (période : 1970-1990) (Ibid.). Le modèle ISIS-Fish a quant à lui été récemment utilisé dans le cadre d'un exercice de géoprospective participative afin d'illustrer différents scénarios de gestion de la pêcherie mixte merlu/sole/langoustine du golfe de Gascogne incluant des zones interdites à la pêche et des variantes selon le type de navire autorisé (période : 2015-2050) (Provot et al., 2020).

Dans un autre registre, il convient d'évoquer les logiciels utilisés pour la planification spatiale marine. Le plus utilisé d'entre eux à l'échelle mondiale, Marxan⁷, fait l'objet de développements successifs depuis le début des années 2000 (Ball & Possingham, 2000 ; Watts et al., 2009). Ce logiciel ne repose pas sur une modélisation de la dynamique des systèmes écologiques et sociaux et de leurs interactions mais sur une équation mathématique traduite sous forme d'un algorithme de minimisation des coûts. Partant de données spatialisées sur la valeur des écosystèmes (habitats, espèces, biodiversité), Marxan permet de générer une cartographie des zones à protéger en priorité pour atteindre un objectif de conservation prédéfini, en minimisant les coûts socioéconomiques associés. Ces coûts, également spatialisés, peuvent représenter différents ordres de réalité (économique, social, culturel) mais doivent être ramenés à une même unité (un index) ou alors faire l'objet de scénarios distincts. Les zones associées à des coûts élevés (présentant une valeur socioéconomique importante) ont d'autant moins de chance d'être sélectionnées pour conservation. L'outil s'est progressivement enrichi de fonctionnalités supplémentaires telles que la possibilité de définir plusieurs types de zones (protection forte, usages durables, activités plus impactantes), de fixer des objectifs sectoriels (économique, social, culturel) à respecter au même titre que l'objectif principal de conservation (écologique), ou encore de jouer sur la compacité des zones à sélectionner (peu de zones de grande taille ou de nombreuses zones de petite taille). Proche de nous, ce logiciel a fait l'objet de plusieurs applications récentes visant à soutenir la

⁵ <https://www.osmose-model.org/>

⁶ Article 15 de la politique commune de la pêche visant à limiter au maximum le rejet de poissons non désirés, à soutenir les stocks et rendre les captures plus sélectives.

⁷ <https://marxansolutions.org/>

planification spatiale des espaces marins suivants : sud-est du Golfe de Gascogne (Galparsoro & Borja, 2021), mer Égée (Markantonatou et al., 2021), eaux territoriales portugaises (da Luz et al., 2018), mers Adriatique et Ionienne (Gissi et al., 2018). Une application de ce type est envisagée pour alimenter la concertation autour de la création de zones de protection forte dans le Parc naturel marin du golfe du Lion.

Les travaux de modélisation visant plus spécialement l'évaluation des impacts des AMP côtières sont principalement centrés sur les objectifs de conservation mentionnés dans les plans de gestion. En France, le projet PAMPA⁸ a déjà permis des avancées en faveur de l'intégration des dimensions sociales de la gestion des AMP côtières grâce à l'élaboration d'indicateurs de suivi considérant les activités pratiquées au même titre que l'état écologique des espaces marins. Mais la plupart du temps les différents indicateurs ne sont pas mis en relation ce qui ne permet pas d'anticiper l'évolution du système et d'identifier les mesures de gestion les plus adaptées. Pour compléter cette approche et pallier ses carences, une modélisation qualitative intégrant usagers récréatifs et biodiversité marine a récemment été proposée (Gonson, 2017). La modélisation qualitative repose sur la définition de relations entre les composants d'un système conçu comme étant régulé uniquement par des effets positifs ou négatifs. Dans sa description initiale le système (modèle de la réalité étudiée) est considéré comme étant à l'équilibre et tout l'intérêt est de rechercher les autres points d'équilibre possibles du système sous l'effet de perturbations affectant ses composants humains ou non-humains. Cette méthode a été appliquée pour identifier les conséquences possibles sur le socio-écosystème du lagon du Grand Nouméa de scénarios d'évolution prenant en compte une hausse de la fréquentation des usagers récréatifs et différentes hypothèses de gestion : aménagement littoral, accès restreint dans les réserves, limitation de la pêche dans certains secteurs (Ibid.).

Parmi les travaux de modélisation mettant l'accent sur les usagers de l'espace marin, on peut citer l'approche de modélisation DAHU pour « Dynamique des Activités HUmaines », développée au sein du laboratoire Géomer (UMR 6554 CNRS-LETG) depuis les années 2000. Cette approche a donné lieu à différentes déclinaisons sur le plan technique, dont le dénominateur commun est de chercher à décrire le déroulement d'activités humaines dans l'espace et dans le temps en s'appuyant sur des méthodes issues des modèles multi-agents, de la géomatique et des bases de données (Tissot, 2018). La mise en œuvre de cette approche nécessite une phase d'analyse conceptuelle consistant à acquérir et organiser des informations sur les différentes activités (calendriers et territoires de pratique, autres données permettant de quantifier l'activité), suivie d'une phase de simulation consistant à intégrer ces informations afin de produire un modèle d'ensemble de l'environnement étudié. Adaptée à l'espace marin⁹, cette méthode permet d'aborder des activités telles que la pêche, la navigation maritime ou l'extraction de matériaux en adoptant au besoin une typologie d'activités assez fine, l'objectif du modèle étant de fournir une description quotidienne du

⁸ « Indicateurs de la Performance des AMP pour la gestion des écosystèmes côtiers » (2008-2011) sous la direction de Dominique Pelletier (IFREMER).

⁹ La plate-forme originale n'est pas spécifiquement dédiée aux AMP côtières mais plus généralement aux environnements côtiers soumis à l'influence des activités humaines et du climat : zones terrestre et infra-littorale (module activités littorales) ou mer côtière (module activités marines).

déroulement de ces activités à différentes échelles spatio-temporelles (Tissot, Le Tixerant, & Rouan, 2005). Plusieurs applications ont été développées (mer d'Iroise, rade de Brest) pour faire valoir l'intérêt de cette méthode dans un contexte d'aide à la gestion : illustrer la variabilité du déroulement des activités au cours de l'année et mettre en évidence des zones de conflits potentiels ; apporter une aide à la décision suite à un évènement exceptionnel tel qu'un naufrage, ou dans le cas de projets susceptibles d'impacter le déroulement des activités tel l'implantation d'éoliennes, la création d'une nouvelle liaison maritime, l'extraction d'ulves ou encore le développement de l'aquaculture (Le Tixerant, 2004 ; Le Guyader, 2012 ; Gourmelon et al., 2013). Si cette méthode peut fournir un diagnostic assez précis des risques et opportunités associés à une mesure de gestion pour les usagers de l'espace marin par rapport au déroulement habituel de leur activité, elle n'est pas conçue pour simuler les reconfigurations possibles des pratiques (spatiale, temporelle) sous l'effet d'une mesure de gestion, d'un projet de développement ou d'un aléa.

C. Principes et intérêts de la modélisation et simulation multi-agents

Un agent est un individu ou un objet computationnel autonome possédant des propriétés et des actions particulières. La modélisation multi-agents est une forme de modélisation informatique dans laquelle un phénomène est modélisé à partir des comportements des agents et de leurs interactions entre eux (Wilensky & Rand, 2015). La modélisation multi-agents ne défend donc pas une école de pensée ni ne se cantonne à une discipline en particulier mais constitue une méthodologie permettant d'explorer, de comprendre et d'analyser des phénomènes et des scénarios dans une grande variété de domaines et de contextes.

Cette méthodologie présente une utilité dès lors qu'on choisit d'aborder un phénomène sous forme d'un système complexe, c'est-à-dire d'un système composé de nombreuses parties distribuées en interaction. L'une des propriétés des systèmes complexes que la modélisation multi-agents permet d'appréhender en particulier est celle d'émergence. On parle d'émergence lorsqu'un phénomène ou une entité trouve son origine à un niveau antérieur du système, typiquement lorsque des comportements codés au niveau individuel entraînent un comportement inattendu du système au niveau macro, ou non déductible de ce seul niveau. Autrement dit, la modélisation multi-agents s'intéresse aux systèmes complexes dans lesquels des entités naturelles (groupes d'animaux) ou artificielles (robots, avatars) interagissent pour produire des comportements collectifs : domotique, smart-grids, finance, jeux vidéo, etc. Une caractéristique importante de la modélisation multi-agents est qu'il est aisé d'y incorporer des phénomènes aléatoires. Tandis que d'autres formes de modélisation (modélisation par équations) exigent que chaque décision du modèle soit prise de manière déterministe, dans les modèles agents, les décisions peuvent être prises sur la base d'une probabilité. Cette caractéristique est particulièrement utile quand on ne dispose pas d'une connaissance suffisante du fonctionnement du système que l'on souhaite étudier pour construire un modèle complètement déterministe de ce dernier.

La modélisation multi-agents peut emprunter différentes directions, des plus théoriques aux plus appliquées. La modélisation qualifiée d'exploratoire (Wilensky & Rand, 2015) ou de conceptuelle (Livet, Phan & Sanders, 2014) part généralement d'une question empirique mais ne requiert pas nécessairement de données réelles associées à une étude de cas. Dans ce cas, on modélise des faits stylisés, des représentations simplifiées mais significatives de phénomènes réels. En procédant par comparaison et adaptation successives des comportements du modèle aux phénomènes réels, on cherche à consolider la compréhension et l'explication des phénomènes en question, en accordant une importance particulière à la généralité des résultats. A l'inverse, la modélisation basée sur les phénomènes (Wilensky & Rand, 2015) ou descriptive (Livet, Phan & Sanders, 2014) cherche d'abord à reproduire des phénomènes observés, un modèle de référence, typiquement une étude de cas. Dans cette situation, on modélise un ensemble d'agents dotés de règles permettant de générer le modèle de référence et dont le statut est celui de mécanisme explicatif potentiel. Dans un premier temps, les propriétés générales du modèle sont secondaires par rapport à la simulation et l'analyse de résultats réalistes, au regard de l'étude de cas. Dans un second temps, on peut comparer différents modèles locaux pour tenter d'identifier des similarités et de construire des abstractions généralisatrices. Cette montée en abstraction peut nourrir en retour la première approche de modélisation exploratoire/conceptuelle évoquée, les deux démarches n'étant pas contradictoires ou hermétiques. Ainsi on peut considérer que la première approche convient mieux lorsqu'on dispose d'un cadre conceptuel et de modèles qui ne parviennent pas à rendre compte complètement d'une situation, impliquant un travail sur les modèles existants, voire le cadre conceptuel lui-même. En revanche, la seconde approche apparaît plus appropriée quand on ne dispose pas d'emblée d'un corpus théorique adapté au problème considéré (Livet, Phan & Sanders, 2014).

Par rapport à d'autres techniques de modélisation, la modélisation multi-agents apparaît préférable quand les agents du système que l'on souhaite étudier sont hétérogènes, mais aussi quand les relations entre agents ou entre agents et leur environnement sont complexes. En écologie, une approche comparable (modélisation individus-centrée) est adoptée depuis la fin des années 1980 pour enrichir la modélisation des écosystèmes par la prise en compte de la variabilité et de l'unicité des individus (génétique, historique), ou du fait que chaque individu est situé et que ses interactions sont locales (déplacements, sélection des habitats) (Cormas). Dans le champ des sciences humaines et sociales (SHS), la modélisation multi-agents permet de simuler des phénomènes sociaux à partir des motivations et des comportements des individus concernés (individualisme méthodologique), ou à partir de groupes sociaux ou d'institutions régis selon des normes et des fonctionnements archétypiques (holisme). Plus précisément, la modélisation multi-agents permet d'explorer les conditions de complémentarité des deux approches, partant des énoncés suivants : les individus, produits d'une histoire, sont mus par des valeurs et des règles collectives ; les valeurs et les règles collectives évoluent en raison de l'interaction entre les individus et entre les groupes ; les individus ne sont ni semblables ni égaux mais porteurs de rôles et de statuts sociaux (Bousquet, 2001).

Dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables et des écosystèmes, la modélisation multi-agents se développe depuis les années 1990 pour représenter les

interactions entre dynamiques sociales et écologiques. Dans ce cas, on considère trois principaux types d'interactions : les interactions liées à la communication entre agents (négociation de règles et de contrats, échanges de biens et services), les interactions physiques (prédation, mise en culture, récolte ou pêche), et les interactions médiatisées par l'environnement (les conséquences de l'action d'un agent sur l'environnement commun sont susceptibles d'affecter en retour les autres agents partageant cet environnement) (Bousquet & Le Page, 2004). Parmi les applications pionnières, on peut citer un modèle de simulation du comportement des randonneurs en forêt et de leurs interactions avec l'environnement, en vue d'alimenter une planification alternative de ce loisir (Deadman & Gimblett, 1994). On peut aussi citer la modélisation conjointe du système d'irrigation des cultures en terrasses de l'île de Bali et du réseau de temples dédiés aux divinités agricoles qui définit l'échelle de coordination des agriculteurs, pour évaluer le rôle de l'architecture de ce dernier dans la gestion efficace des périmètres irrigués (Lansing & Kremer, 1993). On peut encore citer un modèle synthétisant les connaissances sociales, économiques et écologiques sur la pêche dans le delta intérieur du Niger et permettant d'illustrer la relation entre les règles d'accès à l'espace marin et l'évolution de l'équilibre écologique, avec pour objectif de faciliter le dialogue interdisciplinaire (Bousquet et al., 1993). Alors que les premiers cadres d'analyse sont souvent centrés sur l'un ou l'autre des systèmes, écologique ou social, la prise en compte de plus en plus ténue des rétroactions existant entre ces deux pôles explique la montée en puissance des conceptions en termes de socio-écosystème (SES) (Le Page, 2017).

Dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, des écosystèmes ou des SES, la modélisation et la simulation multi-agents peuvent servir d'outil d'aide à la décision considérant les résultats du modèle (délimitation de l'emprise d'une réserve par exemple), mais elles peuvent aussi contribuer au processus même de prise de décision (modélisation d'accompagnement) (Bousquet & Le Page, 2004). Cette proposition part de la reconnaissance de la nature imprévisible d'un SES, en particulier à long terme, et de la légitimité des différents points de vue des parties concernées sur ce dernier, ne serait-ce qu'à l'instant présent. Considérant que le long terme reste toutefois partiellement décidable, il est possible de se donner des repères et d'évaluer différentes trajectoires permettant de les atteindre (approche par scénarios), en tenant compte des nouvelles observations et connaissances acquises au fur et à mesure (gestion adaptative) (Bousquet, 2001). Pour décider d'objectifs et de moyens crédibles et acceptables, tout en favorisant les capacités d'adaptation à des échelles intermédiaires, il est proposé d'encourager l'élaboration d'une compréhension partagée du problème d'environnement considéré. Cette compréhension partagée ne se substitue pas aux points de vue spécifiques des parties concernées, mais au contraire nourrit la compréhension et l'appropriation par chacun des préoccupations des autres parties ainsi que de leurs dépendances réciproques en vue de favoriser le développement d'aptitudes collectives à la résolution de problèmes (apprentissage social) (Le Page, 2017). Dans cette perspective constructiviste, la modélisation et la simulation multi-agents sont des outils permettant de partager des représentations et d'élaborer une compréhension partagée.

Une opération d'accompagnement peut viser en priorité la production de connaissances destinées à améliorer la compréhension du système d'interactions ou aller un cran plus loin et s'insérer dans une concertation visant la transformation des pratiques d'interactions avec

la ressource ou des formes d'interactions socio-économiques (Étienne (Eds.), 2010). Au final, dans le cadre de la modélisation d'accompagnement, le recours à la modélisation et à la simulation multi-agents peut posséder les finalités suivantes : rendre visible des points de vue hétérogènes et les mettre en débat ; interroger la cohérence de ces points de vue et les conséquences de leur simulation conjointe par rapport au monde réel tel que vécu par les participants ; proposer un support pour explorer de manière collective des scénarios par des simulations sur un monde virtuel.

II. Proposition d'une méthode d'exploration des effets des mesures de conservation sur les activités et les usagers

A. Sélection des mesures pour lesquelles le recours à la modélisation multi-agents apparaît la plus pertinente

L'action D2 s'inscrit dans un ensemble de travaux en SHS prévus dans le cadre de Marha et attendus pour contribuer à la mise en œuvre de Natura 2000 en mer. Ces travaux doivent permettre de combler le manque de connaissance sur les représentations et les pratiques des usagers des sites Natura 2000 en mer. L'action D2 en particulier vise à proposer des méthodes d'évaluation de certains types d'actions déployées dans le cadre de Marha :

ZONES DE MOUILLAGES ET D'EQUIPEMENTS LEGERS (ZMEL)

L'établissement d'une ZMEL consiste à délimiter et aménager sur le domaine public maritime une aire d'accueil et de stationnement temporaires pour les navires et bateaux, avec des installations mobiles et relevables qui garantissent la réversibilité de l'affectation du site occupé. Cette opération vise à encadrer la pratique du mouillage, sur points de fixation ou sur ancres, dans des secteurs fréquentés par les plaisanciers et suffisamment abrités. Les ZMEL se distinguent des installations portuaires par le caractère « léger » des équipements qu'elles accueillent, mais également par les procédures applicables à leur création et leur gestion (MTES, 2020). Le projet Marha comporte une action dédiée au développement de nouvelles ZMEL (C.7.1), et en particulier à l'emploi de mouillages éco-innovants visant à réduire au maximum l'impact des mouillages et du balisage sur les habitats marins d'intérêt communautaire.

ZONES DE PROTECTION FORTE (ZPF)

Depuis 2008 et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), les États membres de l'Union Européenne sont tenus de prendre certaines mesures de protection et de conservation du milieu marin. L'une d'entre elles (M003-NAT1B) vise à constituer, à terme, un réseau de zones de protection forte cohérent, connecté et représentatif de la diversité des écosystèmes marins de chaque façade maritime en métropole. Ces zones de protection forte doivent prioritairement être instituées au sein d'AMP existantes, telles que les sites Natura 2000 ou les parcs naturels marins (PNM). La nouvelle Stratégie Nationale pour les Aires Protégées 2021-2030 (SNAP) de janvier 2021 réaffirme cette exigence (en y incluant les Outre-mer) et l'accompagne d'objectifs chiffrés avec l'ambition de protéger dès 2022 30% du territoire national et des espaces maritimes sous juridiction, dont un tiers sous protection forte. La loi Climat et Résilience d'août 2021 inscrit dans le Code de l'environnement le principe de l'adoption la SNAP (article 227). Dans ce cadre, un projet de décret d'application définissant la notion de « protection forte » et les modalités de décompte des zones

concernées par cette protection a été mis en consultation (14/01/22-05/02/22), puis publié au Journal officiel le 13 avril 2022¹⁰. Le projet Marha comporte une action dédiée au développement de ZPF (C.6) par le biais de différents instruments : arrêtés de protection de biotope, réserve naturelle, ou domaine public maritime affecté au Conservatoire du littoral.

SENSIBILISATION

Le projet Marha défend l'idée que l'adhésion des populations aux projets environnementaux est une clé de la protection. La sensibilisation désigne ici toutes les actions qui permettent d'aider les acteurs d'un territoire à adhérer à un projet environnemental : diffusion de supports pédagogiques, réalisation de campagnes de sensibilisation, développement d'outils numériques. Le projet Marha comporte une action dédiée à la modification des comportements en vue de limiter les effets des activités sur les habitats sensibles (C.8). Cette action comprend l'élaboration d'un guide méthodologique pour la conception et l'évaluation d'actions de sensibilisation pour le milieu marin (projet Guisma) débuté en 2018 et associant l'OFB, le groupe littoral des Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement (CPIE) et l'Institut Méditerranéen des Sciences de l'Information et de la Communication (IMSIC).

FINANCEMENTS INNOVANTS

Compte tenu des pressions existantes sur le budget de l'État, il importe d'étudier l'efficacité de la mise en œuvre de Natura 2000. Ce besoin est également pointé comme une priorité dans la stratégie pour la biodiversité de l'UE. Le projet Marha comporte une action dédiée à l'amélioration de la compréhension des modes de financements du réseau Natura 2000 et à la proposition d'une nouvelle stratégie de financement incluant des mécanismes de financement innovants (C.9) : mesures compensatoires ; paiements pour services environnementaux ; crédits carbone ; redevances éolienne, mouillage ou parking d'accès ; taxe sur le transport maritime de passagers ; crowdfunding. Cet aspect de l'action a fait l'objet d'un mémoire de recherche réalisé courant 2020 et co-encadré par Harold Levrel pour le CIRED, comprenant une revue de la littérature et une série d'entretiens auprès d'acteurs du réseau Natura 2000 en mer permettant d'identifier ces nouveaux financements et de mettre en lumière les plus prometteurs d'entre eux : le préjudice écologique, la compensation en mer et la création de fonds de dotations pour la conservation (Gaigne, 2020).

En général, les méthodes d'évaluation attendues doivent permettre de qualifier l'effet de la mesure sur la pratique des activités concernées : l'expérience de l'utilisateur est-elle améliorée ou dégradée par l'action du gestionnaire ? Elles doivent permettre d'aborder le cas où l'action

¹⁰ La définition retenue est la suivante : « Est reconnue comme zone de protection forte une zone géographique dans laquelle les pressions engendrées par les activités humaines susceptibles de compromettre la conservation des enjeux écologiques sont absentes, évitées, supprimées ou fortement limitées, et ce de manière pérenne, grâce à la mise en œuvre d'une protection foncière ou d'une réglementation adaptée, associée à un contrôle effectif des activités concernées ». [Décret n° 2022-527](#)

du gestionnaire a un impact globalement négatif sur l'activité ou l'usage : quelles en sont les implications en termes d'acceptabilité/acceptation et comment favoriser cette dernière ? Un autre objet des méthodes d'évaluation attendues est d'apprécier dans quelle mesure les actions entreprises ont réellement permis de réduire les atteintes portées à l'environnement. Il est indiqué trois critères d'évaluation communs aux différentes mesures, que nous nous proposons de commenter brièvement :

ACCEPTABILITE/ACCEPTATION

La littérature en SHS invite à aborder le thème de l'acceptabilité/acceptation (sociale) de manière ouverte et à ne pas considérer comme seul horizon d'analyse la réaction des parties concernées suite au déploiement d'une mesure décidée hors concertation en amont¹¹. Ainsi, il faut envisager qu'une même action apparaisse plus convenable moyennant certaines adaptations entendues avec les usagers, mais aussi qu'une action alternative leur apparaisse préférable pour un objectif de conservation donné. L'acceptabilité/acceptation ne dépend donc pas seulement du type d'action privilégié, mais bien de la conduite du projet. À ce titre, on peut souligner le lien entre gouvernance et acceptabilité/acceptation au sens où l'implication des acteurs et usagers dans la politique du site en général et la définition des mesures en particulier aurait un rôle à jouer dans l'acceptabilité/acceptation de ces dernières. Cette remarque fait écho aux arguments avancés en faveur de la modélisation d'accompagnement (voir supra). Elle rejoint également les préconisations du groupe de travail chargé, au sein du projet Marha, de caractériser la gouvernance des sites Natura 2000 en mer et d'émettre des recommandations pour améliorer sa qualité et son suivi. Ainsi l'un des quatre grands principes d'une gouvernance de qualité concerne sa capacité à garantir un accès équitable des acteurs à la concertation (Delannoy et al., 2020). Notons enfin que l'acceptabilité/acceptation peut évoluer dans le temps.

CONSEQUENCES ECONOMIQUES

Les conséquences économiques d'une mesure de conservation dépendent du public considéré et de l'échelle d'observation. Ces conséquences économiques peuvent par exemple concerner les coûts consentis par le gestionnaire de site et les parties sollicitées pour déployer une mesure : coûts de transaction et d'intervention, coût d'opportunité (Duhalde, 2016)¹². En

¹¹ Déjà, les deux intitulés d'acceptabilité et d'acceptation ne sont pas considérés comme équivalents ni substituables. On peut distinguer l'acceptabilité de principe (le non-rejet, la considération d'une option) et l'acceptation effective au sens du respect et de l'appropriation de règles qui vont éventuellement contraindre la pratique de l'activité (voir par exemple Laslaz, 2020). Dans ce rapport on conserve les deux intitulés accolés pour illustrer cette ambiguïté, mais il faut *a minima* considérer qu'il existe une gradation entre les deux.

¹² Les coûts de transaction sont globalement assimilables au temps consacré aux actions suivantes : développement de connaissances sur les milieux et la manière dont ils sont impactés, identification et contact des usagers impactant, analyse de terrain et préparation de l'opération, montage et suivi administratif du dossier, etc. S'y ajoutent des dépenses de fonctionnement : carburant, chauffage, électricité, café, frais d'experts, etc. Les coûts de production ou d'intervention prévus par la mesure sont généralement supportés par un prestataire extérieur, dont la facture est réglée grâce aux fonds dédiés à la protection des milieux, et concernent les aspects suivants : temps de travail, coûts en carburant, usure du capital, coût des équipements

contrepartie, il est délicat de quantifier les bénéfices environnementaux associés à une mesure : difficultés d'identification des améliorations biophysiques et de leurs bénéficiaires, de quantification des améliorations et des bénéfices associés. Il existe un enjeu spécifique d'attribution des changements observés sur le milieu à une opération de gestion donnée. L'analyse coût-bénéfice exprimée en unités monétaires est donc rarement de mise. L'évaluation des services écosystémiques est tout aussi prudente en ce qui concerne le poids à accorder à la valeur monétaire des flux de biens et services tirés du milieu (produits de la pêche...), qui reflètent une utilité marchande restreinte à un moment donné mais pas la valeur du capital naturel entamé ou sa criticité (Mongruel et al., 2018). Dans une perspective de conservation des écosystèmes marins, cette approche méthodologique préconise de mettre l'accent non pas sur la valeur des échanges marchands tirés du milieu mais sur les investissements nécessaires à la préservation durable des services potentiellement offerts par les écosystèmes (coûts de protection et de restauration).

Dans un autre registre, notons que l'animation d'un site (transversale aux différentes mesures) peut s'apprécier comme la constitution d'un capital humain devenant progressivement une ressource supplémentaire pour la gestion du site même (Duhalde, 2016)¹³. En lien avec le critère d'évaluation suivant, à savoir le nombre de visiteurs, on peut également indiquer l'existence de méthodes d'évaluation des retombées économiques locales de la fréquentation d'un site (indicateurs socio-économiques, modélisation macro-économique) (Boncoeur et al., 2013).

Compte tenu de l'orientation principale de l'action D.2, les conséquences économiques à considérer en priorité ici sont celles qui concernent directement et immédiatement les activités et usages, telles que : redevance perçue auprès des plaisanciers et des plongeurs pour services rendus par le gestionnaire d'une ZMEL ; impact sur les revenus des activités commerciales pratiquées initialement dans le périmètre d'une ZPF (pêche, plongée) selon les modalités de déport possibles ; toute forme de financement innovant impliquant la mise à contribution des usagers et activités du site (droit d'accès).

NOMBRE DE VISITEURS

Par rapport aux deux critères précédents, le nombre de visiteurs semble concerner plus étroitement le gestionnaire, mais la fréquentation observée par les usagers peut également jouer un rôle dans les pratiques d'accès au site (dans un sens répulsif ou attractif selon qu'une zone de pratique ou même une trajectoire de navigation apparaît saturée ou enviable). Le nombre de visiteurs intéresse notamment le gestionnaire pour évaluer l'impact des activités et usages sur le milieu mais la seule fréquentation ne permet pas de préjuger de l'impact sur

installés. Tout comme l'évaluation des impacts des AMP introduite au début de ce document nécessite la comparaison avec un contrefactuel, l'évaluation des coûts associés à une mesure particulière doit tenir compte du coût d'opportunité de cette dernière, c'est-à-dire du gain maximum que l'on aurait pu obtenir dans le meilleur emploi alternatif d'une ressource. Ainsi, pour le gestionnaire comme pour un acteur privé, le bénéfice net (coûts compris) associé à la mesure peut être inférieur à celui retiré d'une mesure alternative (ou d'une non-gestion).

¹³ Ce capital humain peut être décomposé entre : capital humain « intrinsèque » ; connaissances écologiques ; compétences administratives ; capital humain « extrinsèque » (réseau de connaissances et qualité des relations).

le milieu, qui dépend des pratiques précises et de la sensibilité à ces pratiques des habitats concernés (MNHN & SPN, 2012). L'analyse des impacts sur le milieu doit être abordée collectivement avec les partenaires chargés de l'évaluation de l'état de conservation des habitats (action D.1 de Marha). Pour alimenter cette analyse, il faudrait fournir une description de l'impact des actions sur la fréquentation (nombre de visiteurs, cartographie indicative par rapport aux habitats d'intérêt communautaire) mais aussi des changements de pratique (information qualitative).

Une autre attente vis-à-vis des outils d'évaluation concerne leur caractère générique, afin de pouvoir être utilisés par les gestionnaires des différents sites Natura 2000 de manière quasi autonome. En même temps, ces outils doivent permettre de délivrer des analyses suffisamment précises à l'échelle d'un site réel et de la déclinaison effective d'une mesure de conservation donnée. En ce qui concerne le recours à la modélisation multi-agents, cette double ambition d'un outil à la fois générique et spécifique mérite précaution puisqu'il est possible mais pas garanti à l'avance qu'une même représentation (un même modèle) soit valable pour tout type de mesure, site ou façade, ou qu'un tel outil puisse être exploité sans un appui technique suffisant. Il est donc prévu de prêter attention à cette tension entre caractère générique et spécifique du ou des outils proposés tout au long de l'action D.2.

Dans le cadre de l'action D.2, il apparaît que l'intérêt spécifique de la modélisation multi-agents est d'aborder les effets de fréquentation spatiale et temporelle des activités et usages associés à une mesure de conservation. On propose donc d'accorder la priorité aux mesures de gestion spatiale des usages : ZMEL et ZPF. Un résultat type de modélisation et simulation multi-agents pourrait concerner la mise en lumière des effets reports résultant de ces mesures, c'est-à-dire la réallocation dans le temps et dans l'espace d'une partie des activités. La prise en compte de ces effets reports permettrait de veiller à ce que les mesures étudiées ne génèrent pas d'engorgement d'autres zones à enjeux et notamment de nouveaux risques pour les habitats d'intérêt communautaire. Les actions de sensibilisation et les modes de financements innovants considérés sont très variables et moins susceptibles de permettre une montée en généralité telle qu'attendue. Ces deux types de mesures, sensibilisation et financement, apparaissent aussi comme des dimensions transversales, à aborder le cas échéant, c'est-à-dire si les mesures de gestion spatiale des usages s'appuient sur des actions de sensibilisation ou des outils de tarification. Par ailleurs, l'action spécifiquement dédiée à la sensibilisation dans le projet Marha (C.8) comporte des propositions sur la manière d'évaluer l'impact effectif de mesures de ce type, qui sont apparues tout à fait adaptées aux gestionnaires consultés.

Au regard de cette compréhension des attendus de l'action D.2, nous proposons d'inscrire le recours à la modélisation multi-agents dans une démarche en deux temps :

- Analyser les conséquences d'une mesure, ZMEL ou ZPF, pour les activités et usagers des sites sur lesquels elle est déjà mise en œuvre et en tirer des leçons pour la modélisation (évaluation ex-post)

- Explorer à l'aide d'un modèle multi-agents les conséquences possibles de la mesure pour les activités et usagers des sites sur lesquels la mesure doit être mise en œuvre (évaluation ex-ante)

Afin de qualifier l'effet de la mesure sur la pratique des activités et des usagers concernés, on cherchera à décomposer entre les modes de pratique habituels, les changements introduits par la mesure, et les adaptations qui en découlent. Dans les deux cas (évaluation ex-post ou ex-ante), on propose de solliciter et de faire dialoguer les observations et les anticipations des gestionnaires et des usagers, afin de contribuer à l'élaboration d'une compréhension partagée de la situation.

B. Description de la méthode proposée

En principe, le développement d'un modèle multi-agents dans une démarche de modélisation d'accompagnement comprend plusieurs phases de spécification, permettant de passer de la représentation du système de référence au code et aux simulations. Entre chaque phase, le niveau de formalisme s'accroît.

1. La première étape est une étape de « cadrage », consistant à raconter l'histoire que l'on cherche à mettre en scène dans le modèle et permettant de préciser la question à laquelle on cherche à répondre à l'aide du modèle. Cette étape permet de préciser les échelles de temps et d'espace considérées, les entités et les processus représentés, au regard de l'objectif du modèle.
2. La deuxième étape est celle de la « modélisation conceptuelle », consistant en une première traduction des éléments du modèle vers une représentation multi-agents à l'aide de récits et/ou de diagrammes simples.
3. La troisième étape est la formalisation du modèle conceptuel, à l'aide d'un langage de description dédié permettant de faciliter la communication et la vérification.
4. La quatrième étape consiste à implémenter le modèle informatique et à effectuer la simulation des scénarios.

Dans le cadre de l'action D.2 de Marha, nous proposons de décliner ces étapes de la manière suivante :

- Décrire la dynamique de gestion dans laquelle s'inscrit le recours à la mesure de gestion spatiale des usages
 - En rassemblant la documentation existante et en menant des entretiens complémentaires avec les gestionnaires et les usagers
 - En organisant les informations utiles à l'aide d'une grille d'analyse standardisée
- Préciser l'objet du modèle

- En formulant la ou les questions critiques pour lesquelles le modèle et les simulations présentent un intérêt particulier (scénarios, indicateurs de sortie)
- En précisant la typologie des principaux usagers à représenter de manière dynamique et en caractérisant le déroulé type de leurs pratiques, avec une attention portée à la variabilité des profils et des pratiques possibles (chronologies, territoires et modalités de pratique)
- Développer l’outil informatique
 - En représentant les différentes modalités de navigation et les alternatives de comportements possibles face à la mesure
 - En exploitant des données SIG et statistiques fournies par les gestionnaires, ainsi que des ordres de grandeurs à dire d’expert en cas d’absence de jeux de données consolidés
- Simuler les scénarios, analyser et partager les résultats
 - En comparant les résultats de simulation avec ceux d’autres formes d’évaluation et en les soumettant à la discussion auprès des gestionnaires et des usagers afin de contribuer à l’apprentissage collectif

Ici, il est prévu de réaliser les deux premières étapes en collaboration étroite avec les gestionnaires et les usagers des sites, sous forme de réunions de travail à distance et en présentiel, et d’itérations sur le contenu de l’expérimentation à l’aide d’un langage formel de description des éléments du modèle. La troisième étape est effectuée en interne au CIREC, à l’aide d’un environnement de modélisation programmable multi-agents intitulé NetLogo¹⁴. La simulation des scénarios est effectuée avec NetLogo tandis qu’une exploration plus complète des propriétés du modèle est réalisée à l’aide d’une plate-forme dédiée, en collaboration avec ses responsables scientifiques (OpenMole - ISC-PIF¹⁵). La réalisation de l’ensemble est largement dépendante de l’accès aux données mentionnées au quatrième point. Il convient également d’exposer deux options méthodologiques concernant le choix d’une description étayée de la dynamique de gestion et celui d’un horizon temporel de simulation limité à la journée dans un premier temps.

Pour décrire la dynamique de gestion dans laquelle s’inscrit le recours à une mesure de conservation, on peut se référer aux travaux existants consacrés à la description du déroulement des activités humaines en mer côtière et à l’analyse de leurs interactions (laboratoire Géomer, UMR 6554 CNRS-LETG). Ces travaux incluent notamment des outils de modélisation spatio-temporelle des activités évoqués dans la partie précédente (DAHU). Pour décrire le déroulement des activités humaines en mer côtière, ces travaux insistent sur la nécessité de considérer le contexte territorial précis dans lequel s’ancre la pratique de ces activités. En effet, il convient d’intégrer d’emblée la manière dont les différents instruments de gestion du milieu marin influent sur le déroulement des activités considérées.

¹⁴ <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

¹⁵ <https://openmole.org/>

Pour ce faire, on cherche à décrire un système de gouvernance composé de scènes de gestion, correspondant à des lieux d'échanges entre acteurs autour d'un objet commun et aboutissant au déploiement d'outils de gestion. Dans ce cas, le travail d'appréciation du contexte de gestion fait appel à une synthèse bibliographique et à des entretiens auprès des représentants des scènes de gestion, dont les contenus sont organisés à l'aide d'une grille d'analyse adéquate. Cette grille d'analyse nécessite de synthétiser les éléments suivants : périmètre du territoire concerné, description du dispositif (nature réglementaire, contractuelle, etc.), objectifs visés, dates clés, élément déclencheur de la mise en œuvre de la scène, porteur, acteurs impliqués, étapes de la mise en œuvre, éventuels points de blocage et résultats affichés (Pennanguer, 2005 dans Le Guyader, 2012). A la suite de ces travaux, dans le cas présent, on propose de mener les entretiens avec les gestionnaires et d'organiser les contenus bibliographiques selon les grands thèmes suivants (d'après Le Guyader, 2012) :

- Le gestionnaire de la zone Natura 2000
 - Identification
 - Rôle dans la mise en œuvre de la mesure
 - Autres strates administratives impliquées
- La mesure de conservation
 - Description du dispositif
 - Élément déclencheur
 - Étapes de la mise en œuvre (blocages, solutions, résultats)
 - Lien avec d'autres mesures (sensibilisation ?)
 - Financement « du bureau au bateau » (financements innovants ?)
- Les activités concernées
 - Identification
 - Intégration des activités concernées (concertation ?)
 - Influence sur la pratique et le déroulement spatio-temporel des activités
- Les interactions entre ces activités
 - Compatibilités et incompatibilités entre activités
 - Impact de la mesure sur cette situation

L'objet du modèle doit être précisé avec les parties concernées mais on propose de se fixer dans un premier temps sur la représentation d'une journée type (horizon de simulation : la journée). Ce parti pris correspond au souci d'étudier les conséquences directes et immédiates des mesures sur les activités et les usagers. L'échelle journalière apparaît aussi adaptée pour amener gestionnaires et usagers à aborder respectivement leurs intentions de gestion et leurs pratiques de manière concrète. Dans un second temps, on pourrait souhaiter se projeter sur une période plus longue permettant d'inclure davantage de modalités d'adaptation des gestionnaires et des usagers (horizon de simulation : la saison de navigation). A ce stade, la priorité est de s'accorder sur la typologie des usagers à représenter de manière dynamique dans le modèle, et sur la ou les journée(s) type(s) qu'il est intéressant de simuler pour éprouver la mesure de conservation. A partir de là, on peut établir les modalités de pratique

des usagers concernés : chronologie (heure de départ, durée de pratique, heure de retour), destination envisagée, attitude face à la contrainte exercée par une nouvelle mesure de gestion spatiale.

C. Identification des sites Natura 2000 intéressés et disponibles pour déployer la méthode

Les sites avec lesquels collaborer ont été identifiés dès l'écriture du projet pour l'ensemble de l'action D.2, tandis que la sélection des sites avec lesquels déployer notre méthode a été discutée avec le responsable Gouvernance et usages du projet, Paul Sauboua. Par grand type de mesures de conservation, l'action D.2 doit couvrir l'étude des sites Natura 2000 en mer suivants :

- Zones de mouillages et d'équipements légers (ZMEL)
 - Parc naturel marin du golfe du Lion (PNMGL)
 - Autres sites identifiés en cours de projet
- Zones de protection forte (ZPF)
 - Parc naturel régional Armorique (PNRA)
 - Parc national de Port Cros (PNPC)
- Sensibilisation
 - Parc naturel régional Armorique (PNRA)
 - Parc naturel régional du golfe du Morbihan (PNRGM)
 - Parc naturel régional de Camargue (PNRC)
- Financements innovants
 - Sites identifiés en cours de projet

Par ailleurs, nous avons pu consulter l'inventaire des mesures transmis par les différentes délégations de façade à l'OFB, ce qui nous a permis d'identifier d'autres sites partenaires potentiels, ayant déjà mis en œuvre ou ayant prévu de mettre en œuvre des ZMEL ou des ZPF. Au regard des sites pré-identifiés et de l'inventaire des mesures, à ce stade de l'action D.2, nous avons pris contact avec les gestionnaires des sites listés ci-dessous, qui ont accepté ou décliné notre proposition de collaboration pour les raisons suivantes :

SYNDICAT MIXTE ESPACES LITTORAUX DE LA MANCHE (SyMEL) → ZMEL

Le SyMEL a effectivement un projet de ZMEL sur l'archipel de Chausey mais ne trouve pas d'intérêt à employer notre méthode car il n'est pas prévu d'impact notable de cette mesure sur les usagers. En effet, il ne s'agit pas d'une création mais plutôt d'un changement de statut juridique d'équipements déjà présents de longue date. Ainsi, des travaux de remise en état des équipements ont été effectués en 2019, mais la capacité d'accueil n'a pas évolué : 96 mouillages individuels et 80 places visiteurs. Une nouveauté tout de même concerne la mise en place d'une redevance mouillage à la nuitée pour leurs visiteurs en période estivale (SyMEL, 2019).

PARC NATIONAL DE PORT CROS (PNPC) → ZMEL ET/OU ZPF

Concernant les ZPF, le PNPC a déjà contracté avec un prestataire pour mener un travail de concertation visant à identifier les ZPF de la biodiversité dans l'aire maritime adjacente¹⁶. Il apparaît préférable au gestionnaire de ne pas démultiplier les interlocuteurs sur le sujet à ce stade mais il est possible d'envisager une collaboration ultérieure. Il est notamment envisagé que nous puissions travailler à partir des résultats du prestataire, dont les livrables nous ont été transmis fin 2021.

Concernant les ZMEL, le PNPC a achevé un premier aménagement dans la passe de Bagaud/rade de Port-Cros (68 bouées d'amarrage à ancrages écologiques sur 176 ha) et prévoit d'en mettre en place un second autour de Porquerolles. Une première réunion a été organisée avec des membres de l'équipe de gestion en janvier 2022 pour leur présenter notre méthode et envisager une application en appui à la création de la ZMEL autour de Porquerolles. Des suites seront données selon l'intérêt du gestionnaire après consultation en interne (spécifier et prioriser les questions pour lesquelles le développement d'un outil de simulation serait opportun, établir un calendrier, évaluer la disponibilité des données nécessaires).

AIRE MARINE PROTEGEE DE LA COTE AGATHOISE (AMPCA) → ZPF

La ZPF est fraîchement créée et un dispositif d'évaluation lui a été adossé en interne, c'est pourquoi le développement d'un outil de modélisation dédié n'apparaît pas opportun au gestionnaire du site. En effet, le dispositif d'évaluation concerne les effets de la réserve dans ses différentes dimensions, dont les critères sont renseignés grâce à des suivis de terrain réguliers permettant de collecter des informations plus précises que celles susceptibles d'être tirées d'un exercice de modélisation. Cependant, le gestionnaire trouve pertinent que l'exemple de la mise en œuvre de la mesure sur son site serve de cas d'étude permettant

¹⁶ Cette collaboration s'insère dans le cadre du projet « MPA Networks » (2019-2022), cofinancé par le Fonds européen de développement régional. Dans le cadre de ce projet, le PNPC prévoit d'avancer sur la planification des usages en Aire Maritime Adjacente (AMA) avec la mise en place de ZPF. Il est prévu un accompagnement à la concertation à l'analyse des conflits (lot 1), ainsi qu'une étude de préfiguration à l'immersion potentielle de récifs artificiels en AMA (lot 2). Le travail de concertation et de préfiguration des ZPF est confié à l'Agence Indivisible : <https://www.agence-indivisible.fr/>

d'informer de futures architectures de modélisation visant à explorer les effets en termes de fréquentation spatiale et temporelle des activités et usages concernés par la mise en œuvre d'une réserve marine.

PARC NATUREL MARIN DU GOLFE DU LION (PNMGL) → ZMEL

Une ZMEL multi-sites est en cours de création au moment où nous démarrons nos travaux, aussi les gestionnaires sont intéressés pour servir de site modèle au déploiement de notre méthode et comparer leurs anticipations ainsi que les premières observations de terrain avec les résultats d'un exercice de modélisation et de simulation. En revanche, les gestionnaires ne sont pas favorables au fait que nous entrions en contact avec les usagers, ou que ces derniers soient étroitement associés à une démarche de modélisation d'accompagnement. Comme dans le cas du PNPC, un travail de concertation est mené, en interne cette fois, avec les différentes activités présentes sur le site en vue de créer des ZPF dans un avenir proche. Ce sujet étant considéré comme particulièrement sensible, il apparaît préférable au gestionnaire de ne pas solliciter les usagers autour de questionnements susceptibles de se recouper.

III. Exemples d'application de la méthode auprès de sites partenaires

A. Zone de protection forte de l'Aire marine protégée de la côte agathoise

Statut de la collaboration : synthétiser les éléments d'évaluation déjà existants pour favoriser la diffusion de cette étude de cas, et en tirer des leçons possibles pour un exercice de modélisation d'une mesure de gestion du même ordre sur un autre site. Ce travail a été effectué durant le premier trimestre de l'année 2021.

1. Description de la dynamique de gestion

La réalisation de cette description a nécessité deux échanges à distance avec la chargée de mission milieu marin du site en janvier 2021. De nombreuses études déjà réalisées en interne ou à l'aide de prestataires nous ont été transmises afin de capitaliser sur ces travaux : étude de préfiguration du cantonnement ; dossier de création du cantonnement ; suivis de fréquentation de l'AMP ; caractérisation de la pêche aux petits métiers ; suivi de la pêche récréative ; approfondissement de la connaissance des activités de plongée sous-marine, etc. Nous nous référons explicitement à ces documents par la suite.

LE GESTIONNAIRE DE LA ZONE NATURA 2000

Identification

Depuis 2013, la Ville d'Agde est gestionnaire de l'AMPCA et de la zone Natura 2000 correspondante, par le biais du service de la Direction de la gestion du milieu marin créé la même année.

Rôle dans la mise en œuvre de la mesure

Le porteur du projet de création d'un cantonnement de pêche sur le domaine public maritime est la ville d'Agde (Commune d'Agde, 2018). Ce projet de cantonnement de pêche s'inscrit dans les objectifs généraux de l'AMPCA exposés dans le DOCOB, que sont la limitation des impacts anthropiques sur le patrimoine naturel ainsi que le maintien et la gestion des activités de façon intégrée (Ibid.).

Autres strates administratives impliquées

La mise en place d'un cantonnement interdisant toute activité de pêche concourt à l'atteinte des objectifs fixés par le Plan d'Action pour le Milieu Marin de Méditerranée Occidentale,

découlant de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) et ceux de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) (Sabbio, 2017). Cette convergence de la mesure proposée avec les autres politiques de gestion du milieu marin permet à l'AMP de déposer un dossier dans le cadre du projet Marha afin de financer les coûts relatifs à la mise en place et au fonctionnement du cantonnement de pêche (Ibid.).

LA MESURE DE CONSERVATION

Description du dispositif

Éléments de définition

« Un cantonnement de pêche correspond à une zone délimitée en mer à l'intérieur de laquelle des réglementations de pêche temporaire ou pérenne sont mises en place afin de protéger la ressource halieutique » (Delayat et Legrand, 2011).

En Méditerranée, les effets écologiques connus des cantonnements de pêche sont supérieurs pour les espèces ciblées par la pêche relativement aux autres espèces. Pour évaluer positivement l'efficacité halieutique d'un cantonnement de pêche, il faut pouvoir observer un « effet spillover » (export d'individus adultes et juvéniles en périphérie du cantonnement) permettant aux pêcheurs de générer des captures plus importantes en dehors du périmètre protégé. Or ces effets ne sont pas systématiques et dépendent de la taille du cantonnement, des habitats protégés ou encore du degré de protection. L'expérience des autres cantonnements de pêche méditerranéens témoigne aussi de l'importance de l'implication des pêcheurs pour garantir l'efficacité de la mesure dans ses différentes dimensions, puisque tout défaut de respect du dispositif fait peser un risque de diminution des effets écologiques attendus. Dès lors, la surveillance et le balisage apparaissent comme des éléments décisifs de l'efficacité de ce type de mesure (Sabbio, 2017)¹⁷.

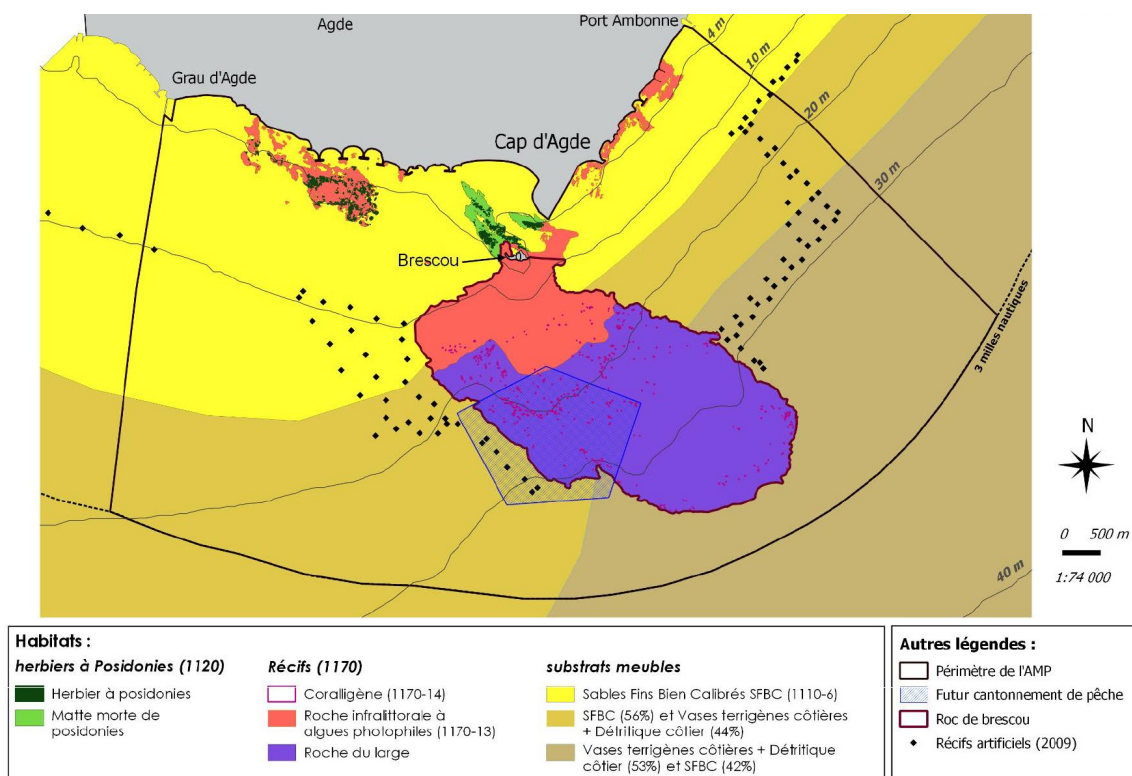
Ici, le cantonnement de pêche est couplé à l'interdiction de toute activité ayant un impact sur le milieu, afin d'éliminer les pressions exercées et de préserver durablement la ressource halieutique, mais aussi de préserver les fonds marins, et plus particulièrement le coralligène (Ibid.). Par arrêtés ministériels et préfectoraux, l'exercice des activités maritimes suivantes est ainsi interdit au sein du cantonnement de pêche : pêche professionnelle ; pêche récréative (y compris chasse sous-marine) ; plongée sous-marine ; mouillage des navires ; dragage ; usage des sous-marins personnels. L'autorisation du cantonnement est délivrée à titre précaire et révoquant pour une durée de six ans et peut être renouvelée sur demande du titulaire.

¹⁷ En région PACA notamment, les cantonnements du Parc Marin de la Côte Bleue, Carry-le-Rouet (1983, 92 ha) et Cap Couronne (1996, 197 ha), ont été reconduits pour une durée indéterminée car les suivis scientifiques réalisés démontrent des effets bénéfiques sur les habitats et la ressource à l'intérieur de leurs limites, ainsi qu'une exportation de biomasse permettant de générer des pêches plus conséquentes alentours. Ces cantonnements interdisent toute activité, sont balisés et surveillés par des agents habilités à constater des infractions. Toujours en PACA, le cantonnement de Cap Roux (2003, 450 ha) interdit toute activité à l'exception de la plongée sous-marine. Il est balisé uniquement l'été et n'est pas surveillé en permanence. Ici, les pêcheurs ne semblent pas bénéficier de l'effet spillover et des infractions au cantonnement sont mises en cause.

Situation du cantonnement

Le périmètre du cantonnement de pêche se situe principalement au niveau du roc de Brescou, entre -17 mètres et -34 mètres. Le roc de Brescou est un plateau rocheux sous-marin présentant une richesse biologique reconnue, source d'attrait pour les activités maritimes professionnelles et récréatives. Une partie de ce cantonnement se trouve également sur une zone de substrats meubles équipée de récifs artificiels destinés à soutenir la pêche professionnelle (Commune d'Agde, 2018)¹⁸. Le roc et son environnement immédiat sont constitués de roches d'origine volcanique, de sables fins, de vases détritiques mais aussi de coralligène, un habitat d'intérêt communautaire¹⁹. La forte valeur écologique et économique du coralligène (pêche, plongée) font du roc de Brescou un site d'intérêt majeur pour le littoral agathois, qu'il est nécessaire de conserver en bon état voire de restaurer (Ibid.)²⁰.

Figure 1 : Biocénoses de l'Aire marine protégée de la côte agathoise et emplacement du futur cantonnement de pêche (Commune d'Agde, 2018)



¹⁸ Sept récifs artificiels immergés en 2009 sont ainsi inclus dans le périmètre du cantonnement.

¹⁹ Le coralligène est principalement construit par l'accumulation d'algues calcaires encroûtantes vivant dans des conditions de luminosité réduite. Colonisé par des animaux bio-constructeurs et bio-érodeurs, le coralligène se présente sur la côte agathoise dans des fonds compris entre -12 et -30 mètres (Dali, 2019). De nombreuses espèces d'intérêt halieutique (homard, langouste, mostelle, sar) colonisent ces édifices, qui constituent un habitat fragile à fort intérêt écologique. Il représente aussi un enjeu économique majeur, notamment vis-à-vis de la ressource halieutique, ou par son aspect paysager, très prisé des plongeurs (Ibid.).

²⁰ On trouvera des éléments sur l'état de conservation, les menaces et l'évolution de l'habitat coralligène dans Blouet et al., 2019.

Elément déclencheur de la mise en œuvre de la mesure

Le point de départ du projet de cantonnement est la constatation d'une volonté quasi-unanime des pêcheurs professionnels de gérer la pêche plus durablement. En effet, depuis quelques années, les pêcheurs de la prud'homie d'Agde interpellent sur la diminution de leurs captures et la difficulté accrue de vivre de leur métier (Commune d'Agde, 2018)²¹. En Méditerranée, le secteur halieutique est structuré par la pêche artisanale ou aux petits métiers, correspondant à des bateaux de petite taille (généralement moins de 12 mètres), exerçant près des côtes (souvent à moins de 3 milles nautiques) avec un faible rayon d'action autour de leur port d'attache (Sabbio, 2017). La pêche aux petits métiers se caractérise par l'utilisation d'une grande diversité d'engins de pêche, le plus souvent passifs, pratiqués simultanément ou consécutivement. Compte tenu de la complexité de ces pêcheries multi-spécifiques, les méthodes de gestion conventionnelle sont réputées peu efficaces en Méditerranée, tandis que les cantonnements de pêche apparaissent comme un outil plus adapté (Ibid.). Ainsi, l'établissement du cantonnement de pêche vise en premier lieu le soutien de la pêche aux petits métiers agathois et en second lieu la protection du coralligène.

Principales étapes de la mise en œuvre

2016 - Suite à des discussions avec les pêcheurs sur l'outil « cantonnement de pêche », l'AMPCA propose à ces derniers de participer à deux groupes de travail sur les cantonnements interdisant toute activité de pêche, à Carry-le-Rouet au Parc Marin de la Côte Bleue et à Beauduc dans le Parc Naturel Régional de Camargue (Sabbio, 2017). Ces groupes de travail offrent l'occasion aux pêcheurs de la côte agathoise d'échanger avec leurs pairs sur les avantages et inconvénients d'un tel dispositif. Suite à ces groupes de travail, une majorité de pêcheurs est favorable à l'établissement d'un cantonnement interdisant toute activité de pêche (Ibid.).

²¹ L'impact des activités marines sur les habitats du site a déjà fait l'objet de plusieurs études probantes : dégâts liés à l'ancrage des bateaux de pêche et de plaisance, dégradation d'organismes fixés (herbier de posidonie et coralligène) par les activités sous-marines, impact des engins de pêche sur les habitats, etc. En revanche, il est plus difficile d'apprécier l'évolution réelle de la ressource : l'évolution des débarquements à la criée entre 2010 et 2016 atteste d'une diminution des captures de l'ordre de 18% sur la période (de 55 000 kg à 10 000 kg), mais ces données ne représentent que 40% des débarquements, contre 20% de vente directe, 20% aux mareyeurs et 20% aux restaurants et poissonneries, sans compter qu'une part non négligeable des débarquements n'est pas déclarée (Sabbio, 2017). Pourtant, plus de 80% des pêcheurs petits métiers enquêtés en 2017 disent observer une diminution de la ressource. 74% d'entre eux considèrent aussi que le milieu marin est en mauvais état. Au final, plus de 55% des enquêtés estiment à la fois que la ressource est en diminution et que le milieu est en mauvais état. « En revanche, ils ne considèrent pas tous que la ressource est en diminution en raison de l'état du milieu. En effet, beaucoup pensent que ce sont les chalutiers qui sont à l'origine de ce déclin ainsi que les senneurs et les pêcheurs de loisirs. D'autres estiment que les poissons ont fui en raison de la présence d'un grand nombre de bateaux pendant la période estivale et des filières de pots à poulpe. Egalement, ils pensent être trop nombreux à pêcher sur une zone relativement restreinte » (Ibid.).

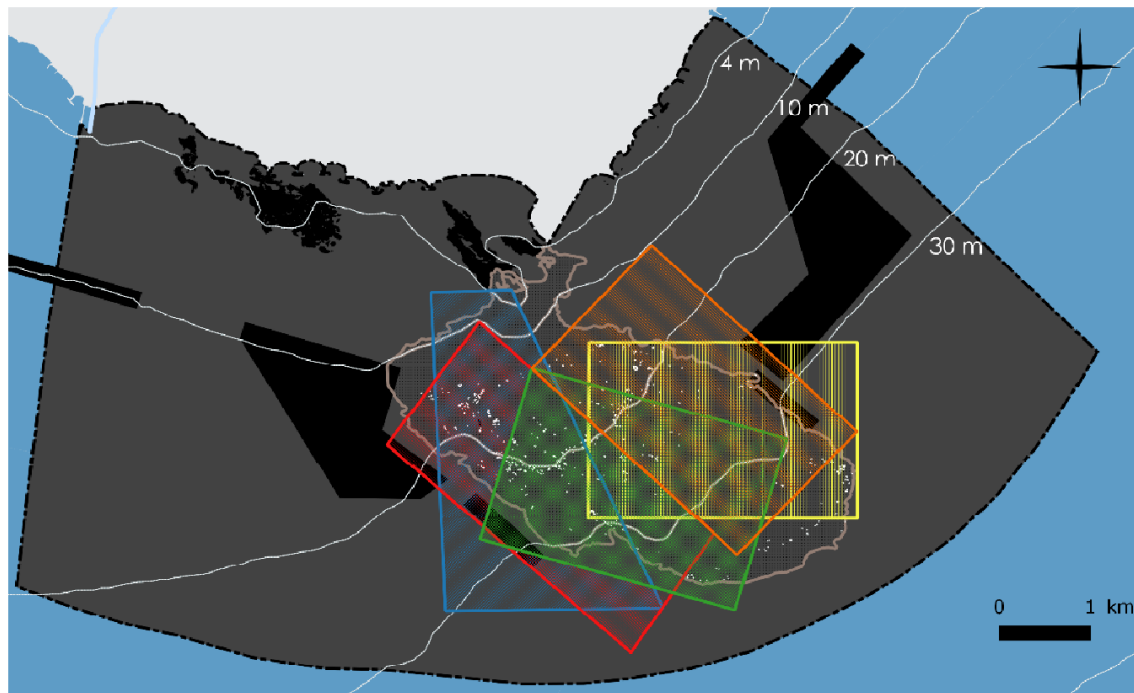
2017 - L'AMPCA entreprend la réalisation d'une étude pour la création d'un cantonnement de pêche conjointement avec les pêcheurs professionnels.

Les différentes étapes de cette étude sont détaillées dans le rapport de stage dédié (Sabbio, 2017) : entretiens individuels avec l'ensemble des patrons pêcheurs petits métiers côtiers agathois ; élaboration de différents scénarios pour le futur cantonnement de pêche à partir des croquis réalisés par les pêcheurs lors des enquêtes, et tenant compte de la localisation du coralligène ; analyse multicritère des scénarios : critères sociaux, économiques, écologiques et de gestion.

Il ressort des entretiens individuels que les pêcheurs attendent principalement d'un cantonnement de pouvoir améliorer leurs captures tout en déployant moins de matériel, grâce à une amélioration de la biomasse des différentes espèces. Les pêcheurs sont très majoritairement favorables à la création d'un cantonnement interdisant toute activité, mais 66% d'entre eux accepteraient d'autoriser les clubs de plongée à accéder aux deux principaux spots de coralligène déjà très fréquentés (Le Casier et Les 3 Pics) sous certaines conditions restrictives : interdiction de mouillage, identification facilitée, pratique contenue à un jour par semaine. L'ensemble des pêcheurs considère comme indispensable le balisage et la surveillance de la zone et une majorité de pêcheurs se prononce en faveur d'une amende élevée à portée dissuasive en cas d'infraction. L'opportunité d'instaurer une « zone tampon » permettant de réglementer les activités en périphérie du cantonnement afin d'augmenter l'effet spillover est aussi discutée. Une large majorité de pêcheurs y est favorable, mais le balisage supplémentaire que nécessiterait sa matérialisation représente un coût trop élevé et cette option n'est pas retenue dans l'immédiat (Ibid.).

Lors des entretiens individuels, les pêcheurs sont spécifiquement interrogés sur leurs préférences concernant la taille et l'emplacement du cantonnement. Une analyse spatiale des différentes propositions est ensuite réalisée, mettant en évidence les zones favorisées par une majorité d'enquêtés. Il apparaît que celles-ci se situent sur le roc de Brescou et qu'en moyenne, le périmètre dessiné couvre 600 ha. Aussi la construction des scénarios par le gestionnaire repose sur la délimitation de zones rectangulaires de 600 hectares, tenant compte des suffrages des pêcheurs et de la localisation du coralligène, tout en considérant des zones relativement distinctes. Le choix d'une forme rectangulaire doit permettre de faciliter le balisage en mer. Quatre scénarios sont élaborés sur ce principe et un scénario supplémentaire est proposé par l'AMP. Une réunion ultérieure avec les pêcheurs doit permettre de choisir l'un de ces scénarios et éventuellement l'amender.

Figure 2 : Périmètres retenus pour les différents scénarii (Sabbio, 2017)



Pour procéder à l'analyse des scénarios, différents critères sociaux, économiques, écologiques et de gestion sont pris en compte. Tous critères confondus, c'est le scénario proposé par l'AMP qui apparaît comme le plus favorable, suivi des scénarios « P4 », puis « P1 », puis « P3 » et enfin « P2 ». Concernant l'objectif de protection du coralligène, les scénarios « P4 » et « AMP » sont les plus favorables puisqu'ils couvrent 10% à 30% de coralligène en plus des autres. En revanche, ces deux scénarios apparaissent les moins susceptibles « d'acceptabilité sociale » puisqu'ils couvrent des zones très fréquentées des pêcheurs de loisir.

Il est rappelé que l'efficacité halieutique du cantonnement dépend de différents facteurs : maintien de l'intégrité de l'écosystème, diminution de la mortalité par pêche, protection des juvéniles et des reproducteurs. La taille du cantonnement de pêche constitue également un critère de gestion durable des stocks exploités. Dans la littérature, la taille du cantonnement efficace est estimée comme une proportion allant de 10% à 50% de la zone de pêche initiale. Ici, les différents scénarios reposent sur des périmètres de taille identique et couvrent des secteurs de fréquentation comparable. Ces derniers ne peuvent donc pas être discriminés selon ce critère, mais on estime que la fermeture d'une zone de pêche de 600 ha sur les 8 100 ha de la prud'homie d'Agde permettrait d'éviter 7,4% d'effort de pêche, si aucun report de cet effort n'était observé.

Concernant l'impact possible du cantonnement sur les autres activités, il apparaît que l'économie de l'activité de plongée sous-marine pourrait être affectée par l'interdiction

d'accès aux sites compris dans le périmètre étudié. Mais il est relevé que cet impact pourrait être compensé par un autre projet initié par l'AMPCA, à savoir la mise en place d'un récif artificiel récréatif. Pour les autres activités de loisir, les éléments économiques ne sont pas connus à ce stade et l'étude ne peut pas conclure mais une démarche de concertation doit être entreprise avec l'ensemble des acteurs, afin d'évaluer leur acceptabilité vis-à-vis du projet et de modifier le périmètre du cantonnement pour tenir compte de leurs attentes, le cas échéant.

Pour finir, cette étude de préfiguration préconise de suivre l'évolution du cantonnement et d'apprécier l'atteinte des objectifs associés à l'aide de différents indicateurs sociaux, économiques, écologiques et de gestion. A cet égard, il est recommandé de procéder à une première évaluation des indicateurs avant la mise en place du cantonnement, afin de disposer d'un point de référence, mais encore, de réaliser les suivis écologiques dans et en dehors de la zone du cantonnement. Certains des indicateurs en question sont déjà renseignés par l'AMPCA depuis plusieurs années : indicateurs écologiques (ressource, coralligène, biodiversité) et économiques (CPUE, débarquements, fréquentation), mais il n'existe pas encore d'indicateurs sociaux (pénibilité du travail des pêcheurs) ou de gestion (respect de la réglementation).

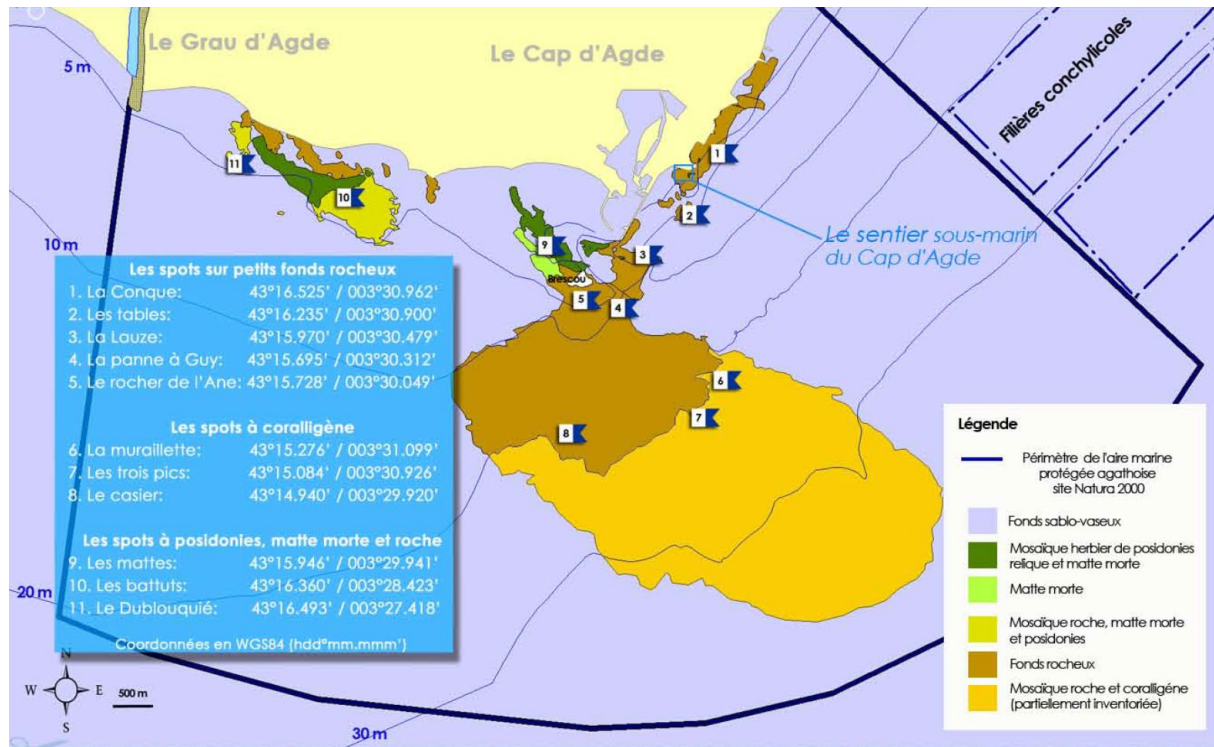
Octobre 2017 - Validation du projet de cantonnement par les pêcheurs professionnels

Un groupe de travail est organisé avec les pêcheurs professionnels afin de valider le projet de cantonnement, sa localisation et sa superficie, à partir des différents scénarios proposés par l'AMPCA. A cette occasion, les pêcheurs professionnels approuvent un secteur d'environ 300 hectares situé à l'ouest du roc de Brescou et intégrant des récifs artificiels existants destinés à soutenir la pêche professionnelle, soit la partie centrale du scénario « P4 » (Commune d'Agde, 2018).

Octobre 2017 - Février 2018 - Concertation avec les autres représentants d'utilisateurs

A la suite de la validation du projet de cantonnement par les pêcheurs professionnels, l'équipe de l'AMPCA entreprend une démarche de concertation auprès des représentants des autres catégories d'utilisateurs évoluant dans le secteur. Un premier groupe de travail a lieu en novembre 2017 avec l'ensemble des centres de plongée professionnels et associatifs afin de discuter du secteur, de la superficie et des sites de plongée concernés par le cantonnement. A l'issue de ces échanges, le périmètre du cantonnement est remodelé sous forme d'un pentagone de 310 hectares (Commune d'Agde, 2018). Ce changement de format permet d'exclure les principaux sites de plongée sur coralligène du périmètre de la réserve. C'est ce périmètre qui est ensuite proposé et validé lors des groupes de travail suivants avec les autres représentants d'utilisateurs : sociétés de navigation et de pêche en mer, pêche de loisir embarquée, chasse sous-marine, etc.

Figure 3 : Les « spots » de plongée de l'Aire marine protégée agathoise (ADENA, 2010)



Juillet 2018 - Validation d'un scénario final approuvé par tous les acteurs

Le projet final de cantonnement est présenté et validé par l'ensemble des membres du Comité de pilotage du site Natura 2000 - AMP de la côte agathoise le 11 juillet 2018. Le cantonnement voté couvre une zone d'une superficie de 310 hectares, située à l'Ouest du roc de Brescou entre les lignes bathymétriques -17 m et -34 m et englobant une partie des récifs artificiels présents à proximité du roc. Il doit permettre de protéger 42% du coralligène présent dans l'AMP (Commune d'Agde, 2018).

Fin 2018 - Dépôt du dossier administratif auprès de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM)

Suite au vote du cantonnement, l'AMPCA entreprend le montage du dossier administratif auprès de la DDTM, avec pour objectif la création du cantonnement au second semestre 2019. Les étapes prévues pour la création de la réserve marine sont les suivantes (DGMM Agde, 2018) :

- Consultation pour avis : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins (CRPMEM), Commission Nautique Locale

- Validation du dossier par le préfet maritime
- Envoi du dossier à la Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA)
- Consultation des avis du Comité national des pêches maritimes et des élevages marins (CNPMM) et enquête publique
- Publication de l'arrêté ministériel portant création du cantonnement de pêche et interdisant toute activité de prélèvement de la ressource
- Envoi du dossier à la DDTM
- Publication de l'arrêté préfectoral réglementant la plongée sous-marine, le mouillage, le dragage et l'usage de sous-marin personnel

Au cours du premier semestre 2019, il est prévu de progresser sur l'obtention des moyens réglementaires (arrêtés suscités), l'organisation du balisage et de la surveillance de la réserve. Cette surveillance doit être effectuée par des agents de l'AMPCA, grâce à un navire dédié équipé d'un système de surveillance à identification automatique, ainsi que par des agents de l'Etat habilités à constater les infractions et les délits.

2019 - Refus de la demande de balisage par le service des phares et balises (services de l'État)

Le service des phares et balises refuse d'installer les bouées prévues pour délimiter le périmètre de la réserve, au motif du danger pour la navigation qu'elles présentent. L'AMPCA analyse le refus de balisage du service des phares et balises comme la manifestation d'une mutation plus profonde de la stratégie de signalisation maritime au niveau national. Si le refus de balisage est officiellement motivé par les risques d'accident liés à la multiplication des marquages sur le plan d'eau, ces risques n'apparaissent pas fondés sur un historique local. C'est plutôt une doctrine nationale peu favorable au balisage qui semble être en jeu²².

Pour compenser l'absence de balisage physique, l'AMPCA prévoit de renforcer la présence des contrôles sur place et d'améliorer les applications mobiles de navigation. Par la suite, le site est désigné pilote national pour le développement d'un balisage dit « virtuel ». Concrètement, dans le cadre de Marha, une application mobile doit être développée en remplacement du balisage physique/réel. Le gestionnaire prévoit qu'il sera difficile de surveiller le respect du cantonnement de pêche en permanence, sauf à impliquer les prud'hommes dans le processus.

²² Ce mouvement engagé depuis plusieurs années se signale notamment par un rapport de 2018 de l'Inspection générale des Affaires maritimes et du Conseil général de l'environnement et du développement durable pour le compte du Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et du Secrétariat d'État chargé des transports, de la mer et de la pêche. Ce rapport préconise une réduction du parc d'établissements de signalisation maritime (ensemble des dispositifs d'aide à la navigation maritime) et une réflexion stratégique sur le balisage du futur intégrant la révolution du GPS (balisage virtuel), sans renoncer systématiquement au balisage réel (Baraduc et al., 2018). Le thème de la signalisation maritime est aussi abordé dans le cadre du projet « Affaires maritimes 2022 » entrepris par la Direction des affaires maritimes. Il s'agit d'un projet financé sur la période 2018-2022 avec pour objet l'anticipation et l'adaptation aux enjeux écologiques, économiques et numériques, la modernisation des outils, la préservation des compétences et la recherche d'économies de moyens publics. Un des axes de ce projet concerne la signalisation maritime et notamment la poursuite de la rationalisation du balisage et son adaptation aux nouveaux enjeux du numérique (EGNOS, balisage virtuel, Balisenav) (DAM, 2018).

En effet, les cantonnements apparaissent sur les logiciels de navigation embarqués mais tout dépend ensuite de l'appétence et de la familiarité des usagers pour les applications numériques. C'est pourquoi des suivis et enquêtes seront menés sur le terrain pour tester la compréhension et le respect du dispositif.

27 décembre 2019 - Arrêté ministériel portant création de la réserve

31 janvier 2020 - Arrêté préfectoral interdisant toute activité, sauf la navigation, sur la zone en question

Lien avec d'autres mesures

Du point de vue du gestionnaire, il n'y pas de lien explicite à faire avec d'autres mesures, mais certaines d'entre elles, déjà en place ou à venir, nous apparaissent pourtant complémentaires au cantonnement de pêche. Par exemple, la création de la ZMEL Brescou-Les Tables en 2014 est une autre mesure de gestion spatiale des usages visant à limiter l'ancrage sur les fonds remarquables du site (posidonie et coralligène). Pour le gestionnaire, il s'agit d'un lien faible, car la ZMEL ne cible pas prioritairement le même public : plutôt les plaisanciers, moins directement concernés par le projet de cantonnement. En effet, la zone de « Brescou » est l'une des plus fréquentées par la plaisance. Pourtant, la ZMEL permet aussi aux structures de plongée, plus directement concernées par le cantonnement, de poursuivre leur activité avec un impact limité sur le milieu : la zone « Les Tables » est un site emblématique de plongée sur la côte agathoise tandis que la zone de « Brescou » compte deux bouées destinées à la plongée (AFB, 2017). Dans l'étude sur l'activité de plongée sous-marine produite dans le cadre de l'action A.3 de Marha, la concrétisation de la ZMEL est analysée comme un antécédent de collaboration réussie entre l'AMPCA et les plongeurs ayant contribué à la construction de la confiance nécessaire à la mise en place ultérieure du projet de cantonnement (Menthonnex et al., 2020).

Autre exemple, l'implantation d'un récif artificiel paysager/récréatif destiné aux plongeurs est considérée comme une mesure distincte de la mise en place du cantonnement. Pourtant, la mise en place de ce récif peut se lire comme une forme de contrepartie au projet de cantonnement, comme une relocalisation programmée des usages susceptibles d'être impactés et permettant d'éviter des effets reports incontrôlés²³. Sur ce point, le gestionnaire enjoint à la prudence : d'un côté, le projet de récif artificiel constitue effectivement un moyen

²³ Le projet Récif'lab est l'un des bénéficiaires du Programme d'Investissement d'Avenir en 2017. Le projet est coordonné par la Ville d'Agde en partenariat avec Seaboost (entreprise spécialisée en génie écologique marin). Le projet vise notamment « à réduire et maîtriser les pressions persistantes sur des écosystèmes sensibles en accompagnant les restrictions d'usage portant sur la plongée et la plaisance avec la création d'offres innovantes et écologiques de substitution » (ADEME & Commune d'Agde, 2018). L'une des actions du projet consiste ainsi en « l'immersion d'une structure artificielle paysagère par impression 3D béton permettant le déport de l'activité de plongée sous-marine de l'habitat marin coralligène » (Ibid.).

de déporter la pression des plongeurs, de délester les sites naturels sur-fréquentés et de soutenir économiquement les structures de plongée, d'un autre côté, il n'est pas question d'apporter un soutien spécifique à telle ou telle activité et l'objectif principal est d'ordre écologique.

On peut enfin évoquer une autre forme de lien avec la politique générale de gestion de la pêche professionnelle sur le site, puisque l'étude de préfiguration permet d'identifier différents moyens par lesquels les patrons pêcheurs petits métiers envisagent de s'investir dans une gestion durable des pêches : réglementation de la pêche au pot à poulpe et des dimensions des filets trémails et maillants (maille et longueur), quotas sur le poulpe afin de stabiliser les prix sur le marché, définition de postes de pêche afin d'alterner la position des filières de pots à poulpe des pêcheurs, réflexion sur la pêche au rouget (Sabbio, 2017).

Financement de la mesure

Le financement du cantonnement de pêche est assuré par le projet Marha, dont l'AMPCA est l'un des douze bénéficiaires. Le budget consacré au projet de cantonnement comprend l'achat d'un bateau dédié au suivi et à la surveillance, la communication sur ce projet, ainsi que les suivis scientifiques et techniques (biodiversité, fréquentation, socio-économique).

ACTIVITES CONCERNEES

Identification des principales activités concernées

- Pêche professionnelle côtière, dite pêche artisanale ou petits métiers
- Pêche récréative
- Plongée sous-marine

Intégration des activités concernées à la mise en place de la mesure

On peut distinguer différents niveaux d'intégration des activités concernées à la mise en place de la mesure : co-construction du projet avec les pêcheurs professionnels puis concertation avec les représentants des autres activités et les plongeurs en particulier.

La co-construction du projet entre l'AMPCA et les pêcheurs repose sur la prise en considération de leurs attentes via la réalisation d'entretiens individuels avec l'ensemble des patrons pêcheurs petits métiers côtiers agathois (Sabbio, 2017). Leur avis est également pris en compte dans l'analyse multicritère au travers du calcul du pourcentage de pêcheurs favorables à au moins 50% du périmètre d'un scénario. L'analyse multicritère intègre le point de vue anticipé des autres activités en supposant que les secteurs les plus fréquentés sont les moins acceptables. Notons enfin la mise en place d'un groupe de travail dédié au projet de cantonnement consistant à réunir les pêcheurs une à deux fois par an afin de leur présenter les résultats scientifiques et d'aborder les réglementations d'une zone tampon, dans le cas où elle serait établie.

A la suite de la validation du projet de cantonnement par les pêcheurs professionnels, l'équipe de l'AMPCA entreprend de rencontrer les différents acteurs locaux sous forme de groupes de travail destinés à faire connaître et accepter le projet (Commune d'Agde, 2018). Cette démarche de concertation est menée en priorité auprès des structures de plongée et leur confère un poids relativement plus important dans la décision finale.

Influence de la mesure sur la pratique des activités concernées

La question de l'influence de la mesure sur la pratique des activités concernées peut être abordée en plusieurs temps et de plusieurs manières : en amont de la création de la réserve sous l'angle des anticipations du gestionnaire, tenant compte du travail effectué avec les représentants d'utilisateurs ; dans le cadre d'études spécifiques concernant les différentes catégories d'utilisateurs, la caractérisation de leurs pratiques et leurs points de vue sur la réserve ; à l'occasion des suivis de fréquentation annuels du site.

Le suivi de l'évolution de la réserve et l'évaluation de son efficacité constituant une demande des services instructeurs pour toute création de cantonnements en France, l'AMPCA s'est dotée de méthodes d'évaluation en interne (Groizard, 2019). Afin de suivre l'évolution du cantonnement de pêche et l'atteinte de ses objectifs, différents indicateurs sociaux, économiques, écologiques et de gestion sont ainsi proposés par l'AMPCA. Pour évaluer les effets du cantonnement de pêche dans ses différentes dimensions, l'AMPCA déploie une analyse dite « before after control impact » (d'après Mesnildrey et al., 2010). Pour mettre en perspective les effets observés, cette méthode exige de disposer de points de référence et de réaliser des suivis dans et dehors de la zone de cantonnement. Une partie des métriques nécessaires est déjà renseignée grâce aux différents suivis effectués par l'AMPCA : suivi coralligène, suivi ichtyologique, suivi de fréquentation, suivi de la pêche petits métiers (Commune d'Agde, 2018). Pour préciser les informations manquantes et renseigner les métriques nécessaires, différentes études spécifiques sont menées, qui ciblent les principales catégories d'utilisateurs concernés par la mesure : études sur la pêche artisanale, la pêche récréative et la plongée.

Eléments du dossier de demande de création du cantonnement

Dans le cadre de la demande de création du cantonnement de pêche, la fréquentation connue du roc de Brescou fait l'objet d'une première synthèse (Commune d'Agde, 2018). Il est précisé que la période de fréquentation sur le roc de Brescou est dépendante de l'activité : elle est annuelle en ce qui concerne la pêche professionnelle tandis qu'elle est principalement estivale pour les activités de loisirs. Les activités économiques et de loisirs qui se côtoient dans la zone du roc de Brescou sont ensuite évoquées tour à tour : pêche professionnelle côtière ; pêche récréative ; plongée sous-marine ; plaisance ; chasse sous-marine ; sports nautiques.

- Au moment de la demande de création du cantonnement, la pêche professionnelle est présumée peu impactée par le projet. En effet, les zones de pêche les plus fréquentées se situent au niveau du roc de Brescou, mais plutôt dans des fonds compris entre 4 et 10 mètres, sur les bords extérieurs du roc de Brescou et au nord-ouest du périmètre de l'AMPCA. Les fonds supérieurs à 20 mètres sont les moins exploités et aucun pêcheur petits métiers ne travaille au-delà des 3 milles nautiques. L'emplacement du cantonnement apparaît alors comme une zone de pêche moyennement fréquentée des pêcheurs petits métiers.
- L'impact possible du cantonnement sur la pêche récréative est principalement visible sur la carte de fréquentation journalière moyenne d'août 2017, qui situe les embarcations de pêche récréative au pic de fréquentation de 10 heures (cartographie d'après Chéré et al., 2017). En haute saison et au pic horaire de fréquentation, la principale zone de pêche récréative est effectivement le roc de Brescou.
- La plongée sous-marine apparaît potentiellement peu impactée par le cantonnement. En effet, il est précisé que les sites du large de Brescou sont fréquentés et que toutes les plongées y sont effectuées sur l'habitat coralligène, mais la carte illustrant les deux principaux spots de plongée sur le coralligène les situe à l'extérieur de la future réserve.
- L'impact possible du cantonnement sur la plaisance est principalement visible sur la carte de fréquentation journalière moyenne des embarcations de plaisance au pic de fréquentation de 16 heures en août 2017 (d'après Chéré et al., 2017). Cette carte illustre le fait que la plaisance est largement pratiquée dans le périmètre élargi de la future réserve.
- La chasse sous-marine apparaît potentiellement peu impactée car cette activité se pratique à faible profondeur, donc sauf exceptions, en dehors du périmètre protégé.
- Les véhicules nautiques motorisés, la voile légère ou encore la planche nautique aérotractée sont des activités avant tout pratiquées dans la zone des 300 mètres et donc pas ou peu concernées par le périmètre du futur cantonnement.

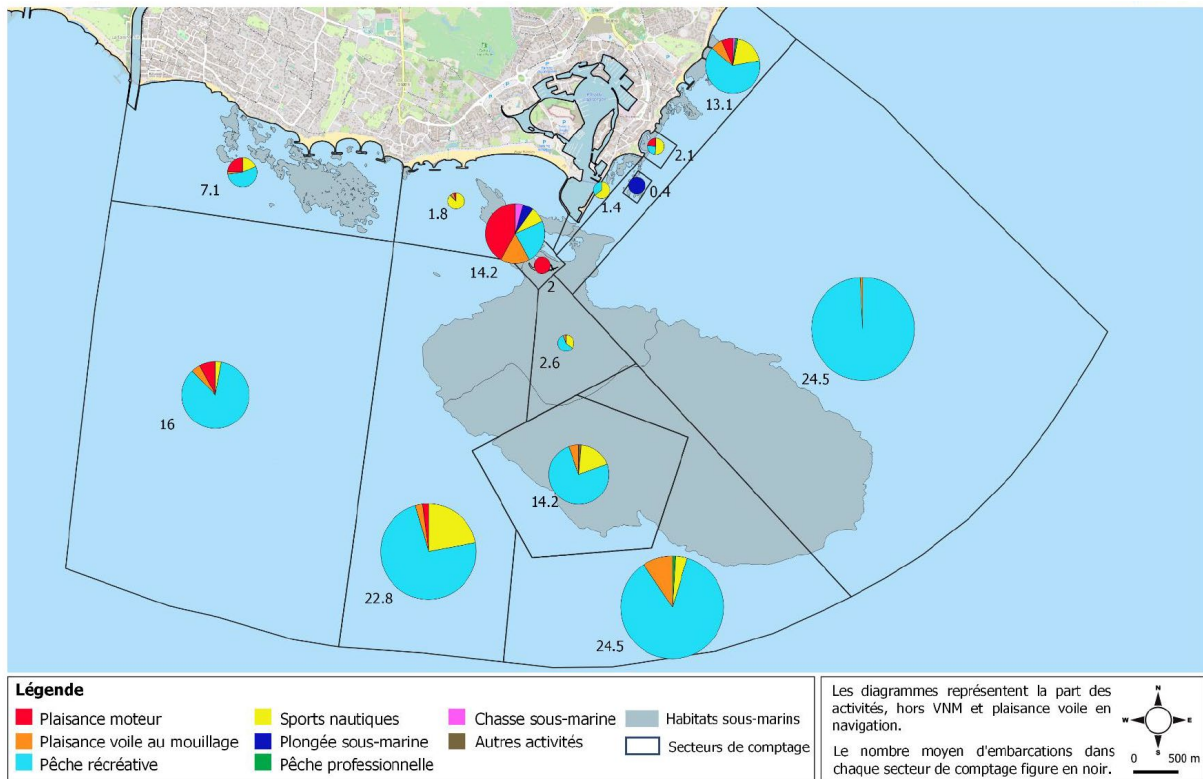
Suivi de la fréquentation des usagers - un an avant la création du cantonnement

Un suivi de fréquentation des usagers de l'AMPCA est effectué chaque année depuis 2011. A partir de 2020, ce suivi doit servir de base à l'évaluation de l'efficacité de la réserve marine sur son volet usages. Les observations réalisées doivent notamment permettre d'évaluer le déport spatial des activités auparavant présentes au sein de la réserve marine. Pour cela, il est principalement utile de se reporter au critère de « suivi quantitatif de la fréquentation » renseigné par l'indicateur de « fréquentation nautique (comptage) ». Les comptages sont effectués de 9 heures à 17 heures sur 9 jours répartis entre juillet et août, à des dates correspondant à une situation météorologique représentative d'une journée estivale type. Chaque comptage est segmenté par tranche horaire et par secteur. Jusqu'en 2017, le comptage des embarcations distingue 12 secteurs marins. A partir de 2018, un 13^{ème} secteur marin est ajouté, correspondant à la zone de la future réserve marine.

La campagne de comptage 2019 confirme que le nombre moyen de bateaux enregistrés sur une journée dans l'AMPCA se stabilise autour de 130 embarcations depuis le milieu de la décennie 2010 (Trougan et al., 2019). En juillet la fréquentation moyenne est à peine plus importante au large qu'à proximité de la côte, tandis qu'en août cette différence est plus visible : 71% des embarcations sont situées au large contre 29% au niveau de la côte. Depuis 2012, les pics de fréquentation des embarcations sont à peu près constants et dessinent deux périodes journalières distinctes : un premier pic à 11 heures ; un second pic entre 15 et 16 heures. A 11 heures, l'activité la plus représentée est la pêche récréative, avec 49% de la fréquentation à cet horaire. Lors du pic de 16h, c'est la plaisance qui domine la fréquentation avec plus de 70% des embarcations. La fréquentation au sein de la future réserve marine du roc de Brescou est analysée pour les deux pics de fréquentation identifiés.

- Au pic matinal de 11h en juillet 2019, on dénombre en moyenne 7,5 embarcations dans la réserve soit 7% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire. La majorité de ces embarcations sont des bateaux de pêche récréative (83%). Ainsi, on comptabilise en moyenne 6,3 embarcations de pêche récréative dans la réserve, ce qui représente 13% des embarcations de pêche récréative présentes dans l'AMP à cet horaire. En août 2019, on dénombre en moyenne 14,4 embarcations dans la réserve soit 8% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire (voir figure 4). Là encore, la majorité de ces embarcations sont des bateaux de pêche récréative (75%). On comptabilise en moyenne 10,8 embarcations de pêche récréative dans la réserve, ce qui représente 11% des embarcations de pêche récréative présentes dans l'AMP à cet horaire.
- Au pic post-méridien de 16h en juillet 2019, on dénombre en moyenne 0,5 embarcation dans la réserve soit 0,4% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire. Les embarcations observées sont exclusivement des bateaux de plaisance à moteur. En août 2019, on dénombre en moyenne 4,6 embarcations dans la réserve soit 2% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire. La majorité des embarcations (87%) sont des bateaux de plaisance à moteur, avec en moyenne 4 embarcations dans la réserve à cet horaire.

Figure 4 : Fréquentation nautique journalière lors du pic de fréquentation de 11h00 (Trougan et al., 2019)

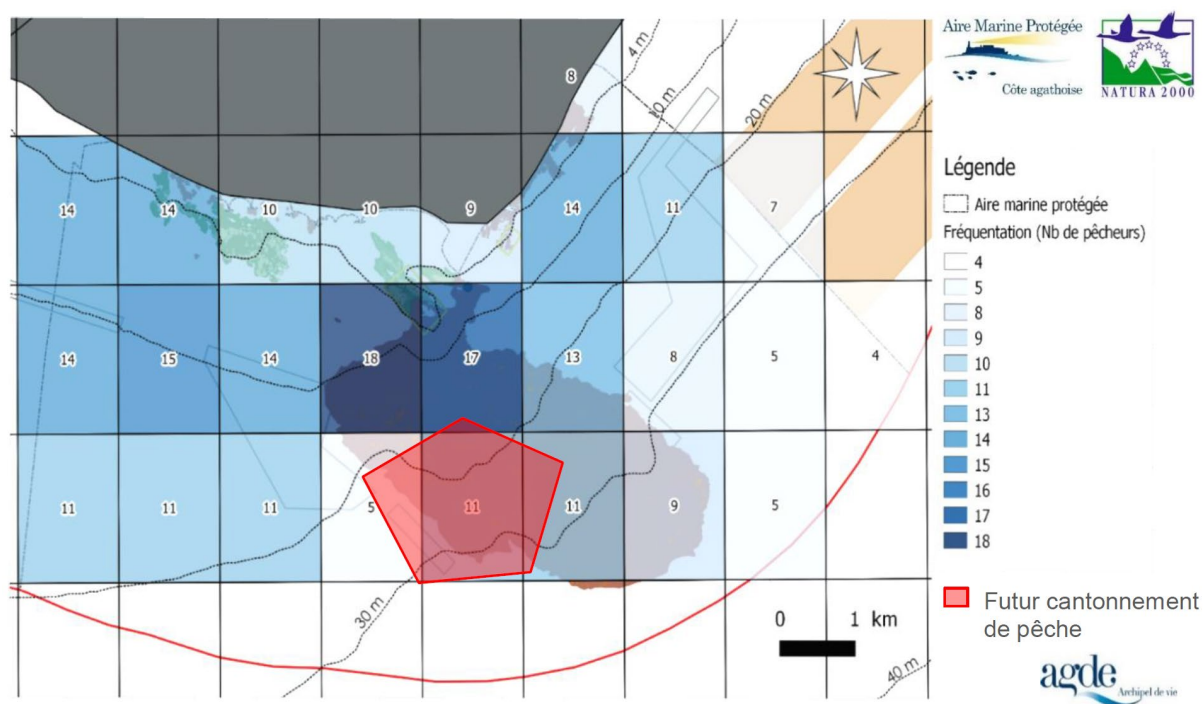


L'entrée par les pics de fréquentation met largement en évidence l'impact probable de la réserve sur l'activité de pêche récréative d'abord, de plaisance ensuite. La dernière activité susceptible d'être impactée par la réserve est la plongée sous-marine. En effet, la zone de la réserve concentre 17% des embarcations de plongée sous-marine au pic de fréquentation de l'activité pour la saison 2019 (10 heures). Il est formulé l'hypothèse que l'ajout d'un grand récif artificiel à proximité du roc Brescou, sur la zone des -20 mètres, permettrait de déporter une partie de l'activité de plongée présente dans le périmètre de la future réserve.

Etablissement d'un état initial de la pêche aux petits métiers - un an avant la création du cantonnement

L'étude de préfiguration et le dossier de demande de création du cantonnement permettent d'identifier les zones de pêche fréquentées par les petits métiers (voir figure 5), mais pas de renseigner l'indicateur de suivi concernant leurs captures (CPUE, débarquements). Cet indicateur doit permettre d'évaluer l'efficacité du cantonnement lors des suivis prévus en 2022 (3 ans après la mise en place de la réserve) et en 2025 (6 ans plus tard, correspondant à la fin de la durée légale du cantonnement).

Figure 5 : Cartographie de la fréquentation par la pêche professionnelle aux petits métiers au sein de l'AMP de la côte agathoise au regard de la future zone de cantonnement de pêche, d'après Sabbio, 2017 (Commune d'Agde, 2018)



Une étude spécifique est donc menée avec pour objectif de produire un état initial de la pêche aux petits métiers avant la création de la réserve, en développant et analysant l'indicateur « captures » pré-identifié pour évaluer l'efficacité de la future réserve (Groizard, 2019). Cette étude doit également permettre de compléter le suivi à long terme de l'activité de pêche professionnelle de la prud'homie d'Agde, débuté en 2007 et poursuivi en 2010.

A cette fin, un suivi des débarquements est réalisé sur une période de quatre mois (entre début avril et fin juillet 2019). L'acquisition des données prend la forme d'enquêtes directes auprès des pêcheurs lors des débarquements sur deux ports : Cap d'Agde et Grau d'Agde. Au total, 348 opérations de pêche sont échantillonnées, concernant 18 des 27 patrons pêcheurs

petits métiers exerçant dans le périmètre de l'AMPCA (67%). Les données récoltées concernent l'opération de pêche (nom du bateau, date de la calée, profondeur de la calée et position de l'engin) ; le métier (type d'engin utilisé, espèces ciblées, maille du filet) ; l'effort de pêche (longueur et hauteur des filets, nombre de pots, de nasses, de casiers ou d'hameçons pour les autres engins, temps de calée) ; le débarquement (identification des espèces et prix de vente, nombre d'individus par espèce, taille et poids des individus).

L'étude révèle qu'entre 2007 et 2019, le nombre de pêcheurs au sein de la prud'homie d'Agde reste constant. En effet, la plupart des pêcheurs à la retraite poursuivent leur activité. La longueur des filets posés est aussi relativement stable, suggérant que les pêcheurs interrogés n'ont pas augmenté leur effort de pêche par l'utilisation de plus grands filets. En revanche, la visualisation de la répartition des filets met en évidence un changement dans l'utilisation de l'espace, globalement de l'est vers l'ouest du roc Brescou. Ce changement paraît consécutif aux campagnes successives d'immersion d'habitats artificiels : en 2007 et 2010, la pêche est bien développée sur les récifs artificiels installés de 1992 à 1996, tandis qu'en 2019, la pêche est plus présente sur les récifs artificiels installés en 2009. Cette hypothèse est cohérente avec le temps nécessaire pour que la faune et la flore se fixent sur les récifs artificiels. Pour corroborer cette hypothèse de déport de l'activité de pêche vers les nouveaux récifs artificiels, le rapport suggère d'interroger les pêcheurs sur l'évolution de leurs pratiques.

Dans le périmètre du futur cantonnement de pêche, on dénombre 21 filets présents en partie ou en intégralité, ce qui représente 6% de l'activité de pêche échantillonnée. Le métier « langoustière » y est le plus présent avec 11 filets, suivi des métiers « pageotière » et « rougetière ». Seul 1 filet à murex est identifié sur la zone. La biomasse totale capturée dans le périmètre du futur cantonnement de pêche est estimée à 183,5 kg, soit 2,2% de la biomasse totale de l'échantillonnage. L'analyse de la période 2007-2019, traduit une augmentation de l'activité de pêche dans le périmètre de la future réserve (2 filets en 2007, 17 en 2010, 21 en 2019) et une augmentation de la biomasse prélevée (moins de 1% de la biomasse échantillonnée en 2007, un peu plus de 1% en 2010, 2% en 2019). Au vu de cette évolution, le rapport conclut que le choix de l'emplacement du cantonnement apparaît judicieux.

Pour évaluer l'évolution des captures des pêcheurs petits-métiers et les modalités de report de leur activité, l'étude énonce des recommandations à mettre en œuvre lors des prochains suivis prévus en 2022 et 2025. Il s'agirait de mettre en place un échantillonnage mensuel avec l'intégralité des pêcheurs, sous forme d'un calendrier retraçant le nombre de sorties, les principaux métiers pratiqués, ainsi que les zones de pêche ciblées. En couplant ces informations aux données de la criée sur les quantités débarquées par espèce et par pêcheur, il serait possible de décrire des tendances sur les zones exploitées selon les métiers. Il est également recommandé de procéder à une étude de perception des pêcheurs quant à l'évolution de leurs pratiques suite à la création du cantonnement.

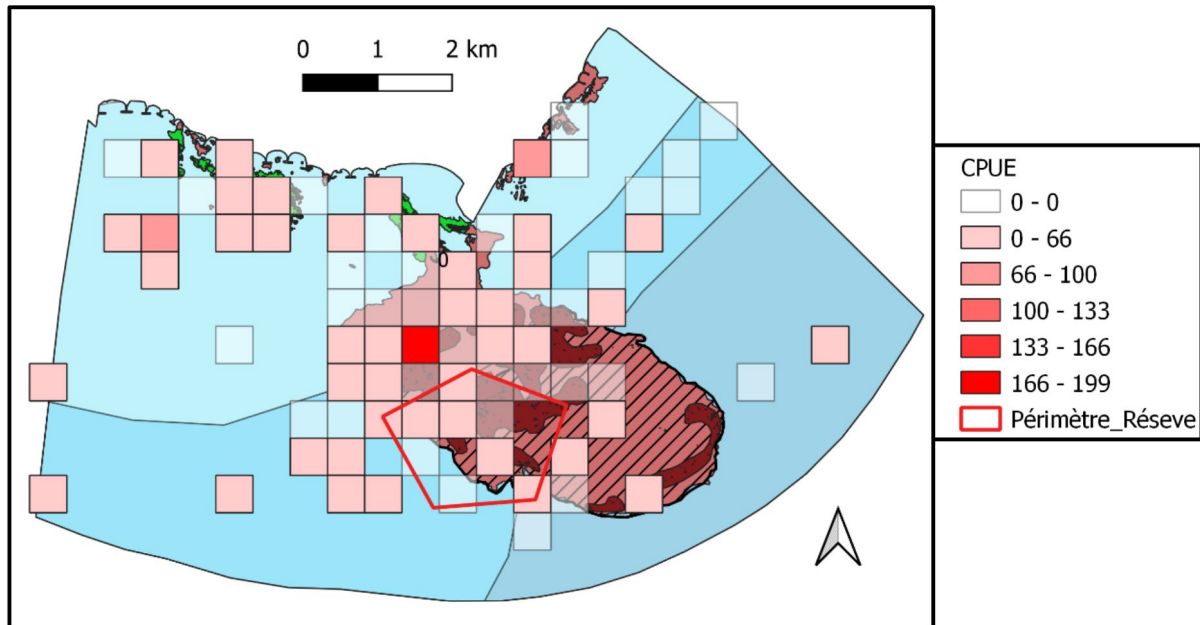
Premiers retours sur l'impact du cantonnement sur les pêcheurs récréatifs - année de la création du cantonnement

Le cas des pêcheurs récréatifs fait l'objet d'une étude spécifique visant à analyser l'effort de pêche et les captures de ces derniers, en mettant l'accent sur la mise en place du cantonnement (Dali, 2020). L'aspect socio-économique de la pêche récréative est aussi abordé en cherchant à caractériser le profil des pêcheurs, leur manière de pratiquer l'activité et évaluant leur intérêt pour la mise en place de la réserve marine. Cette étude repose sur des enquêtes in situ auprès des pêcheurs embarqués réalisées entre juin et début août 2020.

Ces enquêtes sont réalisées dans les zones présentant une forte présence des pêcheurs récréatifs embarqués avec une attention particulière pour les environs de la réserve. Les enquêtes sont réalisées selon un protocole d'échantillonnage aléatoire simple, sans faire de distinction entre les pêcheurs et ont généralement lieu le matin lors du pic d'activité. 200 enquêtes sont ainsi menées, correspondant au nombre minimum préconisé afin d'avoir des estimations de rendements satisfaisantes (Gamp et al., 2016). Une fiche de saisie standardisée est élaborée pour collecter les données suivantes : effort de pêche (nombre de lignes, nombre d'hameçons, durée de pêche...); captures (espèces pêchées, tailles, nombre...); réserve (connaissance, acceptation...); profil des pêcheurs (âge, expérience de pêche, lieu de vie...).

Par rapport au début des années 2010, la répartition spatiale de l'activité de pêche récréative embarquée au sein de l'AMPCA présente des différences. Alors qu'entre 2011 et 2013, l'activité est majoritairement pratiquée sur le roc de Brescou, 2020 s'illustre par une répartition plus homogène de la pression de pêche sur l'ensemble du site (bien que le roc reste l'un des spots de pêche privilégiés). Concernant les captures des pêcheurs récréatifs, il ressort de cette étude que l'espèce la plus pêchée est le serran chevrette, mais cela ne se reflète pas dans la biomasse totale prélevée du fait de la petite taille des individus. Les sparidés (dorade royale, pageot commun, sar commun), dont les tailles moyennes sont plus grandes, sont quant à eux très abondants en termes de biomasse et de nombre d'individus pêchés. La famille la plus ciblée est celle des sparidés, pour sa qualité gustative, suivie des scombridés (maquereaux), pour leur abondance et leur relative facilité de capture. La biomasse totale prélevée est estimée à 41 kg et trois espèces représentent 68% de cette biomasse totale : la dorade royale (39%), le maquereau (16%) et le chinchard commun (13%). Par rapport aux informations disponibles pour les années précédentes, notamment 2013, la biomasse pêchée en 2020 apparaît significativement plus importante.

Figure 6 : Répartition spatiale de la CPUE moyenne globale (g/hameçon* h) (Dali, 2020)



La moitié de la population interrogée n'est pas au courant de la mise en place de la réserve, dont une majorité de vacanciers. Cependant la quasi-totalité des pêcheurs montre un intérêt à sa création. La réserve est considérée comme la meilleure manière de juguler le déclin de la ressource locale. La petite minorité de pêcheurs à défendre un avis négatif sur la réserve évoque principalement l'absence de balisage physique en mer et le risque d'amende renforcé par la difficulté à se positionner correctement par rapport à la réserve. Il ne s'agit donc pas d'une opposition de principe. Pour favoriser une meilleure connaissance de la réserve, un travail de communication est mené par l'AMPCA depuis 2020, mais la situation pandémique ralentit la circulation de l'information. Par ailleurs, les pêcheurs récréatifs sont des particuliers difficiles à capter car souvent non fédérés, habitués de la zone marine agathoise et ne venant pas forcément s'informer de l'actualité réglementaire. Lors des enquêtes, certaines embarcations sont ainsi observées dans le périmètre de la réserve.

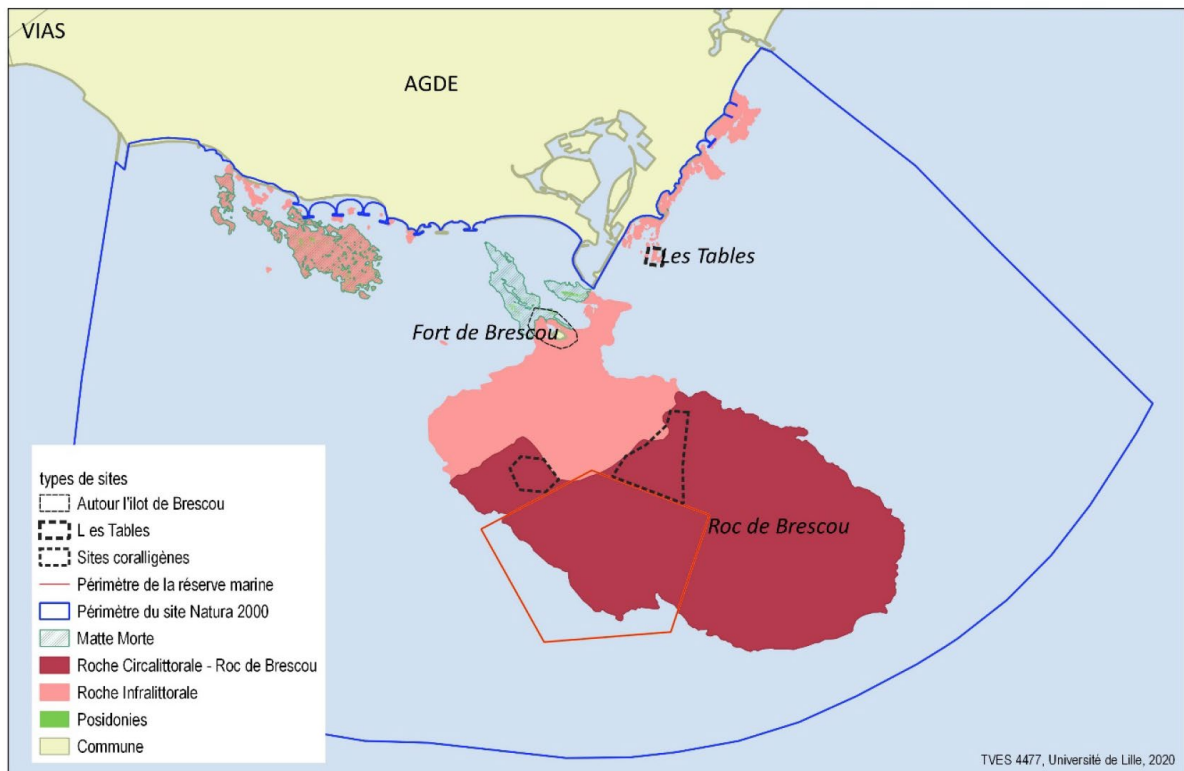
Perception des représentants des clubs de plongée et des plongeurs vis-à-vis de la réserve - un an avant la création du cantonnement

Le cas des plongeurs sous-marins est abordé dans le cadre de l'action A.3 de Marha. Une étude est menée visant à réaliser un diagnostic de l'activité de plongée et à recueillir la perception des pratiquants par rapport à la réserve (Menthonnex et al., 2020). L'AMPCA souhaite notamment acquérir une meilleure compréhension des contraintes et opportunités identifiées par les représentants des clubs de plongée et leur public vis-à-vis de la réserve, et savoir si ces derniers anticipent des changements de pratique liés à la création de la réserve. A cette fin, des entretiens sont menés avec les représentants des clubs de plongée et une enquête par questionnaire est effectuée auprès des plongeurs. Dans ce cadre, l'ensemble des représentants des clubs pratiquant la plongée sur le site sont interrogés et cent plongeurs disposant au moins d'un niveau 1 de plongée sont enquêtés.

Dans le périmètre de l'AMPCA, on dénombre une trentaine de sites de plongée concentrés sur trois zones : aux alentours du fort de Brescou, vers le littoral et sur le coralligène aux 20 mètres du roc de Brescou. Les sites de coralligène sur le roc de Brescou sont des mini-récifs situés autour des 20 mètres de profondeur et éloignés les uns des autres par des zones rocheuses. La plongée à cette profondeur est autorisée à partir du niveau 1 et ces sites sont donc principalement fréquentés par les clubs associatifs. Néanmoins, certaines structures commerciales proposent d'y aller les matins en été et aussi parfois hors saison (soit une plongée sur les trois de la journée).

Les plongeurs sont directement interrogés sur les effets escomptés de la réserve sur leur pratique. Déjà, 72% d'entre eux estiment que la réserve aura un effet positif pour augmenter la biodiversité. Les responsables de clubs soutiennent aussi le projet de réserve pour son impact environnemental positif. 39% des plongeurs, tous profils confondus, s'estiment chanceux de pouvoir bénéficier de « l'effet réserve », entendu comme « l'export de la ressource aux alentours ». Mais l'avis des clubs sur la délimitation de la réserve diffère selon leur fréquentation des sites de coralligène. Pour une première moitié des clubs (deux associatifs et deux commerciaux), la délimitation de la réserve aura un impact sur leurs pratiques, puisqu'ils ont l'habitude de se rendre sur les sites de coralligène entre deux et sept fois par semaine. L'autre moitié des clubs (trois commerciaux et un associatif) considère que l'interdiction d'accéder à ce type de sites aura peu/pas d'impact sur leurs pratiques puisqu'ils s'y rendent peu/pas. Cette moitié de clubs reconnaît que la délimitation risque d'impacter la pratique de certains clubs, notamment associatifs, mais suggère que les plongeurs impactés iront plonger dans les environs autorisés de la zone protégée, relativisant ainsi l'impact réel de la réserve sur l'activité de plongée.

Figure 7 : Les sites de plongée d'Agde (Menthonnex et al., 2020)



Les acteurs de la plongée identifient tout de même la surveillance et la gestion des rotations aux alentours de la réserve comme les principales conditions de réussite du projet. A ce titre, le refus du service des phares et balises d'installer les bouées prévues pour délimiter le périmètre de la réserve leur apparaît préjudiciable. Les enquêtés anticipent que l'absence de signalisation physique pourrait amplifier le risque de non-respect de la réglementation. Cette nouvelle réserve étant susceptible de contribuer à l'attractivité du territoire, certains clubs craignent une sur-fréquentation de la zone et notamment des pressions environnementales accentuées aux abords. Aussi, certains représentants de clubs expriment la volonté de contribuer à la gestion et à la surveillance de la zone. Les représentants de clubs souhaitent aussi participer au suivi écologique de la réserve.

Non sans lien, l'étude aborde le thème de l'attractivité de l'activité de plongée sur le site et des moyens à envisager pour l'améliorer. A la question de savoir si la plongée devrait être mise en valeur sur le secteur, plus de 60% des enquêtés répondent favorablement, et 30% défendent la position inverse. D'un côté, la valorisation de la plongée favoriserait l'éveil d'une conscience écologique et permettrait la démocratisation de cette activité, de l'autre, elle accentuerait le risque de sur-fréquentation. La mise en valeur de la plongée demanderait des moyens de communication, mais aussi d'aménagement du milieu, avec par exemple l'immersion d'épaves présentant l'avantage de délester les sites naturels.

Suivi de la fréquentation des usagers - année de la création du cantonnement

En 2020 comme en 2019 et depuis 2012, les pics de fréquentation des embarcations sont globalement similaires : un premier pic à 11 heures et un second pic entre 15 et 16 heures. En août, l'activité majoritaire au pic de 11 heures est la pêche récréative avec 37% des embarcations. Cette activité est également bien représentée en juillet avec 23% des embarcations. Au pic de 16 heures, la plaisance rassemble la majorité de la fréquentation avec 48% des embarcations en juillet et 54% en août.

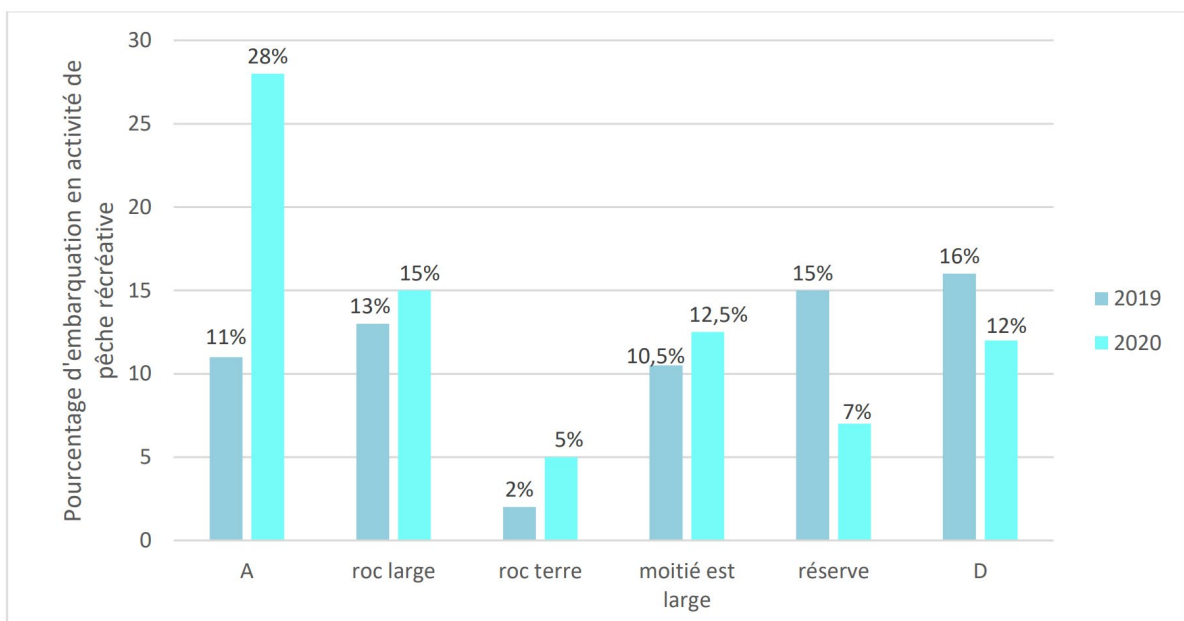
- Au pic matinal de 11 heures en juillet 2020, on dénombre en moyenne 1,5 embarcations dans la réserve soit 1% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire. On comptabilise en moyenne 1 embarcation de pêche récréative dans la réserve, ce qui représente 3% des embarcations de pêche récréative présentes dans l'AMP à cet horaire. En août 2020, on dénombre en moyenne 4,3 embarcations dans la réserve soit 2% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire. On comptabilise en moyenne 4 embarcations de pêche récréative dans la réserve, ce qui représente 5% des embarcations de pêche récréative présentes dans l'AMP à cet horaire.
- Au pic post-méridien de 16 heures, en juillet 2020, on dénombre en moyenne 1 embarcation dans la réserve soit 0,5% de la fréquentation totale de l'AMP à cet horaire. Il s'agit exclusivement de bateaux de plaisance à moteur. En août 2020, on dénombre en moyenne 1 embarcation à 16 heures dans la réserve, ce qui représente 0,4% de la fréquentation de l'AMP à cet horaire. Comme en juillet, Il s'agit exclusivement de bateaux de plaisance à moteur.

Comme prévu par le suivi de la fréquentation des usagers de l'année précédente, la principale activité impactée par la création de la réserve marine est celle de la pêche récréative, dont les effectifs diminuent notablement dans le périmètre de la réserve : de 11 embarcations à 11 heures en août 2019 à 4 au même horaire un an plus tard (pic de fréquentation maximal ces deux années). Ce résultat est apprécié de manière positive compte tenu de la création récente de la réserve et du contexte de crise sanitaire qui a compliqué les actions de communication et d'information des usagers à ce sujet. L'analyse du déport de cette activité consiste en une comparaison de la répartition des embarcations de pêche de loisir entre les différentes zones de comptage d'une année sur l'autre (voir figures 8 et 9). Celle-ci illustre une concentration bien supérieure sur la zone A où la fréquentation passe de 11% à 28% en 2019 et 2020. Au contraire, l'analyse du déport de l'activité de plongée n'apparaît pas probante : malgré un respect total de la nouvelle réglementation, aucun des trois principaux secteurs ne voit sa fréquentation exploser. Ceci s'interprète par une redistribution homogène des plongées sur ces trois sites, mais aussi par le fait que la réserve marine n'a restreint l'accès qu'à un nombre minimal de sites, les plus importants étant situés en dehors de la réserve.

Figure 8 : Zonage de l'AMP pour le comptage de terrain (Trougan et al., 2019)



Figure 9 : Evolution entre 2019 et 2020 du pourcentage moyen journalier d'embarcations de pêche de plaisance au pic de 10h, dans les principales zones de l'AMP (Trougan et al., 2020)



INTERACTIONS ENTRE ACTIVITES

Compatibilités et incompatibilités entre les activités concernées

A notre connaissance, le sujet des relations entre les différentes catégories d'usagers n'est abordé que dans l'étude produite sur l'activité de plongée (action A.3 de Marha), qui propose une première caractérisation des relations entre acteurs de l'espace marin, du point de vue des structures de plongée. Cette étude qualifie de bonnes les relations entre les structures de plongée ainsi qu'entre structures de plongée et pêcheurs professionnels, mais les relations avec les autres usagers sont tendues voire conflictuelles (Menthonnex et al., 2020).

- D'après les représentants des différentes structures de plongée, les relations entre clubs associatifs et commerciaux sont bonnes et seules quelques animosités inhérentes aux relations humaines sont parfois rencontrées. Pour accéder aux sites disposant de bouées d'amarrage, les clubs se partagent les bouées selon le principe du « premier arrivé, premier servi », qui ne pose pas de problème puisqu'il y a toujours de la place libre. Les sites de plongée situés sur le coralligène en revanche ne sont pas aménagés en surface²⁴, et sur ces derniers, les clubs arbitrent en fonction de la fréquentation et font en sorte de s'éviter.
- Les relations avec les pêcheurs professionnels sont décrites comme bonnes, voire collaboratives. Cependant, il existe un point de tension entre les clubs et les pêcheurs professionnels, lié à certaines pratiques de pêche, sur des sites de plongées ou des zones interdites à la pêche.
- Concernant les autres activités de loisirs, les clubs reprochent aux plaisanciers leur manque de connaissance ou de respect du pavillon alpha. Les pêcheurs de loisir, embarqués et terrestres, peuvent aussi manquer de respect aux réglementations, tandis que certains pratiquants de loisirs nautiques peuvent avoir un comportement dangereux (notamment jet-ski).

Evolution de cette situation avec la mise en place de la mesure

Nous ne disposons pas d'information sur ce point. A la lecture des documents précédents, on peut tout de même recommander de prêter une attention particulière aux relations entre pêcheurs professionnels et pêcheurs récréatifs dans le secteur correspondant au niveau de la zone A de comptage utilisée pour le suivi de la fréquentation des usagers. En effet, cette zone concentre à ce jour l'essentiel du report d'activité des pêcheurs récréatifs, principaux usagers dont la pratique est impactée par l'existence de la réserve, sachant que la moitié d'entre eux pêche à l'année à raison de plusieurs fois par mois à plusieurs fois par semaine. Or l'activité des pêcheurs professionnels s'est également déportée vers cette zone ces dernières années, possiblement pour bénéficier de la productivité des récifs artificiels immergés près du roc de Brescou, côté ouest.

²⁴ A l'origine, les clubs associatifs ont placé des fils d'Ariane sur ces roches pour créer un parcours et se repérer. L'AMPCA les a réaménagés avec des filins moins impactant pour les fonds entre 2017 et 2019.

2. Éléments d'analyse

A première vue, il apparaît que les activités et usages sont globalement peu impactés par l'existence de la réserve marine. Cette situation peut s'interpréter de différentes manières.

Déjà, elle traduit un travail de co-construction du projet avec les pêcheurs professionnels et de concertation avec les plongeurs sous-marins. Le choix de l'emplacement de la réserve provient d'abord du travail avec les pêcheurs petits métiers, qui n'ont pas désigné leurs principales zones d'exploitation comme devant être incluses dans la future zone de protection forte. Les dimensions de la réserve sont également arrêtées avec les patrons pêcheurs. Le projet est ensuite remodelé pour tenir compte des attentes des plongeurs sous-marins et les deux principaux sites de pratique sur coralligène sont exclus du périmètre du cantonnement. Ces différentes catégories d'acteurs ont également un rôle à jouer dans le vote final du projet en comité de pilotage. Cette forte implication des représentants d'utilisateurs est largement plébiscitée pour constituer un gage d'acceptabilité voire de soutien actif, en tout cas de respect, et donc d'efficacité de la mesure de gestion.

Cependant, dans la mesure où la réserve ne semble pas produire d'impact considérable sur la pratique des activités concernées, son efficacité peut être interrogée. Si la création d'une zone de protection forte n'oriente différemment la pratique d'aucune activité présente dans son périmètre ou alors à la marge, quels effets en attendre ? Déjà, la délimitation de la réserve correspond à une zone dans laquelle une hausse de fréquentation des pêcheurs professionnels est anticipée, suivant la tendance de la décennie passée. Il ne faut donc pas omettre de comparer les effets associés à la mise en place de la réserve avec l'évolution possible de la zone en l'absence de réserve.

Ensuite, la réalisation de la réserve est à mettre en lien avec d'autres mesures de gestion spatiale des usages ayant permis de sécuriser la pratique des activités concernées en amont (ZMEL pour les plaisanciers et les plongeurs) ou dans un futur proche (récif artificiel paysager/récréatif pour les plongeurs). Dans ce cas, la création de la réserve succède à ou coïncide avec la création d'alternatives pour les activités concernées et peut alors s'interpréter dans le cadre d'un exercice de gestion plus global. Autrement dit, le fait d'orienter la relocalisation des usages, en amont ou en parallèle de la création de la réserve, permet d'éviter des reports incontrôlés de ces derniers.

Mais encore, l'impact visiblement modéré de la réserve en termes de fréquentation peut s'entendre comme une stratégie consistant à commencer petit pour consolider la confiance autour de ce nouveau type de mesure d'exclusion des usages, sans risquer de « brusquer » les différentes parties, pour éventuellement monter en puissance dans six ans (lors de la demande de renouvellement de la réserve le cas échéant), par exemple en ajoutant une zone tampon qui améliorerait grandement l'efficacité halieutique envisageable (effet spillover).

D'autant qu'une bonne part du soutien au projet de réserve provient des effets de débordement attendus. Toutes les catégories d'utilisateurs apparaissent concernées par les

enjeux proprement écologiques mais aussi par la production de services écosystémiques exploitables. Pour les pêcheurs petits métiers et récréatifs, il importe que la réserve contribue à restaurer les écosystèmes, mais aussi qu'elle produise des effets halieutiques. Les plongeurs sous-marins sont particulièrement concernés par l'état du coralligène, mais ils attendent également d'être convaincus par les propriétés productives de la réserve (et des récifs artificiels).

Pourtant le refus de balisage physique par le service des phares et balises fait déjà craindre un moindre respect des règles dans le périmètre de la réserve avec le risque d'une efficacité diminuée. Heureusement, les premiers retours de terrain témoignent plutôt d'une appropriation satisfaisante de cette nouvelle réglementation. A ce stade, il serait utile de compléter la synthèse des impacts anticipés et observés de la réserve sur les activités et usagers par les premiers retours des spécialistes chargés d'évaluer le potentiel proprement écologique et halieutique de la réserve (action A.1). Après tout, la réserve est d'abord présentée comme une initiative des pêcheurs pour générer des prises suffisantes sans devoir continuer d'augmenter leur effort de pêche dans le temps, grâce à l'effet spillover.

Concernant les leçons à tirer de cette étude de cas pour développer un modèle de simulation des effets de la mise en place d'une ZPF, on retient principalement l'utilité de représenter conjointement différentes mesures de gestion spatiales des usages. En effet, l'impact sur la pratique des usagers n'est sans doute pas le même si une ZMEL ou un récif artificiel est implanté en amont/en parallèle de la création d'une réserve, ou bien si une réserve est créée sans anticipation/moyen de gestion des effets reports possibles. Un autre rappel de modélisation concerne la nécessité de comparer le scénario simulé à un contrefactuel, autrement dit à une évolution de la situation hors mesure de gestion, ce qui n'est pas forcément équivalent à prendre pour point de référence l'année précédant la mise en œuvre de la mesure : ici, le scénario contrefactuel devrait tenir compte d'une trajectoire d'augmentation des pratiques de pêche professionnelle dans le périmètre du cantonnement.

B. Zone de mouillage et d'équipements légers du Parc naturel marin du golfe du Lion

Statut de la collaboration : proposer une modélisation et des simulations multi-agents de l'impact de l'extension d'une ZMEL multi-secteurs sur les zones de pratique des usagers concernés. Du point de vue du gestionnaire, l'intérêt est d'alimenter la réflexion sur la stratégie d'aménagement du site, en contribuant à l'élaboration du modèle- ce qui implique d'explicitier les connaissances, les inconnues, les hypothèses et les attendus- et en comparant les observations de terrains et les résultats de simulation. Du point de vue du projet Marha, l'intérêt est de progresser vers un modèle d'exploration des effets des mesures de gestion spatiale sur les activités et les usages qui soit adaptable à différents contextes. Ce travail a été effectué de fin 2020 à début 2022.

1. Description de la dynamique de gestion

Cette étape du travail a été réalisée principalement fin 2020, dans le cadre de réunions de travail avec des membres de l'équipe de gestion visant à renseigner les rubriques de la grille d'analyse standardisée. Le produit de nos échanges a été complété grâce à la transmission des travaux réalisés dans le cadre de l'action A.3, à savoir le suivi des usages et de la fréquentation préalable à l'aménagement de la ZMEL (Laurent, 2020) la caractérisation des activités et des usagers de plongée du site (Audouit et al. 2020).

LE GESTIONNAIRE DE LA ZONE NATURA 2000

Identification

Le Parc naturel marin du golfe du Lion (PNMGL) est une aire marine protégée créée en 2011. Le PNMGL est impliqué dans la gestion de cinq sites Natura 2000 en mer : Posidonies de la côte des Albères (FR9101482) ; Embouchure du Tech et Grau de la Massane (FR9101493) ; Prolongement en mer des Cap et étang de Leucate (FR9102012) ; Récifs des canyons Lacaze-Duthiers, Pruvot et Bourcart (FR9102016).

Rôle dans la mise en œuvre de la mesure

Depuis 2016, le PNMGL gère une ZMEL comprenant 14 bouées destinées en priorité aux embarcations de plongée. Le PNMGL est à l'initiative du projet d'extension de cette ZMEL afin de compléter les zones de mouillage existantes et de faire respecter plus fermement l'interdiction d'ancrage, en présence d'une alternative.

Autres strates administratives impliquées

L'extension de la ZMEL est encouragée par les services de l'État et notamment la Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM) dans le cadre de la stratégie de gestion des mouillages à l'échelle méditerranéenne (Préfecture maritime Méditerranée, 2019). Le contexte actuel est propice à cette extension, avec par exemple la parution récente d'un arrêté préfectoral réglementant le mouillage des navires de plus de 24 mètres dans le département²⁵. Ainsi, il existe une véritable dynamique en faveur de l'interdiction des mouillages sur tous les habitats communautaires et sur l'herbier de Posidonie en particulier.

LA MESURE DE CONSERVATION

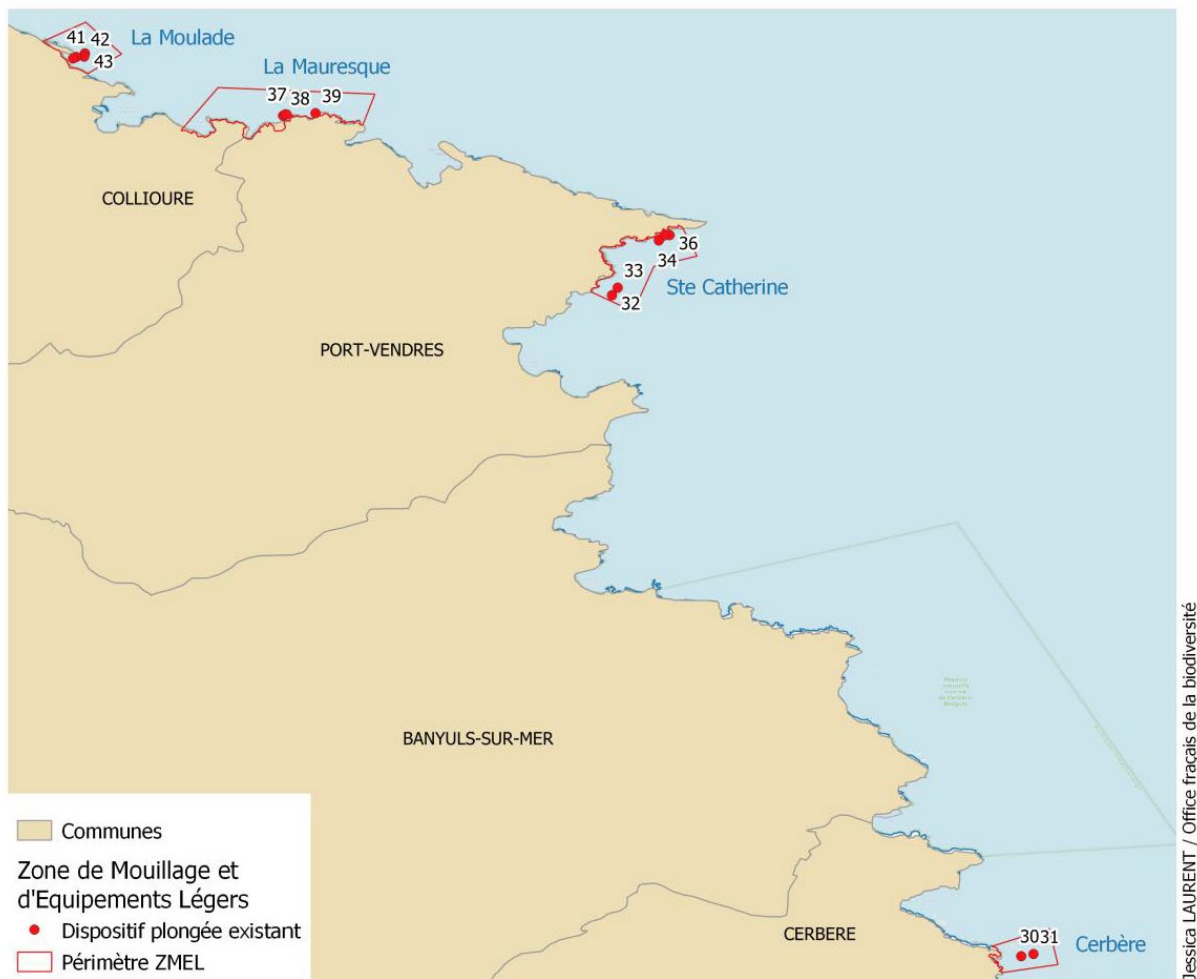
Description du dispositif

La ZMEL gérée par le PNMGL depuis 2016 comprend 14 bouées réparties sur 4 secteurs situés entre les communes de Collioure et de Cerbère. Ces bouées sont destinées en priorité aux plongeurs, car elles ont été installées en 2011 à la demande du Comité départemental de Fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM), avant la création du PNMGL²⁶. Généralement, une ZMEL correspond à un périmètre où l'ancrage est interdit, mais ce principe n'est pas applicable en l'état, car cela reviendrait à exclure les plaisanciers des zones en question. Une certaine tolérance est donc pratiquée vis-à-vis des plaisanciers qui se voient accorder la possibilité d'ancrer à une distance maximum de 100 mètres autour des bouées. Par conséquent, la ZMEL n'est pas tout à fait efficace dans sa vocation de protection des fonds et des écosystèmes marins. Cette situation explique la volonté du PNMGL de compléter les zones de mouillage organisé existantes pour pouvoir accueillir les plaisanciers en plus des plongeurs et interdire plus strictement les mouillages forains alentours. A cette occasion, il est également prévu d'ajouter des bouées destinées aux plongeurs. Concrètement, le redimensionnement de la ZMEL consiste à ajouter 38 bouées supplémentaires, dont 31 destinées en priorité aux plaisanciers et 7 aux plongeurs.

²⁵ Arrêté préfectoral n° 221/2020 du 05 novembre 2020 réglementant le mouillage et l'arrêt des navires de 24 mètres et plus au droit du département des Pyrénées-Orientales.

²⁶ Il s'agissait d'une initiative des structures professionnelles mais comme seul le monde associatif avait accès aux subventions d'installation des bouées, c'est le Comité départemental de la FFESSM qui a porté le projet. En pratique, le nettoyage des bouées était à la charge des structures professionnelles, avant qu'elles ne soient rétrocédées au PNMGL (Audouit et al. 2020).

Figure 10 : Localisation des quatre secteurs de la ZMEL du PNMGL avant leur extension (Laurent, 2020)



Elément déclencheur

Le redimensionnement de la ZMEL existante est justifié par le constat d'une insuffisance réglementaire. En effet, les bouées d'origine sont destinées en priorité aux plongeurs, ce qui est incompatible avec le Code général de la propriété des personnes publiques, qui ne permet pas de discriminer certains usagers au profit des autres.

Par ailleurs, l'extension de la ZMEL répond également à une demande des plongeurs : lors de sa mise en place en 2011, la ZMEL était gérée par le Comité départemental de plongée et il a rapidement été fait le constat que le nombre de bouées installées était insuffisant dans certaines zones. Depuis, les plongeurs sont en demande d'installation de nouvelles bouées pour éviter d'ancrer dans des secteurs tels que Sainte-Catherine.

Principales étapes de la mise en œuvre

Les étapes considérées ici sont principalement d'ordre administratif. Il existe toute une série d'autorisations à obtenir qui jouent sur l'échéancier du projet. Ici l'objectif est de rendre la nouvelle version de la ZMEL praticable au printemps 2022, en progressant sur les procédures suivantes au cours de l'année 2021 :

- Procédure principale : demande d'autorisation d'occupation temporaire (AOT) du domaine public maritime auprès de la Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM) (10 mois de délais)
- Procédures liées aux sites classés : demande d'autorisation ministérielle à obtenir auprès de la Commission départementale de la Nature, des Paysages et des Sites (CDNPS) car l'agrandissement du secteur de ZMEL de Sainte-Catherine provoquera un changement de paysage aux abords du phare du cap Béar
- Procédure devant déterminer la nécessité de procéder ou pas à une étude d'impacts pour chaque secteur
- Procédure liée au balisage : demande d'AOT pour baliser l'un des secteurs de la ZMEL auprès du service Phares et Balises de la Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée (DIRM) Méditerranée (8 mois de procédure)

Lien avec d'autres mesures

Il est prévu que le service Opérations du Parc mène une campagne d'information consistant à diffuser un document de communication auprès des professionnels, des capitaineries, des plaisanciers au ponton et en mer. Cette campagne nécessitera un temps de travail sur le terrain conséquent de la part des agents du Parc. Il est également envisagé de recourir à une application de navigation type DONIA²⁷ ou Nav&Co²⁸ offrant un autre type de support pour communiquer sur cette nouvelle réglementation.

Dans le cadre de Marha, le projet d'extension de la ZMEL s'interface avec les travaux conduits au titre de l'action A.3 (améliorer la connaissance des activités et des usagers existants pour soutenir la gestion, l'évaluation et la communication) : approfondissement de la connaissance des activités de plongée du site (Audouit et al., 2020) ; suivi des usages et de la fréquentation sur la côte rocheuse en vue de la création de la ZMEL (Laurent, 2020). Il pourrait également y avoir des connexions avec l'action C.6 (contribuer à la mise en œuvre de la mesure DCSMM M003 consistant à compléter le réseau d'AMP par la mise en place de protections fortes sur les secteurs de biodiversité marine remarquable). En effet, le PNMGL est engagé depuis 2018 dans une démarche progressive devant aboutir à la mise en œuvre de ZPF. Sachant que les travaux issus de l'action A.3 mettent en avant la provenance locale d'une grande partie des plongeurs, il apparaît opportun au gestionnaire de réfléchir aux conséquences de la création de ZPF sur les pratiques des plongeurs et leurs choix de destination vis-à-vis des secteurs de ZMEL, mais aussi à une échelle géographique plus vaste.

²⁷ <https://donia.fr/>

²⁸ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.navco&hl=fr&gl=US>

Financement de la mesure

L'ensemble des coûts d'installation et d'entretien est supporté par le budget du PNMGL mais une aide de l'État a été sollicitée dans le cadre du Plan de relance et un dossier a été déposé dans le cadre de l'appel à projet sur la « Réduction de l'impact des ancrages des navires de plaisance sur l'herbier de posidonie par la mise en œuvre de mouillages organisés » (pilotage par la Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée, en partenariat avec la Région Occitanie, l'Office Français de la Biodiversité, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, la Région Sud et la Collectivité de Corse). Pour les usagers, la ZMEL reste entièrement gratuite.

ACTIVITES CONCERNEES

Identification des principales activités concernées

- Plongée
- Plaisance
- Bateliers dans une moindre mesure
- Pas d'interaction anticipée avec la pêche

Intégration des activités concernées à la mise en place de la mesure

Un important travail de concertation a été mené avec les plongeurs depuis deux ans, sous forme de rencontres en bilatéral, puis de groupes de travail collectifs. Un travail de concertation a également été mené avec les pêcheurs en 2020, afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de blocage à leur niveau. Les bateliers ont aussi été rencontrés car ils sont présents sur la ZMEL, surtout au niveau du secteur de Sainte-Catherine. En effet, les embarcations à vision sous-marine ciblent les mêmes spots que ceux des plongeurs. En revanche, il n'y a pas eu de concertation équivalente avec les plaisanciers, qui constituent un public plus difficile à atteindre car moins fédéré. Ces derniers ont toutefois été sensibilisés à la ZMEL à l'occasion des enquêtes de terrain effectuées dans le cadre l'action A.3 de Marha pour connaître leurs habitudes de navigation.

Influence de la mesure sur la pratique des activités concernées

Pour les structures de plongée, on s'attend à des retombées positives : gain de temps, rotations supplémentaires et pratique sécurisée. Elles pourraient également bénéficier d'un « effet label » associé au fait de pratiquer la plongée sur un site sans ancrage, avec un possible gain économique à la clé. Mais l'existence de bouées supplémentaires pourrait également attirer davantage de pratiquants, alors que la qualité de la sortie dépend en partie du nombre de participants simultanés : paysage sous-marin et émergé.

Pour les plaisanciers, on s'attend à ce que la mesure soit globalement appréciée puisque de nouveaux dispositifs d'amarrage seront mis à disposition. Pour favoriser l'acceptation du renforcement de l'interdiction d'ancrage, la campagne de sensibilisation à venir contiendra

des éléments d'information sur la préservation des fonds marins, et de l'herbier de Posidonie en particulier, et sur l'impact limité permis par les bouées d'amarrage par rapport au mouillage forain. En effet, il est anticipé que le nombre de bouées installées ne permettra pas à l'ensemble des usagers de venir s'amarrer les jours de pointe. Par ailleurs, il est également possible, comme pour les plongeurs, que la mise à disposition des bouées attire des plaisanciers supplémentaires sur site. En effet, ce type de dispositif est particulièrement sécurisant pour les plaisanciers non aguerris. La reconnaissance de ces cas limites où la ZMEL est sous-dimensionnée par rapport au nombre d'utilisateurs du plan d'eau a donné lieu à une réflexion interne sur les effets reports possibles des mouillages de plaisance sur les zones sableuses à proximité de Paulilles ou sur la côte rocheuse. Cette réflexion reste ouverte car la situation dépendra de la réalisation d'une autre ZMEL prévue par le département, mais dont on ignore encore l'emprise géographique et le nombre de bouées associées.

INTERACTIONS ENTRE ACTIVITES

Compatibilités et incompatibilités entre les activités concernées

Le sujet des rapports entre les structures de plongée, commerciales et associatives, et avec les autres usagers de l'espace marin est abordé dans les travaux conduits au titre de l'action A.3 de Marha (Audouit et al., 2020). Globalement, les relations entre structures commerciales sont caractérisées comme bonnes. Des dissensions existent, qui sont d'ordre idéologique ou liées au contexte économique tendu. Mais en pratique, la mise à couple de bateaux appartenant à différentes structures commerciales sur une même bouée reste une pratique courante. Les structures commerciales sont décrites comme ayant l'ascendant sur les structures associatives concernant l'utilisation des bouées, mais les deux parties caractérisent leurs rapports comme bons. Les bateliers qui utilisent des embarcations à vision sous-marine fréquentent les mêmes zones que les plongeurs puisque les deux activités veulent observer la faune sous-marine. Mais les rapports sont également jugés satisfaisants dans l'ensemble par les deux parties. Les rapports avec les plaisanciers, ont évolué de manière positive : il est fait état de tensions plus rares et moins virulentes qu'auparavant, le principal sujet de tension étant lié au partage des bouées, initialement destinées en priorité aux plongeurs.

Evolution de cette situation avec la mise en place de la mesure

Nous ne disposons pas d'information sur ce point.

2. Elaboration de l'exercice de modélisation avec le gestionnaire

Le dialogue engagé avec plusieurs membres de l'équipe de gestion a permis de préciser l'objet du modèle et son contenu. Cette étape du travail s'est déroulée entre fin 2020 et fin 2021, avec de premiers échanges d'exposé de la méthode fin 2020 (octobre-novembre) suivis d'une journée de travail collectif en janvier 2021. Ce premier temps fort collectif a permis de

convenir d'une ou plusieurs journées type à simuler en priorité, d'arrêter le niveau de détail utile pour décrire les usagers dans cet exercice, de formuler les hypothèses nécessaires sur les pratiques de ces derniers : objectifs et modes de navigation, alternatives de comportement possibles selon le taux et le type d'occupation des secteurs de ZMEL. Les principales hypothèses du modèle à développer ont alors été synthétisées sous forme de diagrammes et de tableaux sur lesquels les participants à la journée de travail ont été invités à réagir. Après un temps consacré au développement du modèle informatique, à l'acquisition et au traitement des données, une seconde demi-journée de travail a permis de présenter l'outil et les premiers résultats obtenus (novembre 2021). Cette réunion a été l'occasion de reformuler certaines hypothèses au sujet des pratiques des usagers concernés par la ZMEL, de choisir de considérer de manière explicite les zones d'ancrage connues aux abords des secteurs de ZMEL, de mettre en lumière le besoin de données complémentaires sur les effectifs d'usagers au départ des principaux ports du secteur. Les nouvelles hypothèses de comportement ont depuis été incluses au modèle, au même titre que les zones de mouillage forain connues. Des données complémentaires sur la fréquentation en mer nous ont été transmises par le gestionnaire et des hypothèses plus adaptées sur les effectifs d'usagers au départ des principaux ports du secteur ont été effectuées. Par commodité, il est souvent question « du gestionnaire » dans ce rapport, mais il importe de souligner ici que la contribution d'agents appartenant à différents services du PNMGL s'est révélée essentielle à la production de ce travail : service Ingénierie et service Opérations ; chargés de mission Usages de loisir et Marha.

SITUATION CRITIQUE QUE LE MODELE ET LES SIMULATIONS DOIVENT CONTRIBUER A ANALYSER

En écho aux questionnements identifiés dans la description de la dynamique de gestion (influence de la mesure sur la pratique des activités concernées), nous avons convenu que la situation critique pour laquelle le développement d'un outil de simulation présentait le plus d'intérêt était celle d'une journée de haute saison, au cours de laquelle le nombre de bouées destinées à la plongée devrait être suffisant, mais où le nombre de bouées destinées à la plaisance devrait correspondre à approximativement un tiers des besoins. Pour offrir un point de comparaison avec une situation de moindre tension, nous avons également prévu de simuler une journée de moyenne saison. En revanche, nous avons décidé de ne pas considérer la basse saison, saison pour laquelle la ZMEL est clairement surdimensionnée.

La haute saison correspond à la période du 14 juillet au 15 août, à un jour de grand soleil et de chaleur ressentie, tandis que la moyenne saison correspond plutôt à un week-end de mai, jour de beau temps avec du monde à l'eau, mais une moindre tension sur les capacités de la ZMEL. La principale différence à marquer entre haute et moyenne saison concerne donc le nombre d'embarcations à l'eau, mais il est aussi apparu que les choix de destination des usagers de l'espace marin, et a fortiori des secteurs de ZMEL vers lesquels se rendre, étaient fortement dépendants de la force et de l'orientation du vent au jour le jour (vent de secteur Nord/Nord-Ouest pour la Tramontane, Sud-Est/Est pour le marin/grec). Nous avons donc choisi de considérer différentes variantes pour la haute et la moyenne saison, selon le type de vent dominant, tramontane ou marin, et la force de ce dernier. Nous avons retenu trois niveaux de force du vent possibles, qualifiés par la suite de « fort », « modéré » et

« insignifiant ». Selon le niveau de force du vent, certains usagers renoncent à prendre la mer, et les destinations privilégiées au départ de chaque port diffèrent.

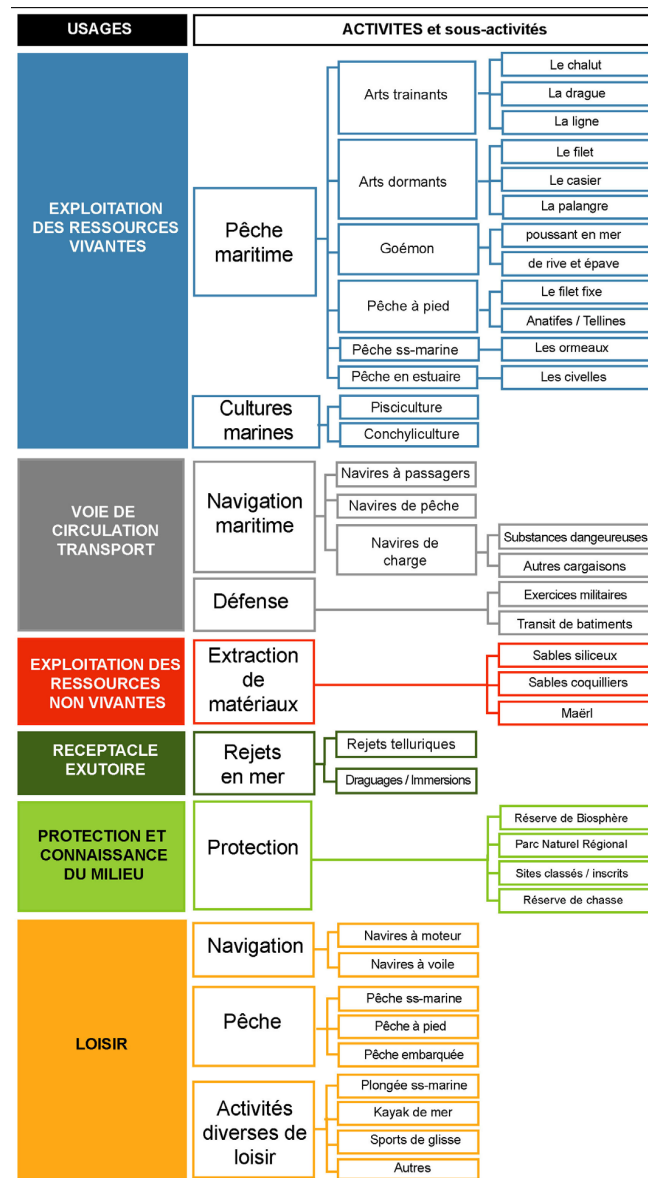
En résumé, l'intérêt de cet exercice de modélisation est de représenter les itinéraires de navigation des usagers concernés par la politique de mouillage organisé du site pour des journées où il est craint une saturation des capacités de la ZMEL et où l'on souhaite disposer d'indicateurs permettant d'affiner l'analyse de cette situation : modalités d'occupation des bouées et d'ancrage alentours. Tenant compte du type et de la force du vent dans les choix de destination des usagers de l'espace marin, il convient de simuler 12 scénarios au total : 6 par saison dont 3 par type de vent et 1 par force de vent. Concernant les indicateurs utiles au gestionnaire et permettant de comparer chacun de ces scénarios, on propose d'observer à la fin du jour le nombre de bateaux de plongée et de plaisance ayant pu accéder à leur destination initiale, ceux ayant pu s'amarrer à une bouée écologique, ceux ayant éventuellement caboté et ceux ayant ancré au fond. On propose également d'identifier la provenance des bateaux par secteur de ZMEL et inversement la destination des bateaux par port d'origine. Enfin, on regardera le taux maximum et le type d'occupation des bouées des différents secteurs de ZMEL pour les journées simulées.

Ces différents indicateurs doivent permettre d'enrichir la réflexion du gestionnaire dans le cadre d'une gestion adaptative des zones de mouillage organisé à l'échelle du site : le nombre de bouées destinées à chaque type d'usagers paraît-il suffisant dans chaque secteur de ZMEL ? Faut-il envisager d'installer de nouvelles bouées dans les zones concernées par le déport des usagers n'ayant pas trouvé à s'amarrer en première intention ? Dans le cas où les résultats de simulation seraient trop éloignés des observations *in situ* la première année d'actualisation du dispositif (printemps 2022), il faudrait interroger les hypothèses de comportement attribuées aux différents types d'usagers. Ceci signalerait le besoin pour le gestionnaire d'acquérir des connaissances supplémentaires sur les usagers de la ZMEL et pourrait fournir l'occasion de convier des usagers ou représentants d'usagers à la construction d'une version améliorée du modèle.

IDENTIFICATION DES AGENTS DU MODELE

En prenant appui sur une typologie hiérarchique d'activité existante, nous avons réfléchi au niveau de détail nécessaire pour représenter les usagers dans le modèle (Peuziat & Le Berre, 2015, d'après Le Tixerant, 2004).

Figure 11 : Typologie des activités humaines en mer côtière (Peuziat & Le Berre, 2015)



L'objectif était de choisir précisément les usagers à représenter de manière dynamique dans le modèle, c'est-à-dire ceux dont décrire les trajectoires du départ du port à l'arrivée aux alentours de la zone de pratique l'activité, incluant la décision d'amarrage ou d'ancrage, selon la disponibilité des bouées. On pense bien sûr aux plaisanciers et aux plongeurs, mais encore faut-il évaluer finement la nécessité de distinguer par exemple les structures associatives et professionnelles d'une part, les embarcations à voile et à moteur d'autre part. D'autres usagers pourrait être représentés de manière « passive », c'est-à-dire en juxtaposant à leurs territoires de pratique connus le report des usagers les plus directement concernés par la ZMEL. On pense ici aux bateliers, kayakistes, chasseurs apnéistes et usagers de jet-ski qui pratiquent à proximité des secteurs de ZMEL et à propos desquels une cartographie de répartition des usages a été récemment réalisée (Laurent, 2020).

Les plongeurs

Pour mettre à l'épreuve dans les simulations les capacités d'accueil de la ZMEL et les arbitrages possibles des plongeurs, il est apparu qu'il n'était pas nécessaire de distinguer systématiquement la pratique des structures associatives et professionnelles. En l'état des connaissances du gestionnaire, les sites de plongée et donc les secteurs de ZMEL vers lesquels se dirigent ces deux catégories d'utilisateurs dépendent principalement du club d'origine et des conditions météorologiques. La principale différence dont tenir compte ici concerne le déroulé temporel des pratiques, les structures de plongée professionnelles ayant des horaires plus stricts à respecter.

Les plaisanciers

La définition des plaisanciers a fait l'objet de discussions plus poussées car cette catégorie recouvre des pratiques assez diverses : baignade, bronzette, pêche à la canne, plongée, etc. Il convenait donc de décider d'un niveau d'agrégation satisfaisant de ces différentes activités pour réfléchir aux conséquences de la localisation des secteurs de mouillage organisé sur les zones de pratique des usagers. Il est apparu qu'au prisme des zones de pratique, les différentes activités pratiquées par les plaisanciers n'avaient pas besoin d'être distinguées. En effet, les principales qualités requises pour qu'un site soit jugé propice à la pratique d'un loisir ou d'un autre sont à peu près identiques. Ensuite, il y aurait peu de pratique multi-site à la journée chez les plaisanciers, et les différentes activités précitées seraient souvent pratiquées par les différents membres d'une même famille partie en mer à la journée. Ces éléments plaident en faveur de la représentation d'une seule catégorie de plaisanciers pratiquant diverses activités dans le même secteur et à partir du même bateau, amarré ou ancré.

Nous avons également évalué la nécessité de distinguer entre bateaux à voile et bateaux à moteur, voire entre les différentes tailles d'embarcations. En effet, les plus petits bateaux ne mouillent pas au-delà de 10 mètres tandis que d'autres vont jusqu'à 15 mètres. Selon le type de fond aussi, tous les bateaux ne peuvent pas s'amarrer de la même manière. Nous n'avons pas retenu cette distinction qui n'apparaissait pas nécessaire pour penser la répartition des activités entre secteurs de ZMEL et de pratique à l'échelle du site.

Nous n'avons pas retenu non plus la distinction entre embarcations à voile et à moteur car ces dernières sont largement dominantes comme mode de navigation des plaisanciers qu'il est utile de considérer ici, c'est-à-dire ceux dont les modalités de pratique pourraient évoluer avec le redimensionnement de la ZMEL. En effet, d'après le gestionnaire, les amateurs de voile ont plutôt tendance à prévoir des itinéraires à la journée qui excèdent le seul périmètre du PNMGL, à ne pas caboter au plus près des côtes mais à naviguer au large, et à se retrouver seulement concernés par la ZMEL pour faire étape à la tombée du jour. Ainsi, les voiliers qui en auraient l'usage aborderaient la ZMEL après 18 heures, quand la majorité des plaisanciers naviguant en bateau à moteur à la journée aurait déjà entamé le trajet retour en direction du port. Ces voiliers auront donc peu de mal à trouver une bouée d'amarrage dans le secteur de ZMEL convoité et seront partis au matin.

Concernant la minorité de plaisanciers naviguant en bateau à voile et effectuant de plus courtes sorties, et qui sont donc concernés par l'accès aux zones de mouillage organisé en pleine journée, nous avons convenu de les assimiler à la majorité de plaisanciers naviguant en bateau à moteur. En effet, les trajectoires et les vitesses de navigation de ces deux types d'embarcations sont comparables : les plaisanciers qui seraient susceptibles de jouer avec le vent pour adopter les allures les plus rapides- mais aussi les plus techniques et les moins confortables- sont très minoritaires. En guise de corridor de navigation, on peut simplifier la situation réelle en considérant que les plaisanciers longent la côte, à une distance du bord comprise entre 300 mètres et 1 mile nautique. La vitesse de navigation doit être inférieure à 5 nœuds en deçà des 300 mètres et est généralement comprise entre 15 et 20 nœuds au-delà des 300 mètres.

CARACTERISATION DU DEROULE DES PRATIQUES DES USAGERS

Cette étape consiste à produire une représentation stabilisée des différentes caractéristiques de la pratique des plongeurs et des plaisanciers, telle qu'elle doit être traduite dans l'environnement de modélisation. On peut distinguer trois principaux aspects. Le premier concerne le choix de destination de chaque embarcation, d'après son port de départ et selon le type de vent et surtout la force du vent. Le deuxième concerne l'estimation des horaires de pratique des usagers : heure de départ du port, durée de la sortie en mer, nouvel horaire de départ pour les structures de plongée effectuant plusieurs rotations par jour. La troisième concerne la description de la sortie en mer à proprement parler et principalement les hypothèses de comportement attribuées aux différents usagers selon l'occupation du secteur de ZMEL visé. Les deux premiers aspects procèdent d'une vision d'ensemble, tandis que le troisième revient à adopter le point de vue des usagers à bord d'une embarcation individuelle, au différents moments de la sortie en mer.

Destinations recherchées selon les conditions météorologiques

Déterminer la destination d'une embarcation ne signifie pas que cette destination sera forcément atteinte, selon la disponibilité des bouées et les possibilités de report vers d'autres sites, mais revient à identifier la destination initialement visée par tout usager au moment de quitter le port. Ceci inclut le fait que pour une saison donnée et un effectif global d'usagers correspondant, une partie de ces derniers renonce à prendre la mer si les conditions météorologiques n'apparaissent pas favorables. Ces hypothèses de choix de destination ont été élaborées lors des réunions avec les agents du PNMGL, en confrontant leurs connaissances de terrain. Les destinations privilégiées peuvent être des secteurs de mouillage organisé ou des secteurs permettant d'ancrer à l'abri du vent (voir par exemple la carte 26 page 355 du plan de gestion du PNMGL).

Pour les plongeurs, on considère que les destinations privilégiées sont les mêmes quel que soit le vent dominant, tramontane ou marin, mais elles varient en fonction de la force du vent, du club d'origine et marginalement de la saison. Pour les plaisanciers, les destinations varient

en fonction de la force du vent et marginalement du port d'origine mais encore du type de vent en ce qui concerne les secteurs choisis pour ancrer, qui doivent permettre de s'abriter, tantôt de la tramontane, tantôt du marin. Dans les deux cas, les ordres de grandeurs indiqués correspondent non pas à la probabilité de choisir telle ou telle destination du point de vue de chaque usager dirigeant une embarcation, mais à la répartition estimée de l'ensemble des usagers entre les destinations possibles du point de vue du gestionnaire.

Figure 12 : Destination des bateaux de plongée en fonction de la force du vent

Force du vent : forte				
club de Saint-Cyprien ou d'Argelès-sur-Mer				club de Port-Vendres ou de Banyuls-sur-Mer
haute saison		moyenne saison		
20%	80%	50%	50%	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar
ne sortent pas	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	ne sortent pas	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	

Force du vent : modérée				
club de Saint-Cyprien ou d'Argelès-sur-Mer		club de Port-Vendres ou de Banyuls-sur-Mer		
50%	50%	33%	33%	33%
s'orientent vers la ZMEL secteur Moulade	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteurs Abeille ou Peyrefite	s'orientent vers la ZMEL secteur Moulade

Force du vent : insignifiante								
club de Saint-Cyprien		club d'Argelès-sur-Mer				club de Port-Vendres		club de Banyuls-sur-Mer
50%	50%	15%	15%	40%	30%	50%	50%	s'orientent vers la ZMEL secteurs Abeille ou Peyrefite
s'orientent vers la ZMEL secteur Moulade	s'orientent vers la ZMEL secteur Mauresque	s'orientent vers la ZMEL secteur Moulade	s'orientent vers la ZMEL secteur Mauresque	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteurs Abeille ou Peyrefite	s'orientent vers la ZMEL secteurs Abeille ou Peyrefite	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	

Figure 13 : Destination des bateaux de plaisance quand le vent dominant est la tramontane

Force du vent : forte			Force du vent : modérée		
50%	50%		50%	50%	
ne sort pas	50%	50%	ancrent dans le nord de la Baie de Paulilles à un endroit plus abrité que la ZMEL	70%	30%
	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar		s'orientent vers la ZMEL secteurs Moulade ou Mauresque	

Force du vent : insignifiante				
50%	50%			
ancrent au nord et au sud de la Baie de Paulilles à un endroit plus abrité que les ZMELS	port d'origine au nord du Cap		port d'origine au sud du Cap	
	70%	30%	10%	90%
	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteur Mauresque	s'orientent vers la ZMEL secteurs Moulade ou Mauresque	s'orientent vers la ZMEL secteurs Bear ou Cerbere ou Abeille ou Peyrefite

Figure 14 : Destination des bateaux de plaisance quand le vent dominant est le marin

Force du vent : forte			Force du vent : modérée		
50%	50%		50%	50%	
ne sort pas	50%	50%	ancrent dans le sud de la Baie de Paulilles à un endroit plus abrité que la ZMEL	70%	30%
	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar		s'orientent vers la ZMEL secteurs Moulade ou Mauresque	

Force du vent : insignifiante				
50%	50%			
ancrent au nord et au sud de la Baie de Paulilles à un endroit plus abrité que les ZMELS	port d'origine au nord du Cap		port d'origine au sud du Cap	
	70%	30%	10%	90%
	s'orientent vers la ZMEL secteur Béar	s'orientent vers la ZMEL secteur Mauresque	s'orientent vers la ZMEL secteurs Moulade ou Mauresque	s'orientent vers la ZMEL secteurs Bear ou Cerbere ou Abeille ou Peyrefite

Horaires de pratique

La clarification des horaires de pratique est importante pour simuler de manière réaliste le risque de saturation des bouées d'amarrage : plus les horaires de pratique sont concentrés, plus il y a d'embarcations qui cherchent à accéder à une bouée au même moment, et inversement. Nous avons donc cherché à estimer pour les plongeurs comme pour les plaisanciers l'heure de début de la sortie en mer (départ du port) et la durée de la sortie, incluant le temps de trajet aller et le temps passé sur le site de pratique de l'activité.

Dans le cas des plongeurs, et notamment des structures de plongée professionnelle, les horaires et durées de pratique sont calibrés pour permettre différentes rotations dans la journée. Certaines structures proposent des sorties autour d'épaves immergées (voir par exemple la carte 37 page 487 du plan de gestion du PNMGL), mais l'accès aux spots les plus prisés, qui sont plus éloignés de la côte, est indépendant des capacités d'accueil des secteurs de ZMEL. En général, le départ des bateaux de plongée vers les spots situés à proximité des zones de mouillage organisé a lieu vers 9 heures, pour une durée de sortie d'environ 2 heures, permettant d'être de retour au port et d'engager une seconde rotation dans la matinée avec un nouveau groupe de plongeurs vers 11h30. L'après-midi, le départ des bateaux a lieu vers 14 heures, toujours pour une sortie de 2 heures (trajet aller et plongée comprise) afin d'être de retour à 16h30. On estime que seuls les clubs situés à proximité des spots les plus convoités entament une dernière rotation à cet horaire : Banyuls-sur-Mer, Port-Vendres, Argelès-sur-Mer. En l'absence d'information spécifique, on fait l'hypothèse que les structures associatives organisent leur journée de manière identique.

Dans le cas des plaisanciers, les horaires de pratique ne sont pas aussi harmonisés : certains partent en mer en début de matinée (8 heures) et naviguent avant de rentrer déjeuner, d'autres partent en fin de matinée pour aller déjeuner en mer, d'autres enfin quittent le port en début d'après-midi (14 heures). On estime toutefois qu'une majorité de plaisanciers part en mer aux alentours de 11 heures. On propose donc de représenter une plage horaire de départ pour les plaisanciers courant de 8 heures à 14 heures avec un pic de départs à 11 heures. Quant à la durée moyenne de la sortie en mer, on l'estime entre 5 et 6 heures (durée de 5h30 dans les simulations).

Description schématique de la sortie en mer

Pour décrire les principales étapes de la sortie en mer des différents usagers, on choisit d'utiliser un langage formel, intitulé UML pour « Unified Modeling Language ». UML est notamment conçu pour aider à raisonner au niveau d'abstraction requis par la modélisation sans être limité par des considérations techniques, et à rationaliser la communication sur le contenu du modèle entre plusieurs personnes (voir par exemple Banos et al., 2015 ou Müller & Bommel, 2007). Concrètement UML consiste en une série de diagrammes composés de notations standardisées et offrant chacun une perspective particulière sur le système étudié. Ce langage est couramment employé pour le développement de logiciels informatiques, mais il permet aussi de partager et discuter des représentations parfois complexes de manière accessible. Dans le cadre de Marha, cet emploi d'UML, sans donner lieu à modélisation et

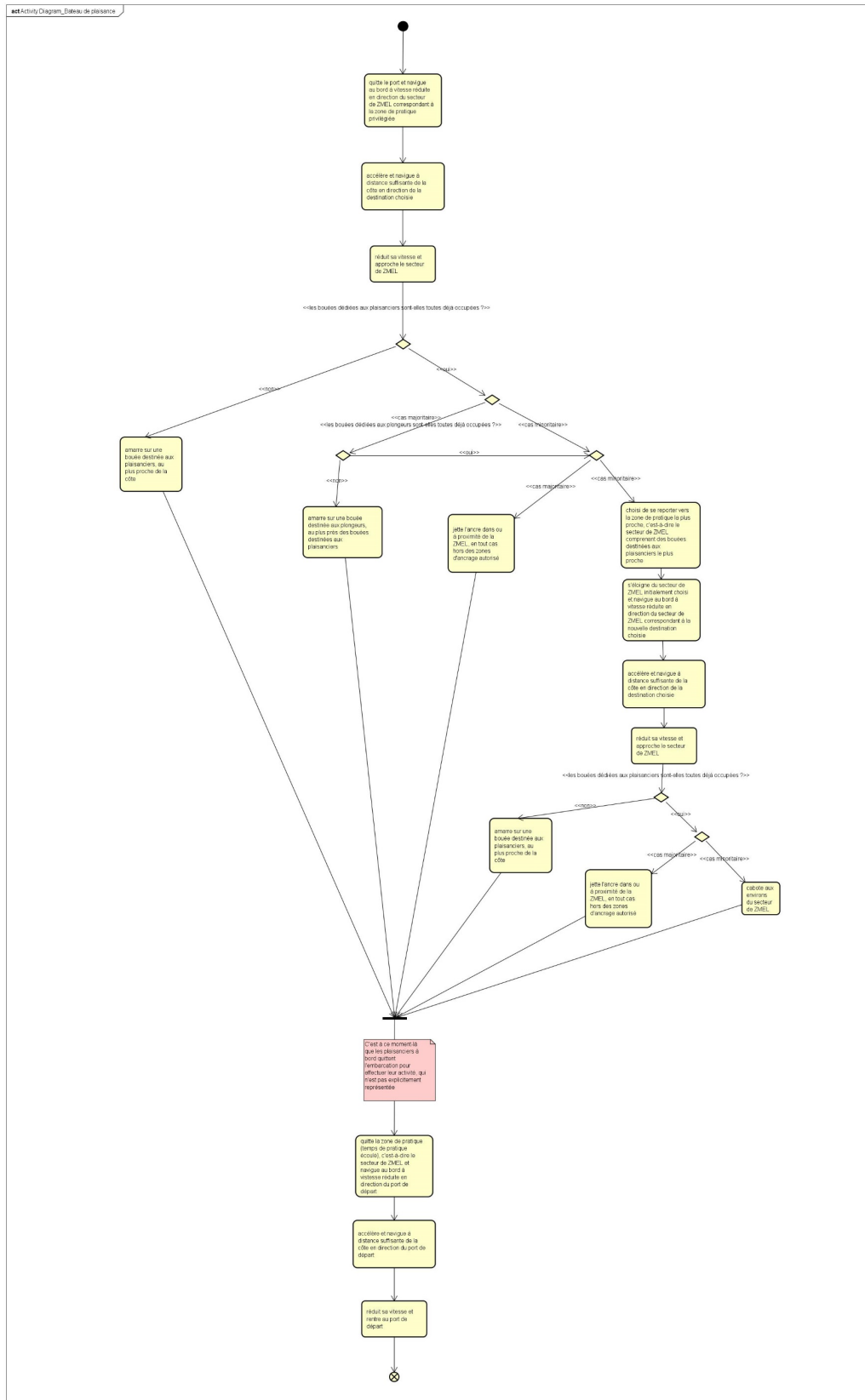
simulation multi-agents, a été expérimenté à l’occasion du stage de Pierre Réaud, encadré par le laboratoire AMURE et auquel le CIRED a participé²⁹ (Réaud, 2020).

Dans le cadre de nos réunions de travail en groupe, nous avons notamment organisé nos réflexions autour de la création de diagrammes d’activité, qui permettent de décrire le comportement détaillé d’un agent (objet informatique) d’après la succession des actions qu’il est susceptible d’entreprendre durant une simulation. Le disque noir symbolise le début de la séquence d’actions considérée, le disque contenant une croix, sa fin. Les activités ou actions sont représentées par des rectangles arrondis. Les flèches représentent la préséance temporelle tandis que des nœuds particuliers, appelés points de décision, sont utilisés pour représenter des choix comme le losange ou des barres de synchronisation lorsque des actions sont susceptibles d’être réalisées en parallèle (Banos et al., 2015).

Ici il s’agit de décrire les étapes de la sortie en mer des plongeurs, associatifs et professionnels, et des plaisanciers, en se plaçant au niveau d’une embarcation type, dont l’ensemble constituera les objets informatiques du modèle. Ce niveau de l’embarcation individuelle, sans détail sur ses occupants, est en effet suffisant pour aborder l’enjeu principal de risque de saturation de la ZMEL. Dans ce cas, on attribue donc l’adoption du mode de navigation, d’amarrage, d’ancrage, de départ ou de cabotage au niveau du bateau, les usagers n’étant considérés que de manière implicite, comme étant bien sûr les réels décisionnaires des actions entreprises. Les figures suivantes correspondent à la dernière version des hypothèses discutées avec le gestionnaire et illustrent au plus près le code informatique concernant ces agents. Ces diagrammes sont valables pour les usagers cherchant à s’orienter vers un secteur de ZMEL, tandis que ceux, nombreux, à s’orienter directement vers une zone où ancrer à l’abri du vent sont uniquement représentés par leur trajectoire et le jeu sur les vitesses de navigation entre le port de départ et la destination choisie.

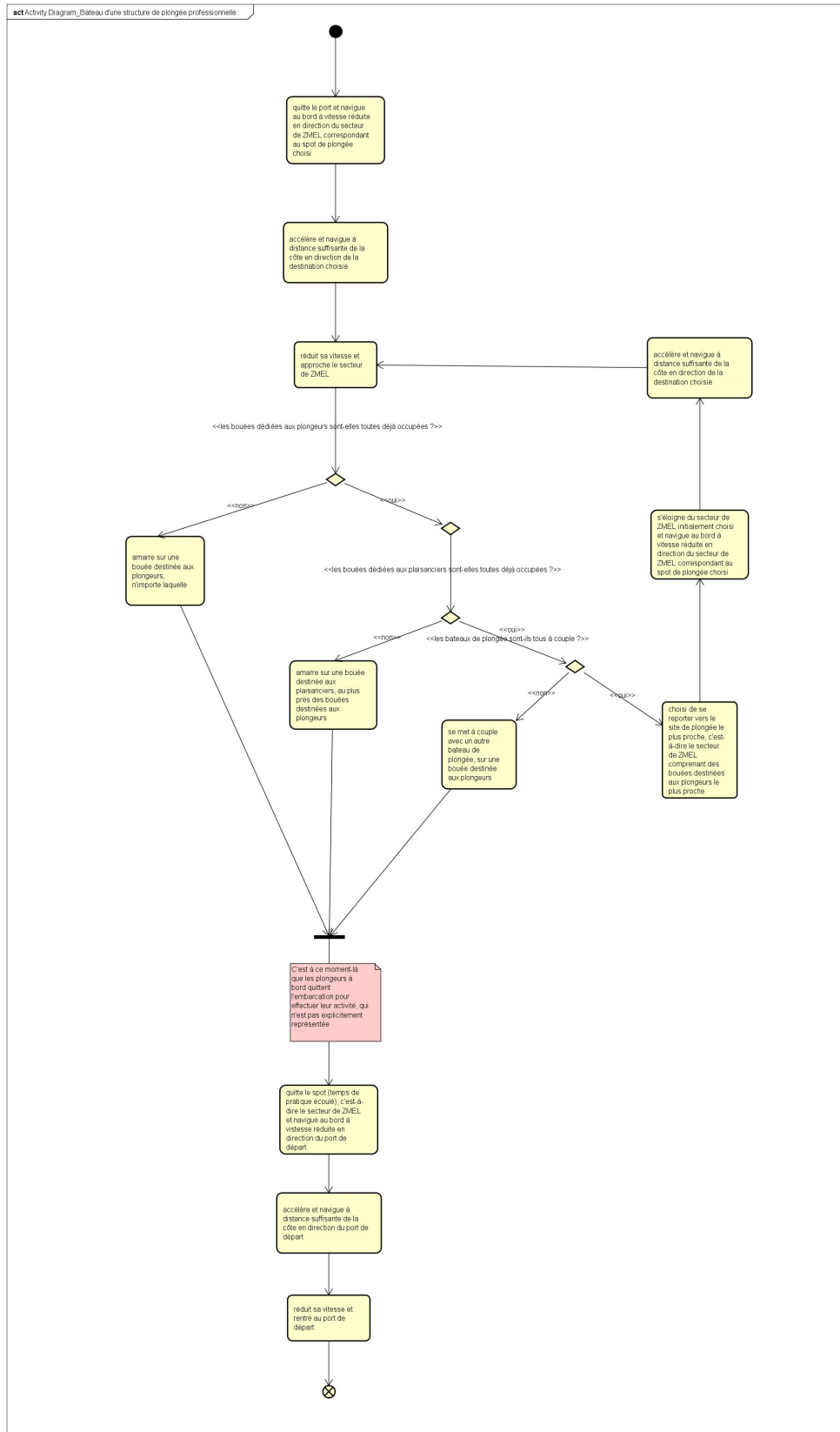
²⁹ Durant le stage de Pierre Réaud, l’utilisation de diagrammes UML a servi de support à la réflexion sur les effets de la mise en œuvre de mesures de conservation pour différents usagers (et des impacts résultants pour les écosystèmes marins) : connaissance ou pas de la mesure, adoption ou pas de l’attitude attendue, mais aussi prise en considération du mimétisme entre usagers et du rôle de la densité perçue d’autres usagers... Différents types de diagrammes ont ainsi été réalisés à l’aide des gestionnaires, de scientifiques et de représentants d’usagers concernant l’installation de mouillages écologiques pour les bateaux de plaisance et la mise en place d’une jachère pour la pêche à pied récréative de palourde dans le Parc naturel régional du Golfe du Morbihan (Réaud, 2020).

Figure 15 : Diagramme d'activité du bateau d'une structure de plongée associative



powered by Acton

Figure 16 : Diagramme d'activité du bateau d'une structure de plongée professionnelle



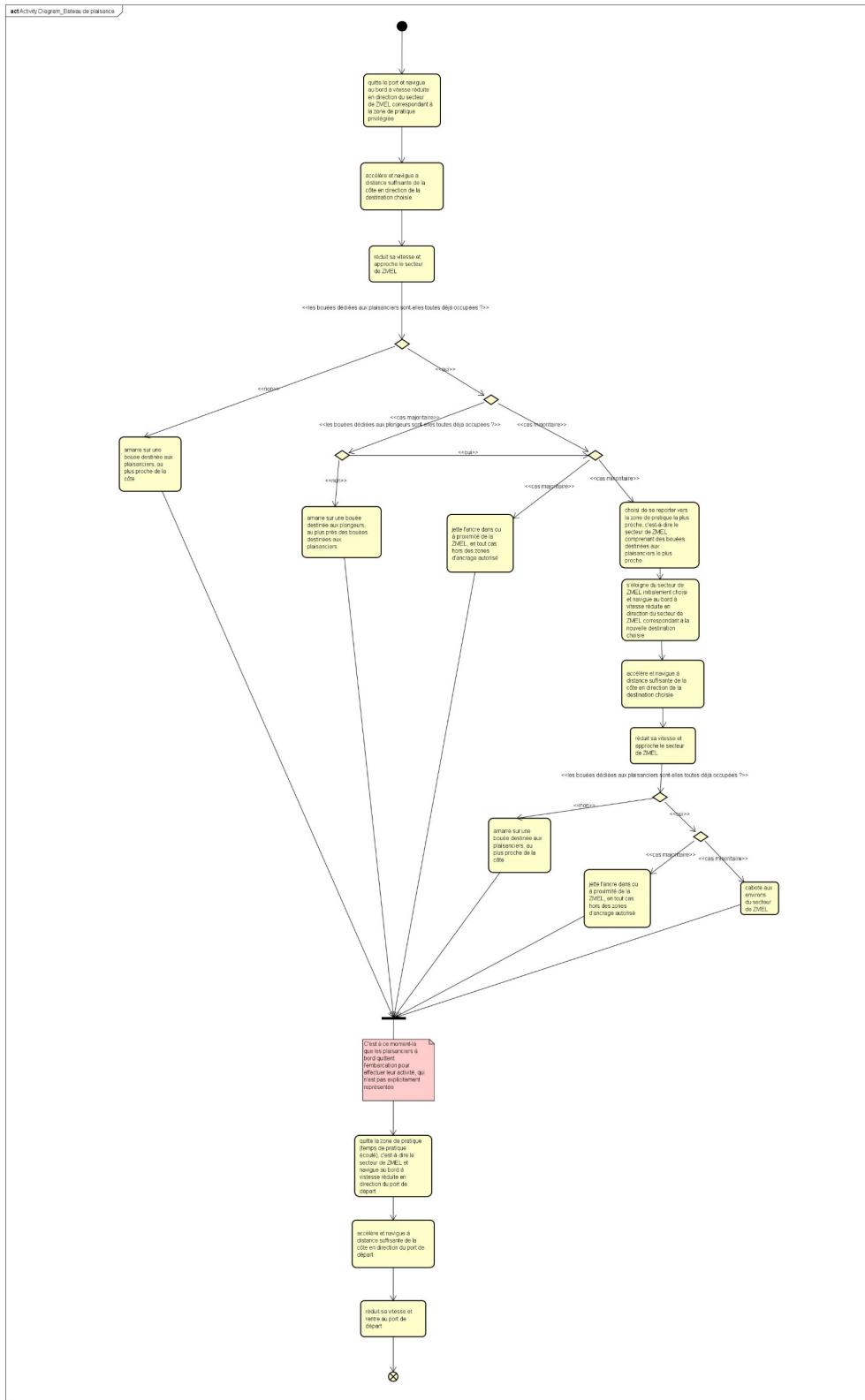
Comme on peut le constater à la lecture de ces diagrammes, la seule différence notable entre les séquences d'actions d'un bateau occupé par des plongeurs associatifs et d'un bateau de plongée occupé par des plongeurs professionnels concerne le choix de se reporter immédiatement ou pas vers un autre spot quand les bouées destinées aux plongeurs et aux plaisanciers sont déjà occupées par au moins un bateau. D'après nos hypothèses, certains plongeurs associatifs vont d'emblée choisir de changer de spot tandis que les plongeurs professionnels vont systématiquement chercher d'abord à se mettre à couple avec d'autres plongeurs, pour respecter une contrainte de temps. Ces séquences d'actions sont répétées à l'occasion des différentes rotations programmées.

Dans le cas des plongeurs comme des plaisanciers, quand les bouées dédiées à sa catégorie d'utilisateur sont toutes déjà occupées par un bateau, il est fréquent de s'amarrer à une bouée destinée aux autres types d'utilisateurs. Quand cela n'est pas possible car ces autres bouées sont elles aussi occupées, les plongeurs n'hésitent pas à se mettre à couple, tandis que cette possibilité n'est pas retenue pour les plaisanciers (pas observé sur le terrain). Dans ce cas, les plaisanciers peuvent se décider à ancrer, parfois dans la ZMEL, parfois à proximité de la ZMEL, en tout cas dans des secteurs qui seront davantage contrôlés à l'avenir. Alternativement, les plaisanciers peuvent choisir de se déplacer vers une autre zone de pratique possible qu'ils espèrent moins saturée, c'est-à-dire ici un secteur de ZMEL voisin. Contrairement aux hypothèses concernant les plongeurs, en cas de départ et d'abord d'un nouveau secteur de ZMEL, on estime que les plaisanciers raisonnent différemment que lors de leur première tentative d'accéder à une zone de pratique. Le temps pressant, en l'absence de bouée dédiée disponible, les uns jetteraient l'ancre (sans doute les plus expérimentés d'entre eux), les autres choisiraient de caboter dans les environs (notamment ceux moins à l'aise avec les manœuvres d'ancrage).

Notons que ces représentations correspondent à la traduction des connaissances et hypothèses du gestionnaire sur les comportements actuels des plongeurs et des plaisanciers. C'est ainsi qu'on se figure l'appropriation à court terme de la ZMEL redimensionnée. Mais le gestionnaire anticipe des adaptations possibles des comportements, notamment suite à la campagne de sensibilisation à la protection des fonds marins et de communication des règles en vigueur à l'intérieur de la ZMEL, à commencer par l'interdiction d'ancrage. Ces options d'adaptation des comportements à moyen terme ne sont pas représentées ici puisqu'on se concentre sur la réception première et les conséquences immédiates sur les usagers des mesures de conservation. Le gestionnaire a toutefois manifesté de l'intérêt pour un exercice de modélisation et simulation complémentaire qui permettrait de tenir compte des adaptations possibles des comportements d'ici quelques saisons, et de comparer les résultats obtenus sur les indicateurs de gestion proposés.

Les trois aspects que l'on vient d'évoquer ne couvrent pas l'ensemble des choix de modélisation, mais les plus importants. Une description plus complète du modèle, correspondant à sa version informatique, est donnée dans la section suivante.

Figure 17 : Diagramme d'activité du bateau de plaisance



powered by Acti

3. Description du modèle informatique

Pour décrire l'ensemble du modèle de façon synthétique et faciliter son appropriation et adaptation à d'autres études de cas, on peut recourir au protocole ODD pour « Overview, Design concepts, Details » (Grimm et al., 2006, Grimm et al., 2010). Il s'agit de la structure de documentation standard pour décrire et communiquer les modèles multi-agents. Le modèle informatique à proprement parler est consultable et téléchargeable sur GitHub³⁰ à l'adresse suivante : <https://github.com/elsamosseri/MARHA>.

Ce modèle est développé dans le langage de programmation et l'environnement de modélisation offerts par NetLogo. Rappelons que dans NetLogo, il existe quatre types d'agents : les tortues, les patches, les liens et l'observateur. Les tortues sont des agents qui sont capables de se déplacer dans le monde. Le monde consiste en une grille bidimensionnelle divisée en patches. Chaque patch est un morceau carré de « terrain » sur lequel les tortues peuvent se déplacer. Les liens sont des agents qui relient deux tortues. L'observateur n'a pas d'emplacement mais dispose d'une vision d'ensemble du monde constitué par les autres agents³¹.

Par rapport aux éléments déjà abordés dans les sections précédentes, il convient de préciser que le modèle et les simulations couvrent l'ensemble des bouées accessibles dans le périmètre du PNMGL, c'est-à-dire également les zones de mouillage organisé (ZMO) de la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB), qui se situe au sud-ouest du PNMGL. Le nombre de bouées disposées dans ces ZMO est loin d'être anecdotique comparé à celui des bouées disposées dans les secteurs de ZMEL : 32 bouées dans les ZMO de la RNMCB contre 14 dans les secteurs de ZMEL du PNMGL avant 2022 et 52 après 2022. L'inclusion de ces ZMO correspondant à des sites très prisés permet de représenter correctement le choix des zones de pratique des usagers et les reports possibles entre ces dernières à l'échelle d'un bassin de navigation cohérent. Les agents de la RNMCB avec lesquels nous avons pris contact ont confirmé l'intérêt de poursuivre l'expérimentation à cette échelle et nous ont aimablement partagé les jeux de données nécessaires.

VUE D'ENSEMBLE

Objectif

L'objectif du modèle est d'aider un gestionnaire d'AMP à appréhender le cas où les capacités d'accueil d'une ZMEL multi-secteurs sont susceptibles d'être saturées, avec un risque accru de mouillage forain alentours. Pour contribuer à cet effort d'anticipation, on simule à l'échelle d'une journée type la succession des arrivées et des départs des embarcations cherchant à accéder aux différents secteurs ZMEL. Ceci suppose de modéliser la trajectoire de navigation

³⁰ GitHub est un service web d'hébergement et de gestion de développement de logiciels, permettant aux programmeurs et aux développeurs de partager le code informatique de leurs projets afin de travailler dessus de façon collaborative. <https://github.com/>

³¹ <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/programming.html#agents>

et le choix du mode de mouillage des usagers concernés, ici les plongeurs et les plaisanciers. L'accent est mis sur les alternatives de comportement possibles selon la disponibilité des bouées du secteur de ZMEL initialement visé. Ces alternatives incluent la possibilité de s'amarrer à une bouée dédiée mais aussi à une bouée destinée en priorité aux autres usagers, de se mettre à couple sur une bouée déjà occupée, de jeter l'ancre, de changer de destination ou encore de caboter. Les résultats agrégés de cette combinatoire de décisions individuelles doivent permettre d'alimenter la réflexion du gestionnaire dans le cadre d'une gestion adaptative des zones de mouillage organisé à l'échelle de l'AMP.

Entités, variables d'état, échelle

Agents « tortue » et variables associées

Le modèle est constitué de 9 catégories d'agents de type tortue. Les deux principales catégories sont les bateaux de plongée et les bateaux de plaisance. Ces deux types d'embarcations possèdent une origine (port d'origine) et une destination (un point de l'espace situé dans un secteur de ZMEL ou d'ancrage), une heure de départ et une durée de sortie à respecter, ainsi que des informations actualisées à chaque pas de temps sur la trajectoire de navigation à privilégier pour atteindre le secteur visé en respectant certaines contraintes. Les attributs de ces deux types d'agents sont donc identiques, à l'exception de la distinction entre bateaux appartenant à des structures de plongée associatives ou professionnelles, qui n'a pas d'équivalent dans le cas des bateaux de plaisance. A chaque étape d'une simulation, ces bateaux sont alternativement caractérisés par le fait d'être en train de naviguer, d'amorcer un changement de destination, d'être ancré, de caboter ou d'être amarré. Quand un bateau est amarré, il est possible de savoir s'il est solo ou à couple, et sur quelle bouée en particulier. Ces deux premiers types d'agents sont les seuls à être doués de mobilité dans le modèle. Leur nombre varie selon les scénarios et les simulations (voir plus bas la section détails/données d'entrée).

Une autre catégorie d'agent concerne les ports au départ desquels les embarcations peuvent prendre la mer. Ils sont au nombre de 10 et sont identifiés par leur nom. En voici la liste du nord au sud : Leucate, Barcarès, Sainte-Marie-la-Mer, Canet-en-Roussillon, Saint-Cyprien, Argelès-sur-Mer, Collioure, Port-Vendres, Banyuls-sur-Mer, Cerbère. Ces ports sont utilisés comme repères géographiques pour la navigation des bateaux (point de départ et de retour des embarcations associées), mais c'est aussi à leur niveau que l'on stocke une partie de l'information utile pour construire les indicateurs de sortie. A chaque port est ainsi associé 6 listes, 3 concernant les bateaux de plongée au départ de ce port, 3 concernant les bateaux de plaisance au départ de ce port. Ces 3 listes types contiennent respectivement les noms des secteurs de ZMEL où un bateau a amarré (un nom par occurrence y compris quand il s'agit d'un secteur déjà recensé), les noms des secteurs de ZMEL où un bateau a ancré (idem) et les noms des secteurs d'ancrage autorisé où un bateau a ancré (idem).

Une autre catégorie d'agent correspond aux secteurs de ZMEL (dénommés secteurs d'amarrage dans le code). Par commodité et parce que ces agents ont le même rôle à jouer dans la version actuelle du modèle, les secteurs de ZMEL du PNMGL et les secteurs de ZMO

de la RNMCB sont rassemblés dans cette catégorie. Il existe donc 6 agents de ce type, identifiés par leur nom, listés ici du nord au sud : Moulade (ZMEL), Mauresque (ZMEL), Béar (ZMEL), Abeille (ZMEL), Peyrefite (ZMO), Cerbère (ZMO). Ces agents ne sont pas utilisés comme repères géographiques, mais seulement comme supports pour la création de listes permettant de stocker des informations utiles à la construction des indicateurs de sortie. Le repère géographique correspondant à la destination ciblée par une embarcation est localisé au niveau de l'unité spatiale de base du modèle (le « patch »). A chaque secteur d'amarrage est associé 9 listes, 4 concernant les bateaux de plongée ayant fréquenté ce secteur, 4 concernant les bateaux de plaisance ayant fréquenté ce secteur, 1 contenant les horaires auxquels le taux d'occupation des bouées de ce secteur menace de saturer (> 95 %) tous usagers confondus. Les 4 listes types contiennent respectivement les noms des ports d'origine des bateaux s'étant amarrés à une bouée (un nom par occurrence y compris quand il s'agit d'un port déjà recensé), les noms des ports d'origine des bateaux ayant ancré (idem), le taux d'occupation des bouées du secteur à chaque pas de temps et les horaires auxquels le taux d'occupation des bouées destinées à la plaisance est supérieur ou égal à 100 %.

Une autre catégorie d'agent correspond aux secteurs permettant d'ancrer à l'abri du vent dans des zones où cette pratique est autorisée (dénommés secteurs d'ancrage dans le code). Ces secteurs sont au nombre de 10, un par entité géographique correspondante, dont certaines appartiennent au même secteur, et ils sont identifiés par leur nom : Béar (*5), Mauresque (*3), Cap Leucate (*2). Ces agents ne sont pas utilisés comme repères géographiques, mais seulement comme supports pour la création de listes permettant de stocker des informations utiles à la construction des indicateurs de sortie. Le repère géographique correspondant à la destination ciblée par une embarcation est localisé au niveau de l'unité spatiale de base du modèle (le « patch »). A chaque secteur d'ancrage est associé 2 listes, 1 concernant les bateaux de plongée ayant fréquenté ce secteur, 1 concernant les bateaux de plaisance ayant fréquenté ce secteur. Chacune de ses listes contient les noms des ports d'origine des bateaux ayant ancré (un nom par occurrence y compris quand il s'agit d'un port déjà recensé).

Une autre catégorie d'agent correspond aux bouées mises à disposition à l'intérieur de chaque secteur de ZMEL/ZMO. Ces bouées peuvent être au nombre de 46 (32 bouées RNMCB + 14 bouées PNMGL) ou de 84 (32 bouées RNMCB + 52 bouées PNMGL), selon qu'on considère la ZMEL d'avant 2022 ou sa nouvelle version enrichie par l'ajout de 38 bouées. Chaque bouée est identifiée par le secteur de ZMEL/ZMO dans lequel elle se situe, le type d'embarcation auquel elle est destinée en priorité (bateau de plongée ou bateau de plaisance), ainsi que le nombre de bateaux maximum qu'elle est susceptible d'accueillir : 1 pour les bouées destinées aux plaisanciers, 2 pour les bouées destinées aux plongeurs. A chaque étape d'une simulation, il est aussi possible de connaître le nombre de bateaux effectivement amarrés à une bouée, le type d'embarcation amarré et la caractéristique supplémentaire le cas échéant (bateau appartenant à une structure de plongée associative ou professionnelle). Il est également possible de connaître l'identifiant NetLogo du ou des usager(s) amarré(s), une information utile pendant le développement du modèle (vérification de la correspondance entre bouée choisie pour amarrer du point d'une embarcation, et embarcation amarrée du point de vue d'une bouée).

Les deux dernières catégories d'agent de type tortue ont une valeur anecdotique dans cette version du modèle. Il s'agit des sites de plongées, que l'on fait figurer dans l'environnement spatial du modèle à seule fin illustrative, et du nom des communes limitrophes de l'AMP, qu'il est possible d'afficher à l'aide d'une commande dédiée pour aider à se situer dans l'environnement de l'AMP.

Agents « patches » et variables associées

L'autre principal type d'agent utilisé dans ce modèle concerne les patches. En effet, les agents de type tortue présentés ci-dessus sont tous situés dans un environnement spatial constitué d'un maillage carré. Chaque carré, ici appelé patch, possède différents attributs. Parmi les attributs essentiels, on compte l'indication de la distance à la côte, dont les bateaux vont tenir compte pour adapter leur mode de navigation. Les patches peuvent ainsi être situés dans la bande des 300 mètres et /ou la bande des 1 milles nautiques. Une autre information importante concerne l'appartenance du patch à un secteur de ZMEL/ZMO ou un secteur d'ancrage, et dans ce dernier cas, la situation "nord" ou "sud" du secteur d'ancrage (en lien avec le choix de destination des usagers selon le type de vent dominant). Ce sont donc les patches répondant aux critères de choix de destination qui servent de repères géographiques pour la navigation des bateaux en direction ou au départ de la zone de pratique de l'activité. Les autres attributs créés mais pas mobilisés à ce stade désignent la commune d'appartenance des patches représentant une portion d'espace terrestre, mais aussi l'éventuelle appartenance à la réserve, le type d'habitat marin, le niveau de richesse naturelle et la bathymétrie des patches représentant une portion d'espace maritime située dans le périmètre du PNMGL. Les 4 derniers attributs des patches concernent le nombre de bateau de plongée ou de plaisance qui y sont ancrés ou qui y cabotent. Ces dernières informations sont utilisées pour le développement du modèle afin de vérifier l'adéquation entre le statut indiqué au niveau des bateaux et le statu correspondant au niveau des portions d'espace les accueillant.

Chaque patch équivaut à une surface de 300 * 300 mètres, correspondant à une résolution spatiale assez fine pour décrire les différents secteurs de ZMEL/ZMO et approcher les règles de vitesse de navigation, telles que le respect d'une vitesse de 5 nœuds dans la bande littorale des 300 mètres. L'ensemble de ces patches forme une grille carrée (159 * 159), représentant à un territoire de 9 115 km². Cette couverture spatiale correspond à celle des cartes (couches SIG) utilisées comme données d'entrée (cette couverture spatiale pourrait être réduite pour gagner en efficacité sans effet sur les résultats de simulation). La résolution temporelle du modèle découle directement de la surface du patch et de la vitesse minimale de navigation que l'on souhaite pouvoir représenter, à savoir 5 nœuds : à une vitesse de 5 nœuds, un déplacement de 300 mètres (entre deux patches) doit prendre environ 2 minutes, d'où le choix d'un pas de temps équivalent 2 minutes. Le modèle est construit pour effectuer des simulations d'une journée type, entendue ici comme la période courant de 7 heures du matin à minuit (cet horizon temporel pourrait être réduit pour gagner en efficacité sans effet sur les résultats de simulation).

Variables globales

En plus des variables associées aux agents (leurs attributs), le modèle contient des variables dites globales (45), que l'on peut par commodité se représenter comme étant associées à l'observateur. Ces variables permettent :

- D'identifier les cartes utilisées comme données d'entrée (couches SIG) et de les rendre exploitables dans le modèle, notamment en chargeant certains contenus des tables attributaires au niveaux des variables associées aux patches (16)
- De modéliser la progression du temps par tranche horaire de 2 minutes (6)
- De suivre le nombre de bateaux, soit de plaisance soit de plongée en jeu dans une simulation et éventuellement (pour le développement du modèle) à chaque pas de temps (2)
- De paramétrer l'heure exacte de la première rotation des bateaux de plongée et le pic horaire de départ des bateaux de plaisance, c'est-à-dire la valeur moyenne de la distribution de la plage horaire correspondante (3)
- De créer des listes contenant les noms des secteurs de ZMEL/ZMO et les noms des ports afin de pouvoir systématiser certaines opérations sans avoir à les nommer chaque fois ou à créer une fonction (procédure) pour chacun d'entre eux (2)
- De stocker des informations utiles au calcul des indicateurs de sortie comme le nombre total à la fin du jour de bateaux de plongée, d'une part, de plaisance, d'autre part, ayant pu s'amarrer (possibilité de distinguer solo et à couple), ayant ancré ou ayant caboté ; le nombre de rotations effectuées par les bateaux de plongée ; la liste des pas de temps écoulés ; les listes des taux de vacances des bouées destinées aux embarcations de plongée, d'une part, de plaisance, d'autre part, à chaque pas de temps et à l'échelle du site (16)

Processus et ordonnancement

A chaque pas de temps, les opérations sont lancées dans l'ordre suivant :

- Le temps progresse de 2 minutes
- Si l'horaire en question correspond à l'heure de départ attribué à une embarcation, celle-ci se prépare à débiter sa sortie en mer
- Les embarcations concernées progressent dans leur sortie en mer, c'est-à-dire qu'elles naviguent (en direction d'une zone de pratique à l'aller ou du port au retour) ou qu'elles sont statiques (moment implicite où les usagers s'adonnent à la plongée et aux autres activités), en fonction du temps de sortie propre écoulé
- Certaines informations utiles à la construction des indicateurs de sortie sont stockées
- Éventuellement le « Command center » affiche la valeur de certains indicateurs valables pour cet horaire

CONCEPTION

Éléments de conception

❖ Principes

Le modèle ne repose pas sur une théorie préexistante (modélisation conceptuelle) mais sur un essai de reproduction des phénomènes observés (modélisation descriptive)³². On s'appuie donc avant tout sur les connaissances et hypothèses des gestionnaires au sujet des pratiques des usagers du site. On dérive de ces connaissances et hypothèses différentes règles de comportement des usagers, qui possèdent un statut de mécanisme explicatif potentiel du taux et du type d'occupation des secteurs de ZMEL pour une journée type. On émet l'hypothèse qu'en articulant l'attribution de zones de pratique préférentielles, différents comportements de mouillage possibles et des ordres de grandeur réalistes sur les horaires et durée de pratique ainsi que les vitesses de navigation, on peut reproduire le modèle de référence (occupation de la ZMEL avant 2022) et l'utiliser pour une prospective de court terme (occupation de la ZMEL en 2022).

❖ Émergence

Le principal phénomène émergent concerne le taux et le type d'occupation global des secteurs de ZMEL pour une journée représentative. Ce phénomène émergent résulte non pas d'une communication directe entre les agents ou d'interactions physiques entre ces derniers, mais d'interactions dites médiatisées par l'environnement, au sens où les conséquences de l'action d'un agent sur l'environnement commun (occuper une bouée d'un secteur de ZMEL) affectent en retour les autres agents partageant cet environnement (différentes alternatives de comportement selon la disponibilité observée des bouées du secteur).

❖ Adaptation

Les agents représentant les usagers disposent d'alternatives de comportement en fonction du taux et du type d'occupation du secteur de ZMEL visé à un instant précis ou d'une probabilité d'adopter différentes attitudes possibles. Les agents représentant les plaisanciers possèdent des capacités d'adaptation supplémentaires puisqu'ils n'adoptent pas exactement le même comportement (alternatives comprises) selon qu'ils abordent pour la première fois ou pas un secteur de ZMEL convoité.

❖ Objectifs

Le but implicite des agents représentant les usagers est d'atteindre leur lieu favori de l'AMP pour pratiquer leur activité. Le but explicite de ces agents est d'atteindre une zone de

³² Voir I.C. Principes et intérêts de la modélisation et simulation multi-agents.

mouillage attenante : soit une zone où ancrer à l'abri du vent, soit une zone de mouillage organisé.

❖ **Apprentissage**

Il n'existe pas de mécanisme d'apprentissage dans cette version du modèle, c'est-à-dire que les agents représentant les usagers ne tiennent pas compte des événements passés au cours de la simulation pour effectuer leurs choix futurs. Il serait intéressant d'implémenter des mécanismes d'apprentissage dans une version du modèle étendue à la saison et représentant la succession des journées de pratique des usagers qui fréquentent le site plusieurs jours d'affilée : jour après jour, en fonction des facilités d'accès aux secteurs de ZMEL, les choix de secteur ou de mode de mouillage des usagers sont susceptibles d'évoluer.

❖ **Prédiction**

Ici le comportement des agents représentant les usagers ne repose pas sur l'anticipation des conséquences d'une action qu'ils seraient susceptibles d'entreprendre. Cet aspect ne correspond pas aux options passées en revue pendant les réunions de travail avec les gestionnaires du site. Peut-être prendrait-on connaissance de tels phénomènes d'anticipation importants à intégrer dans le modèle en échangeant directement avec des usagers.

❖ **Perception**

Les agents représentant les usagers ont tout d'abord une perception de leur environnement marin immédiat, ce qui leur permet d'adopter un mode de navigation conforme avec le respect de règles schématiques de distance à la côte et de vitesse de navigation. Les agents représentant les usagers ont également une perception complète et exacte du taux et du type d'occupation du secteur de ZMEL visé.

❖ **Interaction**

Les agents représentant les usagers sont en interaction au sens d'interactions médiatisées par l'environnement (voir émergence). C'est-à-dire que les conséquences de l'action d'un agent sur l'environnement commun (occuper une bouée d'un secteur de ZMEL) affectent en retour les autres agents partageant cet environnement (différentes alternatives de comportement selon la disponibilité observée des bouées du secteur). On peut donc parler d'interactions indirectes et locales.

❖ Stochasticité

Le modèle comprend plusieurs éléments aléatoires. Tout d'abord, l'heure de départ du port des embarcations de plaisance est générée de manière aléatoire d'après une distribution normale prenant pour moyenne un pic horaire réaliste et pour écart-type une valeur permettant d'approcher une plage horaire observée. Le modèle intègre également des probabilités pour les agents représentant les usagers d'adopter un type de comportement plutôt qu'un autre selon l'occupation des bouées. Ces probabilités correspondent à des ordres de grandeur convenus avec les gestionnaires pour représenter des attitudes considérées comme majoritaires ou minoritaires parmi les usagers.

❖ Coopération / Agrégation

La seule notion de coopération dans le modèle correspond à la possibilité pour certaines embarcations de plongée de se mettre à couple sur des bouées qui leur sont destinées, traduisant les bons rapports entre les différentes structures de plongée. Dans le modèle, les groupes d'agents correspondent d'abord aux deux principales catégories d'embarcations/d'usagers, dont les effectifs sont répartis entre ports d'origine (initialisation). On peut ensuite observer des cohortes d'embarcations à l'échelle de chacun des secteurs d'amarrage ou d'ancrage (simulation).

❖ Observation

Parmi les sorties du modèle, on compte un graphique affichant le taux d'occupation des bouées des différents secteurs de ZMEL/ZMO tous types d'usagers confondus, actualisé à chaque pas de temps (histogramme), et un autre permettant de représenter l'évolution de ces taux d'occupation sur l'ensemble de la journée (courbe).

On dispose également de fenêtres affichant l'horaire critique de chaque secteur de ZMEL/ZMO en termes de taux d'occupation (monitors). Est considéré comme « critique » tout horaire auquel le pourcentage de bouées occupées est supérieur à 95 %, tous types d'usagers et de bouées confondus. Le résultat affiché correspond à l'horaire critique moyen, et évolue au cours de la journée simulée.

Au niveau du « Command center », on peut afficher les principaux indicateurs permettant d'analyser les scénarios. Certains de ces indicateurs permettent d'observer le statut des embarcations et des secteurs de ZMEL/ZMO à chaque étape de la simulation. Ainsi, à chaque pas de temps, on peut observer :

- Le nombre de bateaux de plaisance ou de plongée en train de naviguer, étant amarré à une bouée, étant ancré ou étant en train de caboter
- Le taux d'occupation des bouées des secteurs de ZMEL/ZMO
- L'horaire critique moyen des secteurs de ZMEL/ZMO

D'autres indicateurs s'affichent à la fin de la simulation et correspondent aux résultats cumulés sur la journée entière. Pour les bateaux de plongée d'une part, de plaisance d'autre part, on peut observer :

- La durée moyenne de la sortie complète et la durée moyenne du trajet retour vers le port (seule la durée de pratique incluant le trajet aller et la pratique implicite de l'activité est calibrée dans le modèle)
- Le pourcentage de bateaux ayant pu accéder à leur destination initiale ainsi que le pourcentage de bateaux ayant dû changer au moins une fois de destination
- La répartition des bateaux entre ceux ayant pu s'amarrer à une bouée écologique, solo ou à couple, ceux ayant caboté et ceux ayant ancré
- La provenance (port d'origine) des bateaux amarrés par secteur de ZMEL/ZMO, celle des bateaux ancrés dans les ZMEL par secteur de ZMEL/ZMO et celle des bateaux ancrés dans les ZAA par secteur de ZAA (ces informations sont données en nombre d'embarcations et en pourcentage)
- La ZMEL/ZMO de destination des bateaux amarrés par port d'origine, la ZMEL/ZMO de destination des bateaux ancrés dans les ZMEL par port d'origine et la ZAA de destination des bateaux ancrés par port d'origine (ces informations sont données en nombre d'embarcations et en pourcentage)
- Le taux d'occupation moyen de chaque secteur de ZMEL/ZMO, son taux d'occupation maximum et la durée cumulée sur la journée de la période de saturation (taux d'occupation supérieur ou égal à 100%)

DETAILS

Initialisation

L'initialisation du modèle comprend les étapes suivantes :

- Chargement et traitement des couches d'informations géographiques qui constituent l'environnement spatial du modèle : espace côtier, bandes de distance à la côte, ZMEL et ZAA, ports et bouées
- Indication des bornes temporelles et du pas de temps de la simulation
- Création des bateaux de plaisance et de plongée, répartition des bateaux entre les ports d'origine et attribution d'une destination préférentielle
- Attribution d'horaires de départ aux bateaux, pour ceux de plaisance à l'aide d'un tirage centré sur un pic horaire
- Création des bouées, avec la possibilité de tenir compte seulement des bouées datant de 2011 ou des bouées de 2011 et de celles de 2022
- Création de listes permettant de généraliser certaines opérations par la suite
- Mise à l'heure du début de la simulation

Données d'entrée

Couches d'informations géographiques

L'environnement spatial du modèle est entièrement défini par l'importation de couches d'informations géographiques, transmises par les gestionnaires ou créées pour les besoins du modèle. Les couches transmises et les traitements éventuellement effectués sont les suivants :

- Couches vecteur de localisation des quatre secteurs de ZMEL transmises par le PNMGL et couches vecteur de localisation des deux secteurs de ZMO transmises par la RNMCB : regroupement de ces couches en une seule et création d'un attribut « secteur » permettant de simplifier l'information sur chaque secteur de ZMEL ou de ZMO et de la mettre en cohérence avec l'information attribuée à chaque bouée
- Couche vecteur de localisation des bouées du PNMGL (bouées datant de 2011 et bouées datant de 2022) et couche vecteur de localisation des bouées de la RNMCB : création de couches de type polygonal à partir des couches de type ponctuel³³ et création d'un attribut « secteur » permettant de simplifier l'information sur le secteur d'appartenance de chaque bouée et de la mettre en cohérence avec l'information attribuée aux différents secteurs de ZMEL ou de ZMO
- Couche vecteur de localisation des zones où le mouillage forain est le plus pratiqué
- Couche vecteur de localisation des ports de plaisance : création de couches de type polygonal
- Couche vecteur de localisation des sites de plongée, ici à des fins illustratives : création de couches de type polygonal
- Couche vecteur figurant l'espace côtier
- Couche vecteur représentant les étangs et lagunes, ici à des fins illustratives
- Couche vecteur représentant les communes littorales, pour pouvoir afficher leur nom et aider à se situer (optionnel)

On a également chargé dans le modèle d'autres couches qui ne sont pas (encore) utilisées en l'état : bathymétrie, localisation des secteurs importants pour leur richesse naturelle, localisation et identification des différents habitats naturels marins.

Pour les besoins du modèle, on a créé les trois couches suivantes :

- Couche vecteur délimitant l'espace marin à une distance de 300 mètres du bord : création d'une zone tampon à partir de la couche figurant l'espace côtier

³³ La primitive dédiée à la création d'agents à partir d'une couche vecteur de type ponctuel (« gis:create-turtles-from-points ») ne fonctionne pas dans notre version de NetLogo. Alternativement on peut recréer des agents à partir du centroïde de chaque objet d'une couche de type polygonal.

- Couche vecteur délimitant l'espace marin à une distance d'1 mille du bord : création d'une zone tampon à partir de la couche figurant l'espace côtier
- Couche vecteur délimitant un périmètre de travail de 9 115 km² excédant celui du PNMGL (4 021 km²) et permettant de visualiser les trajets depuis/vers l'ensemble des principaux ports de plaisance de la côte

Nombre d'embarcations et ports de départ

Pour estimer le nombre de bateaux de plaisance et de plongée au départ de chaque port en moyenne et haute saison, on procède en deux temps : d'abord on estime le nombre d'embarcations naviguant dans le périmètre du PNMGL une journée de moyenne et de haute saison, puis on répartit ces effectifs entre les ports de plaisance de la côte d'après une clé de répartition commune aux deux saisons.

L'estimation du nombre d'embarcations à l'eau repose sur un parti pris commun, qu'il s'agisse des bateaux de plaisance ou de plongée : identifier dans les sources de données disponibles les périodes correspondant à la moyenne saison (week-end de mai) et à la haute saison (14 juillet-15 août) et retenir les valeurs les plus hautes. Les valeurs les plus hautes (nombre maximum d'embarcations) sont en effet apparues plus réalistes pour approcher les effectifs de bateaux à la journée à partir de données couvrant une plage horaire restreinte (survol aériens à un instant t) ou risquant de sous-estimer la fréquentation (y compris compte tenu de la situation sanitaire particulière des deux dernières années).

Pour estimer le nombre d'embarcations de plaisance naviguant dans le périmètre du PNMGL une journée de moyenne et de haute saison, on s'appuie sur des couches d'informations géographiques partagées par le gestionnaire : des données MEDOBS³⁴ sur trois années (2016, 2018, 2019) acquises par le PNMGL en 2020 et des données de quatre survols aériens commandés par le PNMGL pour l'année 2021 (même compagnie et même technique que dans le cadre du partenariat MEDOBS) pour étudier plus finement les pics de fréquentation. Les quatre derniers survols concernent les dates suivantes : samedi 12 juin 2021, mercredi 28 juillet 2021, mardi 3 août 2021 et dimanche 26 septembre 2021.

Aux dates compatibles avec la définition des deux saisons, le premier jeu de données MEDOBS indique des valeurs très sous-évaluées par rapport aux ordres de grandeurs observés sur le terrain³⁵. Pour la moyenne saison, on compte au maximum 35 embarcations correspondant à la plaisance en date du vendredi 22 mai 2020 (une dizaine de jours seulement après la fin du premier confinement lié à l'épidémie de Covid-19). Ceci tient sans doute au fait que les deux seules occurrences entrant dans le champ de la moyenne saison se situent en dehors des

³⁴ L'observatoire aérien des usages en Méditerranée française (MEDOBS) est un observatoire arien des usages en mer conduit à travers un partenariat entre Air Attack Technologies et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. L'objectif du réseau est d'apprécier les phénomènes d'occurrences de pressions sur le territoire. Les informations récoltées et associées à la sensibilité du milieu (fonction des caractéristiques du site) permettent de mieux identifier les zones à enjeux (altération des biocénoses, conflits d'usages, ...), et de travailler à l'organisation des usages. https://medtrix.fr/portfolio_page/medobs/

³⁵ Dans la classification des embarcations proposée, les catégories suivantes peuvent être associés à la plaisance : « pêche loisir », « plaisancier », « voilier ».

week-end (deux dates en mai : jeudi 31 mai 2018 et vendredi 22 mai 2020) et peut-être aussi à l'horaire auquel a été effectué le survol (pas indiqué dans la table attributive). Pour la haute saison, on compte au maximum 49 embarcations correspondant à la plaisance en date du vendredi 7 août 2020.

Ceci justifie sûrement la commande de nouveaux survols permettant de cibler les pics de fréquentation de l'AMP. Aussi, on choisit de se baser uniquement sur le second jeu de données, fournissant des ordres de grandeurs apparus plus réalistes lors de notre dernière réunion de travail en groupe³⁶. Dans ce cas, on attribue à la moyenne saison les valeurs associées au survol du samedi 12 juin (date la plus proche d'un week-end de mai), ce qui porte le nombre d'embarcations correspondant à la plaisance à 487 et on attribue à la haute saison les valeurs associées au survol du mardi 3 août 2021, ce qui porte le nombre d'embarcations correspondant à la plaisance à 516.

Pour distribuer ces effectifs d'embarcations de plaisance entre les ports de plaisance de la côte, on se réfère aux travaux conduits dans le cadre de l'action A.3 de Marha concernant la caractérisation des activités et des usagers de plongée du site (Audouit et al. 2020). Dans le cadre de ces travaux, un questionnaire spécial a été passé aux plaisanciers usagers des bouées pour acquérir des informations sur ces derniers. Au total, 143 questionnaires ont ainsi été réalisés directement en mer et 105 plaisanciers ont indiqué leur port d'attache sur le territoire³⁷. Lors de la dernière réunion de travail en groupe, il a été confirmé qu'il s'agissait de la seule information disponible sur ce thème à l'heure actuelle. Mais cette première estimation ne répond pas exactement à nos besoins puisque le questionnaire a été adressé préférentiellement au niveau des secteurs de ZMEL et à Sainte-Catherine en particulier, ce qui ne permet pas de couvrir l'ensemble des plaisanciers (et donc des ports d'attache) qui naviguent dans le périmètre du PNMGL. Dans l'attente d'informations complémentaires, nous avons réévalué certains pourcentages pour tenir compte des ports de la côte qui n'étaient pas représentés dans les réponses au questionnaire³⁸.

³⁶ Dans la classification des embarcations proposée, les catégories suivantes peuvent être associés à la plaisance : « embarcation a moteur avec cabine », « embarcation a moteur sans cabine », « embarcation à voile avec cabine », « embarcation à voile sans cabine », « embarcation en activité de pêche de loisir visible », « objet témoignant d'une activité de loisir non identifiée ».

³⁷ « Les ports d'attache situés sur le territoire sont, pour plus de la moitié des plaisanciers enquêtés [...], les deux plus grands ports de plaisance du secteur d'étude : Argelès-sur-Mer (35% des enquêtés) et Saint-Cyprien (29%) [...] Port-Vendres est un port de pêche avant d'être un port de plaisance, mais il se situe en troisième position avec 10% des plaisanciers qui y mettent leur bateau et 8% à Banyuls. Les autres ports d'attache cités par les plaisanciers sont : Sainte-Marie, Canet (4%), le reste se situe dans l'Aude (Barcarès et Leucate pour 1% des enquêtes) » (Audouit et al. 2020).

³⁸ Nous avons pris contact avec le service ADEL (Aménagement Durable et Economie Littorale) de la Région Occitanie pour savoir si ce service disposait de statistiques sur le nombre d'embarcations prenant la mer au départ des principaux ports de plaisance de la côte un jour de moyenne et haute saison. Notre interlocutrice n'en avait pas connaissance et nous a mis en contact avec l'Union des Villes Portuaires d'Occitanie (UVPO) et la direction du port de Canet-en-Roussillon, qui a conduit une étude approfondie sur la clientèle du port. La direction du port n'était pas en mesure de nous communiquer l'étude en question et nous a recommandé de nous rapprocher du Cabinet IDEA, qui disposerait peut-être de ce type de données à l'échelle régionale (www.idea-associes.com). Concernant l'UVPO, il y aurait matière à approfondir notre demande puisque certains ports sont équipés de systèmes de détection automatique des bateaux, ou qu'il serait possible de convenir avec le PNMGL d'une enquête à effectuer dans un ou plusieurs ports un jour de moyenne et haute saison.

Tableau 1 : Répartition des effectifs d'embarcations de plaisance au départ des principaux ports de plaisance de la côte

Leucate	1%
Barcarès	1%
Sainte-Marie-la-Mer	1%
Canet-en-Roussillon	7%
Saint-Cyprien	29%
Argelès-sur-Mer	35%
Collioure	2%
Port-Vendres	12%
Banyuls-sur-Mer	10%
Cerbère	2%

Pour estimer le nombre d'embarcations de plongée naviguant dans le périmètre du PNMGL une journée de moyenne et de haute saison, on s'appuie sur les compilations des carnets de plongée de 2018 à 2020 partagées par le gestionnaire. Les carnets de plongée doivent être remplis par les structures de plongée qui accèdent aux bouées situées dans le périmètre du PNMGL et contiennent les informations utiles pour estimer la fréquentation à la journée : date, heure, nom du club, nom du bateau, AMP (PNMGL ou RNMCB), nom du site, numéro de bouée, nombre de plongeurs, etc.

Ici encore, on sélectionne les sous-ensembles de données compatibles avec notre définition de la moyenne et de la haute saison, et on retient le nombre d'embarcations le plus élevé. Pour la moyenne saison, le nombre maximum d'embarcations présentes dans les différents secteurs de ZMEL/ZMO correspond au samedi 18 mai 2019 : 22 embarcations sur toute la journée. Pour la haute saison, le nombre maximum d'embarcations présentes dans les différents secteurs de ZMEL/ZMO correspond au vendredi 14 août 2020 : 35 embarcations sur toute la journée. Sachant que ces valeurs couvrent l'ensemble des rotations du jour et qu'il est prévu de simuler deux sorties en moyenne par jour par bateau, on divise simplement le nombre d'embarcations par deux pour obtenir les effectifs à attribuer ensuite au départ de chaque port : 11 en moyenne saison, 18 en haute saison.

Pour distribuer ces effectifs d'embarcations de plongée entre les ports de plaisance de la côte, on se réfère au nombre de plongées attribué à chaque club entre 2018 et 2020, indiqué dans la synthèse des compilations des carnets qui nous a été transmise. On agrège le nombre de plongées par port le plus proche de la commune d'appartenance des différents clubs. On en déduit une première répartition indicative des effectifs d'embarcations de plongée au départ des principaux ports de plaisance de la côte.

Tableau 2 : Répartition des effectifs d'embarcations de plongée au départ des principaux ports de plaisance de la côte

Leucate	-
Barcarès	-
Sainte-Marie-la-Mer	-
Canet-en-Roussillon	-
Saint-Cyprien	7%
Argelès-sur-Mer	28%
Collioure	2%
Port-Vendres	17%
Banyuls-sur-Mer	34%
Cerbère	13%

Destinations préférentielles

Les données d'entrée correspondant à l'attribution des objectifs de navigation en première intention sont directement issues des réunions de travail avec les gestionnaires et correspondent aux tableaux présentés dans la section « Destinations recherchées selon les conditions météorologiques » du chapitre précédent.

Sous-modèles

Gestion temporelle de la sortie

A chaque pas de temps, les bateaux augmentent leur compteur individuel de durée de sortie de la valeur du pas de temps (2 minutes). Tant que cette durée de sortie effective reste inférieure à la durée de sortie prescrite a priori et que le bateau n'est pas arrivé à destination, celui-ci continue de naviguer. Si la durée effective coïncide avec la durée prescrite, ceci signifie qu'il est temps de cesser toute activité, y compris la navigation ; le bateau se prépare à entamer le trajet retour et son port d'origine devient sa nouvelle destination. Au pas de temps suivant, le bateau reprend la navigation, en direction du port.

Réalisation du trajet aller

Tant que la durée de sortie effective reste inférieure à la durée de sortie prescrite a priori, les bateaux naviguent vers leur destination ou stationnent et pratiquent leur activité (implicite dans le modèle). Au moment précis où un bateau quitte le port ou change de destination, il navigue au bord à une vitesse de 5 nœuds. Ensuite et jusqu'à une distance à sa destination équivalent 5 patches, il navigue au large. L'action de naviguer au large est systématiquement répétée 3 fois par pas de temps, c'est-à-dire qu'un bateau effectue 3 déplacements par pas de temps, ce qui traduit une vitesse de navigation supérieure, de 5 à 15 nœuds. Arrivé à une distance à sa destination équivalent 2 patches, le bateau décélère (1 déplacement par pas de

temps donc une vitesse de 5 nœuds à 500 mètres environ de sa destination) et accède à sa destination sans contrainte de navigation spécifique (plus court chemin). Le bateau (ses occupants) évalue l'état du secteur de ZMEL/ZMO ou de ZAA c'est-à-dire qu'il entre dans le secteur en question et effectue un arbitrage selon le taux et le type d'occupation des bouées dans le premier cas, jette directement l'ancre dans le second cas.

Adoption de modes de navigation

Les bateaux de plongée et de plaisance fréquentant le PNMGL sont réputés naviguer entre leur port d'attache et leur destination en longeant la côte à une distance réglementaire du bord mais sans s'en éloigner trop. Le mode de navigation au bord permet d'abord de quitter le port d'attache : le bateau se déplace vers un patch voisin minimisant la distance à sa destination et forcément situé dans la bande des 300 mètres. Ensuite le mode de déplacement au large permet de s'éloigner de la côte en maintenant une trajectoire de navigation réaliste : le bateau se déplace vers un patch voisin jamais parcouru (pas de retour en arrière), minimisant la distance à sa destination et situé dans la bande des 1 mille nautique, si possible au-delà des 300 mètres. Ce jeu de contraintes permet généralement de reproduire des trajectoires conformes au principe en évitant les « voies sans issues » : bateau ne trouvant aucun patch compatible avec ces contraintes, bateau alternant sans fin entre les deux mêmes patches ou bateau tournant en rond sur un sous-ensemble de quelques patches. Exceptionnellement quand l'ensemble de ces contraintes ne peut être respecté, il existe deux alternatives : possibilité de passer par un patch voisin situé dans la bande des 300 mètres ou un patch voisin au-delà de la limite des 1 milles nautiques, toujours en minimisant la distance à sa destination. Ces deux exceptions permettent au bateau concerné de retrouver une trajectoire de navigation réaliste et respectant le jeu de contraintes du cas général les pas de temps suivants.

Adoption d'alternatives de comportement selon l'état du secteur de ZMEL/ZMO

Selon l'état d'occupation du secteur de ZMEL/ZMO approché, le bateau (ses occupants) peut alternativement s'amarrer à une bouée dédiée, s'amarrer à une bouée destinée aux autres usagers, se mettre à couple, jeter l'ancre, caboter ou encore se rediriger vers un autre site. Les ordres de choix en question reproduisent exactement les diagrammes d'activités présentés au chapitre précédent.

Réalisation du trajet retour

Le trajet retour comprend des étapes comparables à celles du trajet aller. Au moment précis où un bateau quitte sa zone de mouillage, il navigue à une vitesse de 5 nœuds, mais il peut se diriger vers un patch situé dans la bande des 1 milles nautiques si sa localisation excède déjà la bande des 300 mètres, par exemple s'il s'agit d'un bateau qui était en train de naviguer au large dans le cadre d'un changement de destination au moment où sa durée de sortie

individuelle s'est achevée. Ensuite, jusqu'à une distance à sa destination équivalent 5 patches, il navigue au large. Arrivé à une distance à sa destination équivalent 2 patches, le bateau décélère (1 déplacement par pas de temps donc une vitesse de 5 nœuds à 500 mètres environ de sa destination) et approche sa destination sans contrainte de navigation spécifique. S'il s'agit d'un bateau de plaisance, il accède au port et cesse toute activité jusqu'à la fin du jour/de la simulation. S'il s'agit d'un bateau de plongée, il accède au port mais peut entreprendre une autre sortie durant la journée/simulation.

Engagement de nouvelles rotations

L'ensemble des bateaux de plongée ayant effectué une première sortie à partir de 9 heures du matin repart en mer à 14 heures (deuxième sortie) mais seuls les bateaux au départ de Banyuls-sur-Mer, Port-Vendres ou Argelès-sur-Mer repartent en mer le quart d'heure suivant leur deuxième retour au port (troisième sortie). Ces derniers sont les seuls à pouvoir effectuer cette troisième sortie en milieu d'après-midi car ils se situent à une distance suffisamment proche des sites de plongée.

4. Simulation des scénarios et analyse des résultats

Pour évaluer la pertinence du modèle et fournir des éléments d'anticipation au gestionnaire le cas échéant, nous avons simulé des scénarios correspondant aux différentes journées représentatives possibles (12) pour les deux configurations connues de la ZMEL du PNMGL : 14 bouées destinées en priorité aux plongeurs depuis 2011 ; 52 bouées destinées au plongeurs et aux plaisanciers à partir de 2022 (24 scénarios en tout). Avant et après redimensionnement de la ZMEL, on dispose de 6 scénarios par saison, moyenne et haute saison. Les deux saisons se distinguent principalement par le nombre d'embarcations susceptibles de prendre la mer au départ des principaux ports de plaisance de la côte : 498 en moyenne saison, 534 en haute saison selon nos estimations. Il y a également davantage de bateaux de plongée qui décident de ne pas sortir en cas de vent fort en moyenne (50%) qu'en haute saison (20%). Pour chaque saison, on dispose de 3 scénarios par type de vent dominant, tramontane ou marin. La différence entre les deux types de vent est principalement qualitative car elle définit l'orientation des sites vers lesquels vont se diriger les bateaux ayant d'emblée prévu d'ancrer à l'abri du vent : au nord des baies ou anses en cas de tramontane, au sud de ces dernières en cas de marin. Pour chaque saison et chaque type de vent, il y a 1 scénario par force de vent : forte, modérée ou « insignifiante » (faible). La force du vent a un impact significatif sur le nombre de bateaux prenant effectivement la mer au départ de chaque port et sur leur destination préférentielle : quand le vent est fort, une partie des usagers renonce à sortir ; plus le vent est faible, plus les secteurs de ZMEL/ZMO visés sont variés³⁹. Les détails du nombre de bateaux simulés dans chaque scénario et des bouées accessibles dans chaque secteur de ZMEL/ZMO avant et après 2022 sont donnés dans les tableaux 3 et 4 ci-dessous. Le modèle comprenant des composantes aléatoires, les résultats présentés dans les tableaux suivants correspondent aux valeurs médianes obtenues pour les différents indicateurs après 100 répliques de chaque scénario.

On propose de commenter les résultats des scénarios simulés principalement en termes de nombre de bateaux de plaisance et de plongée amarrés dans les secteurs de ZMEL/ZMO, ancrés dans ou à proximité de ces derniers, ou ancrés dans des zones abritées du vent et où l'ancrage est autorisé (tableau 5). Il s'agit en effet de la métrique la plus parlante pour permettre aux gestionnaires de comparer les résultats de simulation avec les observations de terrain. Dans l'ensemble, les résultats obtenus apparaissent qualitativement conformes avec les scénarios décrits, les comportements modélisés et les données d'entrée retenues.

Pour un scénario donné, le nombre total de bateaux de plaisance et de plongée ayant amarré ou ancré est quasiment identique, avant et après redimensionnement. Ceci est attendu car le nombre et la disposition des bouées n'ont pas d'impact sur le nombre d'embarcations prenant la mer une journée type. L'écart maximum pour un même scénario entre les deux configurations de la ZMEL est de -7 bateaux de plaisance (moyenne saison, marin faible) et de +5 bateaux de plongée (haute saison, tramontane forte). Notons également que la distinction entre marin et tramontane n'est pas significative en ce qui concerne les résultats obtenus pour

³⁹ L'ensemble des destinations recherchées selon les conditions météorologiques est donné dans les figures 12, 13 et 14 du présent rapport.

les bateaux de plongée, puisque les hypothèses retenues pour leur attribuer une destination en première intention ne tiennent pas compte du type de vent, seulement de la force de ce dernier. La distinction entre marin et tramontane a un effet marginal en ce qui concerne les résultats obtenus pour les bateaux de plaisance : le type de vent influe seulement sur l'orientation des sites où ancrer pour s'en abriter, au nord des baies ou anses en cas de tramontane, au sud de ces dernières en cas de marin. Cette information est utile pour que les gestionnaires puissent se figurer la densité d'embarcations ancrées dans ces différentes zones et éventuellement envisager d'y aménager de futurs secteurs de ZMEL, mais cela n'a pas d'effet particulier sur les résultats agrégés présentés. Le seul impact possible pourrait concerner le temps de sortie total des embarcations, selon que les zones d'ancrage orientées nord ou sud sont situées plus ou moins loin du port de départ.

Conformément aux données d'entrée retenues sur le nombre d'embarcations de plaisance et de plongée naviguant dans le périmètre du PNMGL selon la saison, le nombre total d'embarcations simulé est légèrement plus important en haute qu'en moyenne saison. Conformément aux hypothèses de destinations recherchées selon les conditions météorologiques, le nombre total d'embarcations simulé est systématiquement plus bas en cas de vent fort, quel que soit le type de vent. En effet, en cas de vent fort, nous avons postulé qu'un certain nombre d'embarcations resteraient au port. Ainsi, en cumulé sur une journée, le nombre minimum de bateaux de plaisance ayant ancré ou amarré est de 235 en moyenne saison par vent fort. Le nombre maximum de bateaux de plaisance ayant ancré ou amarré est de 496 en haute saison par marin faible avant redimensionnement et de 495 en haute saison par tramontane modérée après redimensionnement.

Avant redimensionnement, le nombre de bateaux de plaisance amarrés dans les secteurs de ZMEL/ZMO à la journée s'échelonne de 12 (haute saison, tramontane forte) à 25 quand le vent est faible, quelle que soit la saison et le type de vent. Il est notable que ce maximum soit le même indépendamment de la saison, semblant traduire une saturation des capacités d'accès aux bouées autour de 25 embarcations de plaisance par jour. Le nombre de bateaux de plaisance ancrés dans/à proximité des secteurs de ZMEL/ZMO à la journée s'échelonne de 102 (moyenne saison, marin fort) à 220 (haute saison, marin modéré). Cet écart reflète la hausse du nombre d'embarcations à l'eau entre la moyenne et la haute saison et quand le vent n'est pas trop fort. Le nombre de bateaux de plaisance ancrés dans les secteurs de ZAA à la journée s'échelonne de 119 (moyenne saison, marin fort) à 260 (haute saison, tramontane modérée). Ici encore, cette fourchette reflète la hausse du nombre d'embarcations à l'eau entre la moyenne et la haute saison et quand le vent n'est pas trop fort. Le nombre de bateaux de plongée amarrés dans les secteurs de ZMEL/ZMO à la journée s'échelonne de 19 (moyenne saison, tramontane ou marin fort) à 48 (haute saison, marin faible). Ici aussi, cet écart traduit l'effet conjugué de la saison et de la force du vent sur le nombre de sorties.

Après redimensionnement, le nombre de bateaux de plaisance amarrés dans les secteurs de ZMEL/ZMO à la journée s'échelonne de 41 (moyenne saison, marin fort) à 60 quand le vent est faible en moyenne et haute saison. A l'image de la situation précédente, ceci semble traduire un nouveau seuil de saturation des capacités d'accès aux bouées autour de 60 embarcations de plaisance par jour. Le nombre de bateaux de plaisance ancrés dans/à

proximité des secteurs de ZMEL/ZMO à la journée s'échelonne de 72 (moyenne saison, tramontane forte) à 184 (haute saison, tramontane modérée). Le nombre de bateaux de plaisance ancrés dans les secteurs de ZAA à la journée s'échelonne de 122 (moyenne saison, tramontane forte) à 257 (haute saison par vent modéré). Le nombre de bateaux de plongée amarrés dans les secteurs de ZMEL à la journée s'échelonne de 20 (moyenne saison, tramontane ou marin fort) à 47 (haute saison, tramontane ou marin faible).

FOCUS SUR LES PLAISANCIERS

La principale évolution notable entre la situation antérieure au réaménagement de la ZMEL et la situation actuelle que permet de saisir cette vision d'ensemble concerne, comme attendu, le rééquilibrage du nombre de bateaux de plaisance ayant pu s'amarrer à une bouée par rapport au nombre de ceux ayant ancré à l'intérieur ou en périphérie de secteurs de ZMEL/ZMO. Au contraire, le nombre de bateaux de plaisance ayant ancré dans un secteur de ZAA est tout à fait comparable entre les deux configurations de la ZMEL, puisque ces derniers ne sont pas concernés par l'ajout de nouvelles bouées : il s'agit d'embarcations dont les occupants choisissent de se diriger d'emblée vers un secteur où ancrer à l'abri du vent, sans considération pour l'accessibilité des secteurs de ZMEL. Ainsi, les simulations reflètent correctement les archétypes traduits dans les scénarios et les composantes du modèle.

Le cas de figure où le nombre de bateaux de plaisance ancrés dans/à proximité d'un secteur de ZMEL/ZMO varie le plus à la baisse entre les deux configurations de la ZMEL concerne, quelle que soit la saison et le type de vent, un jour de vent fort, avec un maximum de -31% de bateaux ancrés un jour de moyenne saison et de forte tramontane (de 103 à 72). Ceci s'explique par un moins grand nombre d'embarcations à l'eau en moyenne saison, et d'autant moins un jour de vent fort : comme il y a plus de bouées accessibles qu'avant et le moins de bateaux de plaisance (hors cabotage) de tous les scénarios, le nombre de ceux qui sont concernés par l'alternative bouée/ancre et qui ne trouvent pas à s'amarrer est aussi le moins élevé. En haute saison également, la plus forte variation à la baisse du nombre de bateaux ancrés dans/à proximité d'un secteur de ZMEL/ZMO est un jour de forte tramontane (-28%, de 107 à 77). Les autres scénarios illustrent tous cette variation à la baisse, de l'ordre de -14% à -27% de bateaux ancrés aux abords des secteurs de ZMEL/ZMO toutes saisons confondues.

Le cas de figure où le nombre de bateaux de plaisance amarrés sur une journée varie le plus à la hausse concerne, en haute saison, un jour de tramontane forte (+254%, de 12 à 43 bateaux) et en moyenne saison, un jour de tramontane modérée (+221%, de 17 à 55 bateaux). Le cas du jour de tramontane forte en haute saison reflète précisément l'explication donnée au paragraphe précédent, c'est-à-dire que grâce aux nouvelles bouées mises à disposition, le nombre de bateaux ancrés diminue fortement (-28%) au profit du nombre de bateaux amarrés (+254%). Mais il y a plus de bateaux en haute saison qu'en moyenne saison, même un jour de vent fort, donc la diminution du nombre de bateaux ancrés reste légèrement inférieure à celle enregistrée pour la moyenne saison (-31%). Réciproquement en moyenne saison, le nombre de bateaux ancrés diminue le plus, car il y a moins de monde à l'eau en général, et plus d'opportunités d'accéder à une bouée, mais la progression du nombre de bateau amarrés aux

bouées est un peu moins importante qu'en haute saison, où il y a davantage d'embarcations en quête d'une bouée. Les autres scénarios illustrent tous cette variation à la hausse du nombre de bateaux amarrés sur la journée, de l'ordre de +136% à +227% toutes saisons confondues.

En variation absolue, les scénarios dans lesquels le nombre de bateaux de plaisance nouvellement amarrés dans les secteurs de ZMEL/ZMO est le plus important sont systématiquement les scénarios de vent modéré (suivis de près par les scénarios de vent faible). Ceci peut s'expliquer par la plus grande variété des destinations choisies quand le vent n'est pas trop fort, ce qui se traduit par une répartition plus homogène des tentatives d'amarrer à une bouée entre les secteurs de ZMEL/ZMO. Ceci signifie aussi que ces scénarios de vent modéré sont ceux qui optimisent le mieux le nouveau format de la ZMEL : quand le vent est fort, la progression du nombre de bateaux amarrés est forte car il y a relativement moins de bateaux de sortie et davantage de bouées, mais il reste des bouées inoccupées à l'échelle du site ; quand le vent est faible, il y a un maximum de monde à l'eau et les choix de destination sont variés, mais on atteint la saturation des capacités d'amarrage cumulées.

FOCUS SUR LES PLONGEURS

Selon notre représentation, les bateaux de plongée n'ancrent pas, ni aux abords d'un secteur de ZMEL/ZMO, ni dans un autre secteur abrité du vent. Ces bateaux ont seulement la possibilité de s'amarrer, à couple au besoin sur les bouées qui leurs sont destinées en priorité, solo sur les bouées destinées en priorité aux plaisanciers, ou de se déporter vers un autre secteur de ZMEL/ZMO quand il n'y a visiblement plus de bouée d'aucune sorte accessible dans le secteur convoité. Puisque le besoin de nouvelles bouées est relativement moins important pour les bateaux de plongée que pour les bateaux de plaisance et que les bateaux de plongée sont de toute façon censés s'amarrer à une bouée, on ne s'attend pas à relever d'évolution importante du nombre total de bateaux de plongée ayant pu s'amarrer aux bouées entre les deux configurations de la ZMEL. Pourtant, ce qui est notable dans nos résultats de simulation, c'est que le nombre de bateaux de plongée effectivement amarrés aux bouées sur une journée est systématiquement inférieur au nombre de rotations effectuées. Pour 37 rotations en moyenne tous scénarios confondus, on dénombre 4 bateaux n'ayant pas trouvé à s'amarrer avant redimensionnement, et 3 après. Cette situation est exacerbée en haute saison par marin modéré, où l'on compte 40 bateaux de plongée amarrés sur la journée alors que 50 sorties de plongées ont été effectuées (indépendamment du format de la ZMEL du PNMGL). Ces résultats signifient que les bateaux en question n'ont jamais trouvé à s'amarrer durant leur temps de sortie indiqué, solo ou à couple sur une bouée qui leur soit destinée en priorité, solo sur une bouée destinée en priorité en plaisanciers. Ces bateaux ont donc cherché en vain à se reporter sur un ou plusieurs sites sans y trouver de place.

L'ajout de bouées destinées en priorité aux plongeurs ne permet pas de juguler cette situation, seulement de l'atténuer à la marge, avec en moyenne 1 bateau de plus ayant trouvé à s'amarrer (33 contre 32). Cette situation s'explique du fait que les plaisanciers peuvent s'amarrer aux bouées destinées en priorité aux plongeurs, dès lors que les bouées qui leurs

sont destinées en priorité sont saturées. L'inverse est également vrai, mais les plaisanciers restent bien plus longtemps amarrés à une bouée puisque leur durée de sortie est supérieure : 5h30 de sortie pour les plaisanciers contre 2h00 pour chaque sortie de plongée (hors temps de trajet retour vers le port d'origine). Une fois qu'une bouée destinée en priorité aux plongeurs est occupée par un bateau de plaisance, il y a une probabilité élevée qu'elle ne soit plus accessible aux bateaux de plongée pour le reste de la journée, et ce en particulier en début d'après-midi, où les structures de plongée effectuent une seconde rotation (départ du port à 14h) tandis qu'un maximum de plaisanciers sont également de sortie et a fortiori amarrés aux bouées (pic horaire de départ du port à 11h). Compte tenu des horaires de sortie des différents usagers, les embarcations de plongée doivent trouver à s'amarrer sans difficulté lors de la première sortie du matin (départ du port à 9 heures), quand il y a encore très peu de plaisanciers à l'eau, et lors de la dernière sortie de l'après-midi pour les structures concernées (arrivée sur site entre 16h30 et 17h00), quand une partie des bouées occupées en début d'après-midi a été libérée.

Cette explication est confortée par les résultats présentés dans les trois derniers tableaux, qui reposent tous sur une comparaison du nombre de bateaux de plaisance ou de plongée amarrés par rapport au nombre de bouées- ou de places sur les bouées dans le cas des bateaux de plongée susceptibles de s'y mettre à couple- qui leur sont destinées en priorité dans chaque dans chaque secteur de ZMEL/ZMO, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL. Les tableaux 7 présentent le rapport moyen entre ces deux grandeurs, les tableaux 8 le rapport maximum rencontré sur la journée, et les tableaux 9 la durée cumulée pendant laquelle le nombre de bateaux amarrés est égal ou supérieur au nombre de bouées dédiées. Ces tableaux sont commentés par ailleurs. Notons que cette comparaison entre le nombre de bateaux amarrés et le nombre de bouées dédiées ne reflète pas strictement le degré d'appariement entre bateaux d'un certain type et bouées dédiées. Par exemple, il peut y avoir à un moment donné autant de bateaux amarrés que de bouées dédiées, dont un bateau amarré à une bouée destinée à un autre type d'utilisateur, et une bouée dédiée libre ou occupée par un autre type d'utilisateur, etc. En l'état, ces tableaux illustrent plusieurs cas de sur-occupation des secteurs de ZMEL/ZMO par les embarcations de plaisance, dont certains cas d'occupation de l'ensemble des bouées destinées en priorité aux plongeurs, sur des durées cumulées effectivement susceptibles de prévenir l'amarrage de nouveaux bateaux de plongée. Ces cas de figure sont tout de même moins fréquents et moins extrêmes après le redimensionnement de la ZMEL du PNMGL. Cette amélioration de la situation des plongeurs après le redimensionnement de la ZMEL est notamment visible dans les tableaux 6.

En plus de la progression attendue de la part des bateaux de plaisance ayant amarré par rapport à ceux ayant ancré, ces tableaux illustrent une progression sensible de la part des bateaux de plongée ayant pu accéder à leur destination initiale (sans avoir à se reporter vers d'autres secteurs) et une progression encore plus importante de la part des bateaux de plongée ayant amarré solo (sans avoir à se mettre à couple). La part des bateaux de plongée ayant pu accéder à leur destination initiale augmente de 6 à 11 points, avec des augmentations plus faibles en haute saison par vent faible ou modéré, quand il y a un maximum de bateaux à l'eau et des augmentations plus fortes en moyenne saison par vent fort, quand il y a le moins de bateaux à l'eau. La part des bateaux de plongée ayant amarré

solo augmente de 8 à 49 points, pour égaliser 100% ou presque dans l'ensemble des scénarios. Ces résultats sont ceux qui illustrent le mieux la façon dont les plongeurs peuvent bénéficier du redimensionnement de la ZMEL, selon notre représentation : en trouvant plus facilement à accéder au site de plongée initialement visé et en n'ayant pas à partager de bouée avec une autre structure. Ces résultats témoignent aussi des principales limites de notre représentation, puisque même après l'ajout de bouées, il demeure des bateaux de plongée n'ayant pas trouvé à s'amarrer.

Prenons pour exemple le cas de figure où le nombre de bateaux de plongée n'ayant pas trouvé à s'amarrer est le plus important (haute saison, marin modéré). Dans ce cas, plutôt que d'observer 100% de bateaux de plongée amarrés solo d'une part, et des bateaux de plongée sans attache d'autre part, on s'attendrait à observer une part de bateaux de plongée amarrés à couple. Puisque nous avons postulé que les bateaux de plongée ne se mettaient à couple que sur les bouées qui leur sont destinées en priorité, ceci signifie qu'au moment où certains d'entre eux n'ont pas trouvé à s'amarrer, en début d'après-midi, les bateaux de plongée déjà amarrés l'étaient sur des bouées destinées en priorité aux plaisanciers. Ceci traduit une hypothèse de modélisation sans doute trop restrictive de notre part, à savoir que les bateaux de plongée n'amarrèrent à couple que sur les bouées qui leur sont destinées en priorité. Plus généralement ce résultat inattendu signifie que notre représentation accorde un avantage aux bateaux de plaisance sur les bateaux de plongée, et que la notion de bouée destinée en priorité à un certain type d'usagers y a une valeur très relative. Il est tout aussi crédible qu'en cas de sur-occupation des bouées destinées en priorité aux plongeurs par les plaisanciers à la mi-journée, les moniteurs de plongée fassent acte d'autorité et délogent certaines embarcations de plaisance. Dans un registre moins conflictuel, nous n'avons pas considéré la possibilité que le pilote reste manœuvrant pour que la plongée ait lieu sur le site souhaité, passé un certain temps à chercher une bouée accessible.

Pour conclure, les scénarios simulés reproduisent différentes modalités de saturation des capacités d'amarrage de la ZMEL, avec une amélioration notable après l'ajout de bouées. En moyenne sur une journée, le redimensionnement de la ZMEL permet d'éviter l'ancrage de 33 bateaux de plaisance aux abords des secteurs de ZMEL/ZMO, et permet à 33 bateaux supplémentaires d'amarrer aux bouées. En moyenne sur une journée, ce redimensionnement ne permet qu'à 1 bateau de plongée supplémentaire d'amarrer aux bouées. Nos résultats illustrent une contrainte d'accès aux bouées largement desserrée pour les premières et dernières rotations des bateaux de plongée, mais une forte concurrence pour les bouées en milieu de journée, où les bateaux de plaisance saturent parfois l'ensemble des bouées.

La prochaine étape consiste à discuter nos résultats avec les gestionnaires, pour évaluer dans quelle mesure ceux-ci apparaissent compatibles avec les relevés de fréquentation disponibles. Si les ordres de grandeur obtenus pour les scénarios simulés avant redimensionnement sont suffisamment proches des suivis de fréquentation, il sera intéressant d'analyser les évolutions après dimensionnement à la lueur de cet exercice de modélisation et de simulation : toute différence entre les résultats simulés et les observations de terrain pourrait signaler des formes d'adaptation au nouveau format de la ZMEL non considérées dans cette version de l'outil, qui postule principalement une prolongation des comportements connus.

Tableau 3 : Nombre de bouées destinées en priorité aux bateaux de plaisance et de plongée dans les différents secteurs de ZMEL/ZMO avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL

Secteur	Type	Gestionnaire	AVANT REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL		APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL	
			Plaisance	Plongée	Plaisance	Plongée
			Nombre de bouées	Nombre de bouées	Nombre de bouées	Nombre de bouées
Moulade	ZMEL	PNMGL	0	4	1	4
Mauresque	ZMEL	PNMGL	0	3	11	5
Bear	ZMEL	PNMGL	0	5	18	10
Abeille	ZMO	RNMCB	10	14	10	14
Peyrefite	ZMO	RNMCB	8	0	8	0
Cerbere	ZMEL	PNMGL	0	2	1	2

Tableau 4 : Nombre de bateaux de plaisance, de plongée et nombre de rotations des bateaux de plongée simulés dans les différents scénarios

			AVANT & APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL			
			Plaisance		Plongée	
			Nombre total de bateaux simulés		Nombre total de rotations	
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	243	8	22	
		Vent modéré	487	11	31	
		Vent insignifiant	487	11	31	
	Marin	Vent fort	243	8	22	
		Vent modéré	487	11	31	
		Vent insignifiant	487	11	31	
Haute saison	Tramontane	Vent fort	258	13	35	
		Vent modéré	516	18	50	
		Vent insignifiant	516	18	50	
	Marin	Vent fort	258	13	35	
		Vent modéré	516	18	50	
		Vent insignifiant	516	18	50	

Tableaux 5 : Nombre de bateaux de plaisance et de plongée amarrés dans les secteurs de ZMEL, ancrés à proximité de ces derniers, ou ancrés dans des zones abritées du vent pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL

			AVANT REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL			
			Plaisance		Plongée	
			Nombre de bateaux amarrés dans les secteurs de ZMEL	Nombre de bateaux ancrés dans ou à proximité des secteurs de ZMEL	Nombre de bateaux ancrés dans les secteurs de ZAA	Nombre de bateaux amarrés dans les secteurs de ZMEL
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	14	103	120	19
		Vent modéré	17	203	246	27
		Vent insignifiant	25	194	243	29
	Marin	Vent fort	14	102	119	19
		Vent modéré	18	201	242	26
		Vent insignifiant	25	197	244	29
Haute saison	Tramontane	Vent fort	12	107	129	29
		Vent modéré	18	215	260	44
		Vent insignifiant	25	212	256	45
	Marin	Vent fort	13	107	129	31
		Vent modéré	19	220	257	40
		Vent insignifiant	25	212	259	48

			APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL			
			Plaisance		Plongée	
			Nombre de bateaux amarrés dans les secteurs de ZMEL	Nombre de bateaux ancrés dans ou à proximité des secteurs de ZMEL	Nombre de bateaux ancrés dans les secteurs de ZAA	Nombre de bateaux amarrés dans les secteurs de ZMEL
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	42	72	122	20
		Vent modéré	55	168	243	28
		Vent insignifiant	60	163	242	29
	Marin	Vent fort	41	74	123	20
		Vent modéré	54	168	242	25
		Vent insignifiant	59	159	241	29
Haute saison	Tramontane	Vent fort	43	77	129	34
		Vent modéré	54	184	257	46
		Vent insignifiant	60	175	257	47
	Marin	Vent fort	43	79	128	33
		Vent modéré	54	182	257	40
		Vent insignifiant	59	177	254	47

Tableaux 6 : Part des bateaux de plaisance et de plongée ayant pu accéder à leur destination privilégiée ou ayant dû changer de destination ; part des bateaux de plaisance ayant amarré, ancré ou caboté ; part des bateaux de plongée amarrés solo ou à couple pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL

		AVANT REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL									
		Plaisance					Plongée				
		Part des bateaux ayant pu accéder à leur destination initiale	Part des bateaux ayant dû changer au moins une fois de destination	Part des bateaux ayant amarré	Part des bateaux ayant ancré	Part des bateaux ayant caboté	Part des bateaux ayant pu accéder à leur destination initiale	Part des bateaux ayant dû changer au moins une fois de destination	Part des bateaux amarrés solo	Part des bateaux amarrés à couple	
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	91	9	6	92	1	14	86	70	30
		Vent modéré	90	10	5	93	2	45	55	74	26
		Vent insignifiant	91	9	6	92	2	73	27	100	0
	Marin	Vent fort	91	9	6	92	2	14	86	70	30
		Vent modéré	91	9	5	93	2	45	55	74	26
		Vent insignifiant	91	9	6	92	2	73	27	100	0
Haute saison	Tramontane	Vent fort	91	9	6	92	2	15	85	49	51
		Vent modéré	90	10	4	93	2	39	61	60	36
		Vent insignifiant	91	9	6	92	2	72	28	92	8
	Marin	Vent fort	91	9	6	92	2	15	85	49	51
		Vent modéré	91	9	4	94	2	39	61	56	36
		Vent insignifiant	91	10	6	92	2	72	28	92	8

		APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL									
		Plaisance					Plongée				
		Part des bateaux ayant pu accéder à leur destination initiale	Part des bateaux ayant dû changer au moins une fois de destination	Part des bateaux ayant amarré	Part des bateaux ayant ancré	Part des bateaux ayant caboté	Part des bateaux ayant pu accéder à leur destination initiale	Part des bateaux ayant dû changer au moins une fois de destination	Part des bateaux amarrés solo	Part des bateaux amarrés à couple	
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	92	8	19	81	0	25	75	100	0
		Vent modéré	92	8	12	86	2	45	55	100	0
		Vent insignifiant	92	8	13	85	2	82	18	100	0
	Marin	Vent fort	92	8	19	81	0	25	75	100	0
		Vent modéré	92	8	12	86	2	45	55	100	0
		Vent insignifiant	93	7	13	85	2	73	27	100	0
Haute saison	Tramontane	Vent fort	92	8	18	81	0	23	77	97	3
		Vent modéré	92	8	12	87	2	44	56	100	0
		Vent insignifiant	92	8	13	85	2	78	22	100	0
	Marin	Vent fort	92	8	18	82	0	23	77	94	6
		Vent modéré	92	8	12	86	2	44	56	100	0
		Vent insignifiant	92	8	13	85	2	78	22	100	0

Tableaux 7 : Rapport moyen (%) du nombre de bateaux de plaisance et de plongée réellement amarrés au nombre de places qui leurs sont destinées en priorité dans chaque secteur de ZMEL/ZMO pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL

			AVANT REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL											
			Plaisance						Plongée					
			Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	-	-	151	29	-	-	-	6	13	1	-	-
		Vent modéré	123	92	154	29	-	-	4	4	11	3	25	-
		Vent insignifiant	28	93	173	42	12	61	3	5	5	6	31	-
	Marin	Vent fort	-	-	151	29	-	-	-	6	13	1	-	-
		Vent modéré	122	92	152	29	-	-	4	4	11	3	28	-
		Vent insignifiant	29	92	153	42	12	62	4	5	5	6	43	-
Haute saison	Tramontane	Vent fort	-	-	152	29	-	-	1	10	17	3	-	-
		Vent modéré	122	92	155	29	-	-	7	6	15	6	31	6
		Vent insignifiant	29	92	154	44	15	61	4	5	8	10	65	3
	Marin	Vent fort	-	-	151	29	-	-	1	11	17	2	-	6
		Vent modéré	123	92	154	29	-	-	6	6	15	6	31	6
		Vent insignifiant	29	92	153	45	15	61	4	5	8	10	62	3
			APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL											
			Plaisance						Plongée					
			Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	-	27	47	20	-	-	-	3	7	1	-	-
		Vent modéré	153	45	48	28	-	-	4	2	7	3	22	-
		Vent insignifiant	30	45	48	36	12	92	3	3	3	6	31	-
	Marin	Vent fort	-	27	48	20	-	-	-	3	7	1	-	-
		Vent modéré	154	45	48	28	-	-	5	2	6	3	-	-
		Vent insignifiant	31	45	48	36	12	92	3	3	2	6	31	-
Haute saison	Tramontane	Vent fort	-	28	47	22	-	-	-	5	11	2	-	6
		Vent modéré	153	45	48	28	-	-	6	3	9	5	31	6
		Vent insignifiant	31	45	48	37	12	92	4	3	4	10	62	3
	Marin	Vent fort	-	28	48	21	-	-	-	5	11	2	-	3
		Vent modéré	153	44	49	28	-	-	6	3	10	5	31	-
		Vent insignifiant	31	45	48	37	12	92	4	3	4	10	62	3

Lecture :

Une valeur de 100% signifie qu'il y a en moyenne autant de bateaux d'un certain type amarrés dans un secteur que de bouées qui lui sont destinées en priorité dans ce secteur (sachant que les bouées destinées en priorité aux plongeurs sont susceptibles d'accueillir deux bateaux à couple). Le résultat peut être supérieur à 100% du fait qu'en pratique les différents types de bateaux peuvent accéder aux bouées initialement destinées aux autres catégories d'utilisateurs. Dans notre représentation, les bateaux peuvent donc se diriger vers des secteurs de ZMEL qui ne comprennent pourtant aucune bouée destinée en priorité à leur usage. Dans ce cas, le nombre de bateaux effectivement amarrés est rapporté à 1, ce qui revient à saturer le secteur par ce type d'utilisateur dès le premier bateau. Les valeurs supérieures à 100 sont ici surlignées en rouge, et illustrent les cas de figure où en moyenne sur la journée, les bateaux occupent plus de bouées que celles qui leur sont destinées en priorité.

Avant redimensionnement de la ZMEL, les bateaux de plaisance tendent à être largement présents dans les secteurs dans lesquels ils ne disposent pourtant d'aucune bouée, à savoir Moulade, Mauresque et surtout Béar.

Après redimensionnement de la ZMEL, cette situation de sur-occupation moyenne n'est plus la règle sur Béar, qui compte 18 nouvelles bouées destinées aux plaisanciers, et dans une moindre mesure sur Mauresque, qui compte 11 nouvelles bouées destinées aux plaisanciers, sauf en cas de vent fort.

Entre les deux configurations de la ZMEL, le rapport moyen du nombre de bateaux de plaisance amarrés au nombre de bouées dédiées augmente sensiblement dans certains cas seulement, quelle que soit la saison et le type de vent : un jour de vent modéré à La Moulade, un jour de vent fort à La Mauresque, un jour de vent faible à Cerbère.

Tableaux 8 : Rapport maximum (%) du nombre de bateaux de plaisance et de plongée réellement amarrés au nombre de places qui leurs sont destinées en priorité dans chaque secteur de ZMEL/ZMO pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL

			AVANT REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL											
			Plaisance						Plongée					
			Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Bear	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Bear	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	-	-	500	100	-	-	-	50	60	11	-	-
		Vent modéré	400	300	500	100	-	-	25	50	50	14	100	-
		Vent insignifiant	100	300	500	140	38	200	25	33	20	21	100	-
	Marin	Vent fort	-	-	500	100	-	-	-	50	60	11	-	-
		Vent modéré	400	300	500	100	-	-	25	50	50	14	100	-
		Vent insignifiant	100	300	500	140	38	200	25	33	20	21	200	-
Haute saison	Tramontane	Vent fort	-	-	500	100	-	-	13	83	80	18	-	-
		Vent modéré	400	300	500	100	-	-	50	67	80	25	100	25
		Vent insignifiant	100	300	500	140	50	200	25	33	30	39	300	25
	Marin	Vent fort	-	-	500	100	-	-	13	83	80	18	-	25
		Vent modéré	400	300	500	100	-	-	50	67	80	25	100	25
		Vent insignifiant	100	300	500	150	50	200	25	33	35	39	200	25
			APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL											
			Plaisance						Plongée					
			Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Bear	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Bear	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	-	100	156	70	-	-	-	30	35	11	-	-
		Vent modéré	500	145	156	100	-	-	25	30	30	14	100	-
		Vent insignifiant	100	145	156	120	38	300	25	20	10	21	100	-
	Marin	Vent fort	-	100	156	70	-	-	-	40	35	11	-	-
		Vent modéré	500	145	156	100	-	-	25	30	30	14	-	-
		Vent insignifiant	100	145	156	120	38	300	25	20	10	21	100	-
Haute saison	Tramontane	Vent fort	-	100	156	80	-	-	-	60	55	14	-	25
		Vent modéré	500	145	156	100	-	-	38	50	45	25	100	25
		Vent insignifiant	100	145	156	120	38	300	25	20	20	39	200	25
	Marin	Vent fort	-	100	156	75	-	-	-	60	55	14	-	13
		Vent modéré	500	145	156	100	-	-	38	50	45	25	100	-
		Vent insignifiant	100	145	156	120	38	300	25	20	20	39	200	25

Lecture :

Plus le rouge est soutenu, plus le nombre de bateaux amarrés excède le nombre de bouées qui leurs sont destinées en priorité, au moins une fois dans la journée.

Avant redimensionnement de la ZMEL, les secteurs qui connaissent les maximums de sur-occupation par les bateaux de plaisance sont ceux qui ne comportent aucune bouée destinée en priorité à ces usagers : Moulade, Mauresque, Béar et Cerbère. Le secteur de Béar est associé aux valeurs les plus élevées puisqu'il s'agit du secteur le plus prisé, dans lequel il n'y a initialement aucune bouée dédiée aux plaisanciers, mais le plus de bouées dédiées aux plongeurs, relativement aux autres secteurs disposant de bouées destinées en priorité aux plongeurs mais aucune aux plaisanciers. Ainsi, il y a 2 bouées dédiées aux plongeurs à Cerbère, 3 à La Mauresque, 4 à La Moulade, et 5 à Béar. Ceci signifie qu'à un ou plusieurs moments de la journée, les bateaux de plaisance occupent l'ensemble des bouées dédiées aux plongeurs à Béar. Ils sont également susceptibles d'occuper l'ensemble des bouées dédiées aux plongeurs à Cerbère en cas de vent faible, à La Mauresque en cas de vent modéré ou faible, et à La Moulade en cas de vent modéré. A Peyrefite, dans certains cas de figure, les bateaux de plongée peuvent à leur tour occuper des bouées destinées en priorité aux plaisanciers, en l'absence de bouées dédiées. C'est le cas par vent modéré ou faible, avec un maximum de 3 bouées occupées sur les 8 destinées en priorité aux plaisanciers (haute saison, tramontane insignifiante).

Après redimensionnement de la ZMEL, les maximums de sur-occupation par secteur sont plus faibles et proches d'une adéquation entre le nombre de bateaux de plaisance et le nombre de bouées qui leurs sont réservées en priorité. Les exceptions concernent les secteurs de La Moulade un jour de vent modéré et de Cerbère un jour de vent faible : dans ces deux cas, le maximum de sur-occupation est plus important qu'avant le redimensionnement de la ZMEL et les bateaux occupent alors toutes les bouées disponibles : 5 à La Moulade et 3 à Cerbère. Dans les secteurs connaissant la plus forte croissance du nombre de bouées, Mauresque et Béar, le rapport maximum du nombre de bateaux de plongée au nombre de bouées dédiées (toujours inférieur à 1 pour 1) diminue systématiquement.

Tableaux 9 : Durée cumulée (heures) pendant laquelle le nombre de bateaux de plaisance et de plongée réellement amarrés excède le nombre de places qui leur sont destinées en priorité dans chaque secteur de ZMEL/ZMO pour différentes journées types, avant et après redimensionnement de la ZMEL du PNMGL

			AVANT REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL												
			Plaisance						Plongée						
			Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Vent modéré	7	6	8	4	-	-	-	-	-	5	-		
		Vent insignifiant	5	7	10	5	-	6	-	-	-	5	-		
	Marin	Vent fort	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-		
		Vent modéré	7	6	7	4	-	-	-	-	-	5	-		
		Vent insignifiant	5	7	7	5	-	6	-	-	-	5	-		
Haute saison	Tramontane	Vent fort	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-		
		Vent modéré	7	7	8	4	-	-	-	-	-	5	-		
		Vent insignifiant	5	7	8	5	-	6	-	-	-	5	-		
	Marin	Vent fort	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-		
		Vent modéré	6	7	8	4	-	-	-	-	-	5	-		
		Vent insignifiant	5	7	7	5	-	6	-	-	-	5	-		

			APRÈS REDIMENSIONNEMENT DE LA ZMEL											
			Plaisance						Plongée					
			Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere	Bateaux /Bouées Moulade	Bateaux /Bouées Mauresque	Bateaux /Bouées Béar	Bateaux /Bouées Abeille	Bateaux /Bouées Peyrefite	Bateaux /Bouées Cerbere
Moyenne saison	Tramontane	Vent fort	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Vent modéré	7	5	5	2	-	-	-	-	-	4	-	
		Vent insignifiant	5	5	5	4	-	7	-	-	-	5	-	
	Marin	Vent fort	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Vent modéré	7	5	5	2	-	-	-	-	-	-	-	
		Vent insignifiant	5	5	5	4	-	7	-	-	-	5	-	
Haute saison	Tramontane	Vent fort	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-		
		Vent modéré	7	5	5	3	-	-	-	-	-	5	-	
		Vent insignifiant	5	5	5	4	-	7	-	-	-	5	-	
	Marin	Vent fort	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Vent modéré	7	5	5	3	-	-	-	-	-	5	-	
		Vent insignifiant	5	5	5	4	-	7	-	-	-	5	-	

Lecture :

Les valeurs indiquent la durée totale exprimée en heure pendant laquelle le nombre de bateaux amarrés dans un secteur de ZMEL est égal ou supérieur au nombre de bouées qui leur sont destinées. Une valeur nulle indique soit que dans une majorité de simulations du scénario, aucun bateau n'a accédé au secteur en question, soit que le nombre de bateaux amarrés dans ce secteur est toujours resté inférieur au nombre de bouées qui leur sont destinées en priorité. Pour savoir s'il s'agit de l'un ou l'autre cas, il faut se reporter au tableau précédent et observer une valeur nulle ou inférieure à 100.

En cohérence avec le tableau précédent, dans les deux configurations de la ZMEL, ce sont les bateaux de plaisance amarrés qui excèdent le plus souvent et le plus longtemps le nombre de bouées sur lesquelles ils sont prioritaires dans les secteurs suivants : Moulade, Mauresque, Béar, Cerbère et Abeille dans une moindre mesure. Le maximum est atteint à Béar, un jour de tramontane faible en moyenne saison, où les bateaux de plaisance occupent toutes les bouées destinées aux plongeurs sur une durée cumulée de 10 heures. Les bateaux de plongée amarrés sont plus nombreux que les bouées qui leur sont attribuées sur une durée cumulée de 5 heures à Peyrefite, sauf par vent fort.

Après redimensionnement de la ZMEL, ces durées de saturation du nombre de bouées dédiées connaissent une réelle diminution concernant les bateaux de plaisance à Béar et Abeille, et dans une moindre mesure à La Mauresque. En effet dans ce secteur, conformément au tableau précédent, il apparaît une situation inédite de saturation des bouées par les plaisanciers en cas de vent fort, pendant 2 ou 3 heures selon le scénario. La durée de saturation augmente également d'une heure à Cerbère par vent faible. Dans le cas des bateaux de plongée, la durée de saturation diminue seulement à Peyrefite (qui ne comprend toujours aucune bouée dédiée aux plongeurs) en moyenne saison et par vent modéré : diminution d'une heure en cas de tramontane et plus aucune période de saturation en cas de marin. Ce dernier résultat est conforme au tableau précédent qui n'indique aucune valeur de saturation dans ce cas de figure. Ceci signifie que dans une majorité de simulations de ce scénario (moyenne saison, marin modéré), aucun bateau de plongée n'accède à ce secteur.

Conclusion

Ce rapport a permis de préciser l'intérêt des approches de modélisation pour contribuer à l'évaluation des AMP et en particulier pour explorer les effets possibles d'une mesure de gestion sur les activités et usagers d'un site (évaluation ex-ante). Les résultats des modèles permettent en effet aux parties concernées d'anticiper les défis liés au déploiement de la mesure de gestion, de prévoir des moyens d'adaptation ou de faire valoir d'autres arrangements plus acceptables. La démarche de modélisation elle-même peut être conçue comme un support permettant d'organiser la discussion entre des parties possédant des points de vue hétérogènes, puis d'explorer collectivement des scénarios simulants, en l'occurrence, les mesures de gestion envisagées. Ce positionnement caractérise particulièrement le recours à la modélisation et à la simulation multi-agents dans une perspective de modélisation d'accompagnement.

Nous avons ainsi développé une première proposition de méthode intégrant, sans s'y restreindre, un usage de la modélisation et simulation multi-agents inspiré de la modélisation d'accompagnement. Jusqu'ici cette méthode a été appliquée à l'évaluation de mesures de gestion sur deux sites Natura 2000 en mer, dont un exercice collaboratif de modélisation et simulation multi-agents (l'annexe 1 offre un récapitulatif des scénarios, données, modèle et résultats-clés). La principale limite de cet exercice au regard de notre objectif initial concerne le public mobilisé : des membres de l'équipe de gestion concernés par le déploiement de la mesure, mais aucun usager dont l'activité serait susceptible d'être impactée par cette mesure. Les agents ayant participé aux réunions de travail possédant différents domaines d'intervention au sein de l'instance de gestion, notre exercice aura toutefois fourni l'occasion de partager des points de vue à cette échelle et de faire émerger une représentation synthétique du regard porté sur la pratique des usagers. Gageons que d'autres exercices ouvrant la participation aux usagers et donnant toute sa dimension et son intérêt à la méthode présentée pourront voir le jour dans la suite du projet Marha !

Bibliographie

ADEME & Commune d'Agde. (2018). *Récif'lab, Restauration écologique des infrastructures fonctionnelles du littoral agathois et de sa biodiversité*. <https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/1096-recif-lab.html>

ADENA. (2010). *Guide sous-marin en 3D : Les Tables*. <https://www.capdagde.com/sites/default/files/guide3d-sous-marin-tables.pdf>

AFB. (2017). *Capitalisation sur les mesures de gestion au sein des aires marines protégées de Méditerranée*.

https://www.natura2000.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/201702_rex_mesures_med_reduc.pdf

Audouit, C., Cardinal, J., Menthonnex, D., & Laboureur, M. (2020). *Approfondissement de la connaissance des activités et des usagers de plongée sur le PNM du Golfe du Lion*. Projet intégré LIFE 16 IPE/FR001 Marha. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03648179>

Ball, I. R., & Possingham, H. P. (2000). *Marxan (V1.8.2): Marine Reserve Design Using Spatially Explicit Annealing, a Manual*. <https://marxansolutions.org/software/>

Banos, A., Lang, C., & Marilleau, N. (2015). *Agent-based Spatial Simulation with NetLogo: Volume 1*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01299-0>

Baraduc, B., Cazottes, B., & Le Guillou, J. (2018). *Évaluation et propositions du Ministère de la transition écologique et solidaire en matière d'exploitation du balisage maritime*. CGEDD. <http://observatoire-portuaire.fr/telechargement/Evaluation-et-propositions-du-ministere-balisage-maritime-Echelle-nationale.pdf>

Blouet, S., Chéré, E., Dupuy de la Grandrive, R., Foulquié, M., & Trougan, M. (2019). *Évaluation de l'état de conservation du coralligène dans l'Aire marine protégée de la côte agathoise*. Ville d'Agde. <https://fr.calameo.com/ofbiodiversite/books/003502948cd193fd0d4bb>

Bommel, P., & Müller, J.-P. (2007). An introduction to UML for modeling in the human and social sciences. Dans Phan, D., & Amblard, F. (Eds.), *Agent-based modelling and simulation in the social and human sciences* (pp. 273-294). Bardwell Press.

Boncoeur, J., Alban, F., Brigand, L., Coic, F., Guégan, C., Guingot, M., Le Berre, S., Le Corre, N., Levi, L., Meunier, M., Pagès, C., Peuziat, I., & Voltaire, L. (2013). *Évaluation et suivi des effets économiques de la fréquentation des sites littoraux et insulaires protégés : application aux îles Chausey et au Mont Saint-Michel*. Projet BECO. Programme LITEAU III. http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0079/Temis-0079973/21398_Rapport.pdf

Bourdaud, P. (2018). *Impact d'une obligation de débarquement sur les dynamiques couplées écosystème-pêcheurs : approche par modélisation individu-centrée appliquée à la Manche Orientale*. [Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01896456/>

Bousquet, F., Cambier, C., Mullon, C., Morand, P., Quensière, J., & Pavé, A. (1993). Simulating the interaction between a society and a renewable resource. *Journal of biological systems*, 1(02), 199-214. <https://doi.org/10.1142/S0218339093000148>

Bousquet, F. (2001). *Modélisation d'accompagnement. Simulations multi-agents et gestion des ressources naturelles et renouvelables*. [Habilitation à diriger des recherches, Université Claude Bernard Lyon 1]. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00085861>

Bousquet, F., & Le Page, C. (2004). Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological modelling*, 176(3-4), 313-332. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011>

Commune d'Agde. (2018). *Demande de création d'un cantonnement de pêche - commune d'Agde. Site Natura 2000 « Posidonies du Cap d'Agde », Aire marine protégée de la côte agathoise*.

Cormas. (s. d.). *Approches écologiques. CORMAS - Ressources naturelles et simulations multi-agents*. Équipe Green (UMR SENS). CIRAD. <http://cormas.cirad.fr/fr/demarch/ecologi.htm>

Da Luz Fernandes, M., Quintela, A., & Alves, F. L. (2018). Identifying conservation priority areas to inform maritime spatial planning: A new approach. *Science of the Total Environment*, 639, 1088-1098. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.147>

Dali, M. (2020). *Suivi de l'effort de la pêche récréative dans l'Aire marine protégée agathoise suite à la mise en place d'un cantonnement de pêche*. [Mémoire de master, Université de Pau et des Pays de l'Adour].

DAM. (2018). *Projet AM 2022 - Affaires maritimes 2022*. Direction des Affaires Maritimes. Ministère de la transition écologique et solidaire. Intersyndicale du 16 février 2018. http://unsa-uppamer.syndicat.min-e2.fr/IMG/pdf/point_am2022_180216.pdf

Deadman, P., & Gimblett, R. H. (1994). A role for goal-oriented autonomous agents in modeling people-environment interactions in forest recreation. *Mathematical and Computer Modelling*, 20(8), 121-133. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(94\)90236-4](https://doi.org/10.1016/0895-7177(94)90236-4)

Delannoy, J., Beuret, J.-E., Cadoret, A., Chlous, F., Lesueur, M., Martel, L., Rey-Valette, H., & Ritschard, L. (2020). *Caractériser, Améliorer, Suivre et Evaluer la gouvernance des sites Natura 2000 en mer*. Projet intégré LIFE 16 IPE/FR001 Marha. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02910080>

Delayat, S., & Legrand, V. (2011). *Les cantonnements de pêche (1). Diagnostic général sur la façade Manche Atlantique française*. CRPM Basse-Normandie. MAIA - France.

DGMM Agde. (2018). *Projet de création d'une réserve marine (cantonnement de pêche) dans l'Aire Marine Protégée de la Côte Agathoise - Site Natura 2000 (Agde - France)*. Réunion DDTM-DML du 23 novembre 2018. Direction du milieu marin de la Ville d'Agde.

Di Franco, A., Bodilis, P., Piante, C., Di Carlo, G., Thiriet, P., Francour, P., & Guidetti, P. (2014). *L'engagement des pêcheurs dans les aires marines protégées de Méditerranée, un élément clé*

du succès de la gestion de la pêche artisanale. Projet MedPAN nord. WWF – France. <https://doczz.fr/doc/6284950/l-engagement-des-p%C3%A0cheurs-dans-les-aires-marines>

Duhalde, M. (2016). *Analyse des instruments des politiques de la biodiversité : le cas de Natura 2000 en milieu littoral et marin*. [Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale]. <https://www.theses.fr/2016BRES0008.pdf>

Étienne, M. (Eds.). (2010). *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Editions Quae.

Ferraro, P. J., & Pressey, R. L. (2015). Measuring the difference made by conservation initiatives: protected areas and their environmental and social impacts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1681). <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0270>

Francour, P., Seytre, C., Bodilis, P., Clozza, M., & Pastor, J. (2010). *Le cantonnement de pêche du Cap Roux : analyse du fonctionnement sur les années 2006-2010*. Contrat Mairie de Saint-Raphaël et Université de Nice-Sophia Antipolis. ECOMERS.

Fulton, E. A., Bax, N. J., Bustamante, R. H., Dambacher, J. M., Dichmont, C., Dunstan, P. K., Hayes, K. R., Hobday, A. J., Pitcher, R., Plagányi, E. E., Punt, A. E., Savina-Rolland, M., Smith, A. D. M., & Smith, D. C. (2015). Modelling marine protected areas: insights and hurdles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1681). <http://doi.org/10.1098/rstb.2014.0278>

Gaigne, M. (2020). *Innover pour mieux conserver ? Quel modèle économique pour le financement de la conservation de la biodiversité marine ?* [Mémoire de master, AgroParisTech]. Projet intégré LIFE 16 IPE/FR001 Marha. <https://fr.calameo.com/ofbiodiversite/read/0035029481c902c3efad2>

Galparsoro, I., & Borja, Á. (2021). Defining Cost-Effective Solutions in Designing Marine Protected Areas, Using Systematic Conservation Planning. *Frontiers in Marine Science*, 893. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.683271>

Gamp, E., Tachoures, S., & Robert, C. (2016). *Pêche récréative : un guide pour orienter dans vos méthodes de suivis. Suivi et caractérisation de la pêche récréative dans les aires marines protégées*.

Gissi, E., McGowan, J., Venier, C., Di Carlo, D., Musco, F., Menegon, S., Mackelworth, P., Agardy, T., & Possingham, H. (2018). Addressing transboundary conservation challenges through marine spatial prioritization. *Conservation Biology*, 32(5), 1107-1117. <https://doi.org/10.1111/cobi.13134>

Gonson, C. (2017). *Intégration des usages récréatifs et de la biodiversité marine pour la gestion et l'évaluation des espaces côtiers. Application aux Aires Marines Protégées de Nouvelle-Calédonie à partir de suivis de la fréquentation et la biodiversité et d'un modèle d'aide à la gestion*. [Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01633543/>

- Gourmelon, F., Le Guyader, D., Fontenelle, G., Levrel, H., Tissot, C., Bonneau de Beaufort, L., Rouan, M. (2013). *Modélisation et scénarisation des activités humaines en rade de Brest*. Projet Rad2Brest. Programme LITEAU III. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00797154v1>
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., ... & DeAngelis, D. L. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological modelling*, 198(1-2), 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023>
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: a review and first update. *Ecological modelling*, 221(23), 2760-2768. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019>
- Groizard, A. (2019). *Caractérisation de la pêche aux « petits » métiers au sein de l'Aire Marine Protégée de la Côte Agathoise, en vue de la création d'un cantonnement de pêche*. [Mémoire de master, Université de Montpellier].
- Lansing, J. S., & Kremer, J. N. (1993). Emergent Properties of Balinese Water Temple Networks: Coadaptation on a Rugged Fitness Landscape. *American Anthropologist*, 95(1), 97-114.
- Laslaz, L. (2020, février). *Les espaces protégés au défi de l'acceptation sociale - Une approche géographique*. [Séminaire]. Les sciences humaines et sociales dans les aires marines protégées, Pôle Numérique Brest Iroise. <https://www.gis-hommer.org/fr/fichiers/l-laslaz>
- Laurent, J. (2020). *Suivi des usages et de la fréquentation dans le cadre de l'aménagement d'une Zone de Mouillage et d'Equipements Légers au sein du Parc naturel marin du golfe du Lion*. [Mémoire de master, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne]. Projet intégré LIFE 16 IPE/FR001 Marha. <https://fr.calameo.com/ofbiodiversite/read/0035029482efe605a4468>
- Le Guyader, D. (2012). *Modélisation des activités humaines en mer côtière*. [Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00717420>
- Le Page, C., Bazile, D., Becu, N., Bommel, P., Bousquet, F., Etienne, M., Mathevet R., Souchère V., Trébuil G., & Weber J. (2013). Agent-based modelling and simulation applied to environmental management. Dans Edmonds, B., & Meyer, R. (Eds.), *Simulating social complexity: a handbook* (pp. 499-540). Springer Berlin, Heidelberg.
- Le Page, C. (2017). *Simulation multi-agent interactive : engager des populations locales dans la modélisation des socio-écosystèmes pour stimuler l'apprentissage social*. [Habilitation à diriger des recherches, Sorbonne Université]. https://agritrop.cirad.fr/583938/1/LePage_2017_DossierHDR.pdf
- Le Tixerant, M. (2004). *Dynamique des activités humaines en mer côtière. Application à la mer d'Iroise*. [Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00010788>
- Little, L. R., Punt, A. E., Mapstone, B. D., Pantus, F., Smith, A. D. M., Davies, C. R., & McDonald, A. D. (2007). ELFSim - a model for evaluating management options for spatially structured reef fish populations: an illustration of the "larval subsidy" effect. *Ecological modelling*, 205(3-4), 381-396. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.005>

- Livet, P., Phan, D., & Sanders, L. (2014). Diversité et complémentarité des modèles multi-agents en sciences sociales. *Revue française de sociologie*, 55(4), 689-729. <https://doi.org/10.3917/rfs.554.0689>
- Markantonatou, V., Giakoumi, S., Koukourouli, N., Maina, I., Gonzalez-Mirelis, G., Sini, M., ... & Katsanevakis, S. (2021). Marine spatial plans focusing on biodiversity conservation: The case of the Aegean Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(8), 2278-2292. <https://doi.org/10.1002/aqc.3610>
- Menthonnex, D., Audouit, C., & Laboureur, M. (2020). *Approfondissement de la connaissance des activités de plongée sous-marine pour l'AMP de la Côte Agathoise*. Projet intégré LIFE 16 IPE/FR001 Marha. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02958920>
- Mesnildrey, L., Gascuel, D., Lesueur, M., & Le Pape, O. (2010). *Analyse des effets des réserves de pêche*. Pôle Halieutique AGROCAMPUS OUEST. <https://hal-agrocampus-ouest.archives-ouvertes.fr/hal-00729440>
- MNHN & SPN. (2012). *Méthode d'évaluation des risques de dégradation des habitats naturels et des espèces d'intérêt communautaire par les activités de pêches maritimes*. MNHN-SPN / MAAPRAT-DPMA.
- Mongruel, R., Kermagoret, C., Carlier, A., Scemama, P., Le Mao, P., Levain, A., Balle-Beganton, J., Vaschalde, D., & Bailly, D. (2018). *Milieux marins et littoraux : évaluation des écosystèmes et des services rendus*. Programme EFES. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00600/71260/>
- MTES. (2020). *Créer, gérer et organiser les zones de mouillage et d'équipements légers (ZMEL). Guide méthodologique*. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_zone_mouillage_equipements_légers_0.pdf
- Parrott, L., Chion, C., Martins, C. C. A., Lamontagne, P., Turgeon, S., Landry, J. A., Zhens, B., Marceau, D., Michaud, R., Cantin, G., Menard, N., & Dionne, S. (2010). *3MTSim: an agent-based model of marine mammals and maritime traffic to assist management of human activities in the Saint Lawrence Estuary, Canada*.
- Peuziat, I., & Le Berre, I. (2015). *Cartographie des activités humaines en mer côtière : expérimentations en Mer d'Iroise*. Projet CARTAHU. <https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/ZABRI/halshs-01101500v2>
- Préfecture maritime Méditerranée. (2019). *La stratégie de gestion des mouillages en Méditerranée – volet opérationnel et orientations plaisance grande plaisance*. https://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dirm_med_-_brochure_strategie_mouillages.pdf
- Pressey, R. L., & Ferraro, P. J. (Eds.). (2015). *Measuring the Difference Made by Protected Areas: Methods, Applications and Implications for Policy and Practice*. Royal Society Publishing.

- Provot, Z., Mahévas, S., Tissière, L., Michel, C., Lehuta, S., & Trouillet, B. (2020). Using a quantitative model for participatory geo-foresight: ISIS-Fish and fishing governance in the Bay of Biscay. *Marine Policy*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.015>
- Réaud, P., (2020). *Modélisation qualitative des socio-écosystèmes marins en appui à la conservation de la biodiversité*. [Mémoire de master, Agrocampus Ouest]. Projet intégré LIFE 16 IPE/FR001 Marha. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03000993>
- Sabbio, A. (2017). *Étude pour la création d'un cantonnement de pêche dans l'Aire marine protégée de la côte agathoise*. [Mémoire de master, Agrocampus Ouest].
- SyMEL. (2019). *Création d'une ZMEL à Chausey*. <https://www.symel.fr/wp-content/uploads/2019/06/flyer-99x210-CREATION-ZMEL-CHAUSEY.pdf>
- Tissot, C., Le Tixerant, M., & Rouan, M. (2005). Le simulateur DAHU : une plateforme de modélisation des activités humaines en zone côtière. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (196), 125-135. <https://doi.org/10.4000/norois.455>
- Tissot, C. (2018). *Modélisation du déroulement d'activités anthropiques sous contraintes spatiotemporelles*. [Habilitation à diriger les recherches, Université de Bretagne Occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01960495>
- Trougan, M., Chéré, E., Dupuy de la Grandrive, R., Lange, M., Keller, F., Duclos, B., & Groizard, A. (2019). *Suivi des indicateurs relatifs à la fréquentation au sein de l'Aire Marine Protégée agathoise – saison 2019*. <https://fr.calameo.com/ofbiodiversite/books/003502948ea630845e256>
- Trougan, M., Chéré, E., Dupuy de la Grandrive, R., Lange, M., Keller, F., Dali, M., Guay, A., Kermabon, M., & Robin, S. (2020). *Suivi des indicateurs relatifs à la fréquentation au sein de l'Aire Marine Protégée agathoise – saison 2020*.
- Watts, M. E., Ball, I. R., Stewart, R. S., Klein, C. J., Wilson, K., Steinback, C., ... & Possingham, H. P. (2009). Marxan with Zones: Software for optimal conservation based land-and sea-use zoning. *Environmental Modelling & Software*, 24(12), 1513-1521. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.06.005>
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. Mit Press.

Annexe 1 : Récapitulatif de l'exercice de modélisation et simulation multi-agents de la ZMEL du PNMGL

