

Rapport de projet  
Doctoriales de la Biodiversité 2023  
Groupe Arcachon



## BASSIN D'ARCACHON :

# La réhabilitation des friches ostréicoles dans le domaine public maritime, un objectif partagé par les acteurs du territoire.

Estelle-Marie Blanquart  
Gauvain Schalchli  
Yvonne Kamugisha  
Axel Jame  
Aya Shaaban  
Romane Darul

© Patrice Bouscarrut



## Remerciements

Nous tenions tout particulièrement à remercier le réseau Biosena pour cette opportunité d'ouverture d'esprit par le travail en groupe multidisciplinaire nous permettant d'apprendre de nouvelles méthodes de travail en groupe très enrichissantes pour nos poursuites de projet et de carrière.

Une attention toute particulière aux divers acteurs, professionnels et chercheurs qui se sont rendus disponibles spécialement pour nous apporter leur expertise.

## Résumé :

Suite à l'alerte émise en 2016 des ostréiculteurs du bassin d'Arcachon envers le SIBA concernant les problèmes que posent les friches ostréicoles, une première campagne de réhabilitation des sites du Bourrut et des Jacquets visant, à l'aide de dragueuses et de broyeuses, à réhabiliter les friches ostréicoles en vasière ont été menés. Cette campagne s'avérant efficace mais non pérenne dans le temps et de plus très coûteuse en temps et en moyen, de nouvelles solutions doivent être mises en place. Compte tenu de la densité d'huîtres sauvages vivantes (65 000t) et de coquilles (50 000t) et de la taille du site (1000ha), il semble compliqué de répondre par une solution mécanique à ce problème.

De ce fait, en relation avec l'avis des ostréiculteurs et des restrictions déjà en place un axe de réponse se dessine.

Reprendre le problème à sa source et en inverser le processus, à l'aide d'un passage des forces de l'ordre et de l'alourdissement des peines encourues si un entretien régulier des parcs d'exploitation n'est pas fait par les ostréiculteurs.

La mise en place d'un label, récompensant les ostréiculteurs pour leur travail bien fait et dans le respect de l'environnement mettant donc en avant la qualité de leur travail. La création d'un sentier de sensibilisation le long du bassin afin d'informer les gens sur la pratique, son histoire et les conséquences et l'origine du phénomène de friches. Enfin, l'enfouissement des huîtres présentes sur les friches, semble une solution intéressante afin de laisser les huîtres en mer et d'en tirer les bénéfices et leur apport en oligoéléments pour le milieu.

Mots clés : Ostréiculture, friches, conflits d'intérêts, compétition trophique, enfouissement, réhabilitation, vasières, zostères, domaine public maritime, relations acteurs-public, Arcachon

## Table des matières

Contexte historique et social.....	4
Contexte scientifique sur l'état des friches .....	5
Cycle de vie de l'huître .....	5
Formation d'une friche ostréicole .....	5
Etat actuel des friches et l'impact sur les cultures.....	6
Objectifs du projet.....	6
Présentation des options de gestion des friches ostréicole.....	6
Options envisagées par le SIBA.....	6
Problèmes auxquels est confrontée la réhabilitation à l'issue de sa phase de test .....	7
Options non-envisagées par le SIBA.....	8
Outils de nettoyage.....	9
Conséquences de l'occupation du milieu des huîtres sauvages et compétition.....	10
Conséquences des coquilles dans le milieu.....	12
Dégradation des coquilles.....	13
La fossilisation : une proposition expérimentale.....	14
Le procédé .....	14
Les conditions post-mortem de la fossilisation :.....	15
Conclusion .....	16
Recyclage des coquilles .....	16
Pistes d'études.....	16
Valorisation des coquilles et intervention des industries .....	16
Un problème économique ou écologique ?.....	18
Problème d'informations et de générations.....	18
Un problème public.....	19
Sentier découverte, sensibilisation sur le littoral.....	19
Conclusion.....	20
Références .....	21

## Contexte historique et social

Le bassin d'Arcachon a un historique de tourisme et d'ostréiculture important depuis les années 1860, sur lequel repose beaucoup l'économie de la région. La culture des huîtres a évolué depuis ses débuts dans le bassin, autant en termes de technique qu'en termes d'espèces exploitées. L'automatisation des techniques depuis la cueillette a fait progressivement baisser le nombre d'employés des entreprises ostréicoles familiale puis, le bassin a progressivement témoigné d'une baisse constante du nombre de concessionnaires dû aux différentes crises économiques et sanitaires des huîtres (Tableau 1), (Scourzic *et al.* 2012). La diminution de la superficie associée aux cultures a suivi, laissant des parties du domaine public maritime anciennement loué aux ostréiculteurs abandonnées. Ces zones ont été laissées comme tel, sans stratégie ou objectif de nettoyage faute de moyens ou de sensibilisation des entreprises ostréicoles en faillite (Buestel *et al.* 2009).

Ce sont des dizaines d'années d'accumulation de matériel anthropiques et d'abandon qui ont mené en 2016 le Comité Régional Conchylicole Arcachon Aquitaine à alerter le Préfet et les élus sur l'état du Domaine Public Maritime actuel du Bassin d'Arcachon (Siba-bassin-arcachon.fr). Cette plainte a amené à la création d'un projet de réhabilitation de la friche afin de pouvoir redonner vie à cet environnement, autant dans une optique d'exploitation pour la production d'huîtres que pour restaurer autant que possible ce milieu dans son état d'origine.

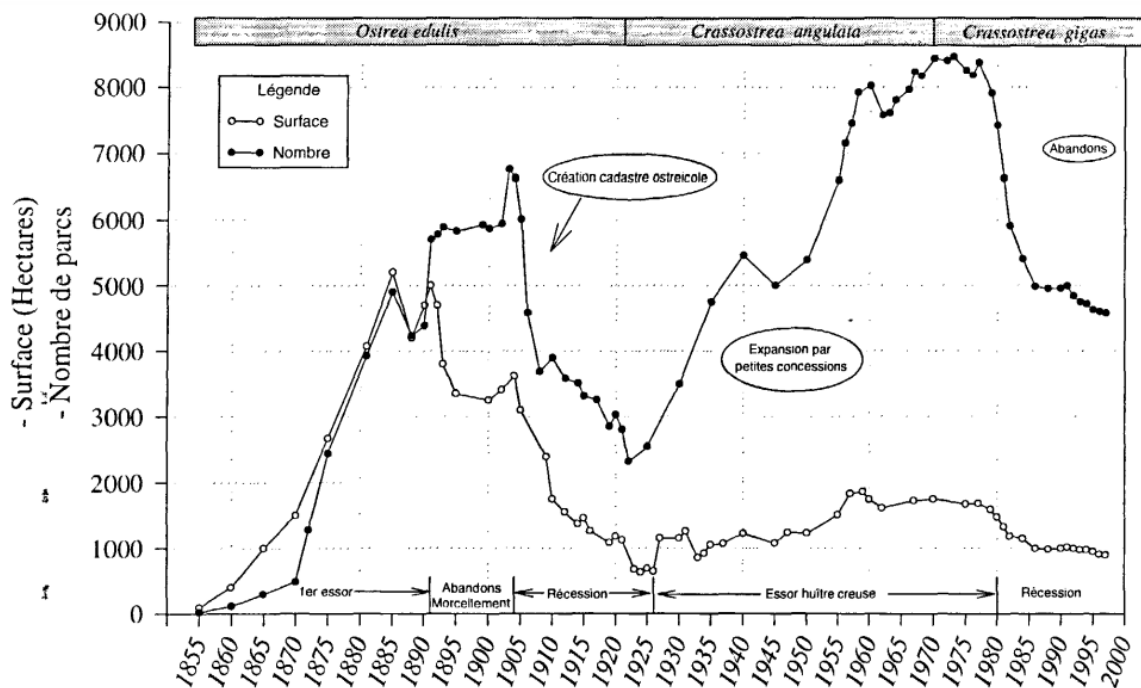


Tableau 1 - Evolution de la surface et du nombre de parcs de 1855 à nos jours. (Bouchet *et al.*, 1997)



## Contexte scientifique sur l'état des friches

### Cycle de vie de l'huître

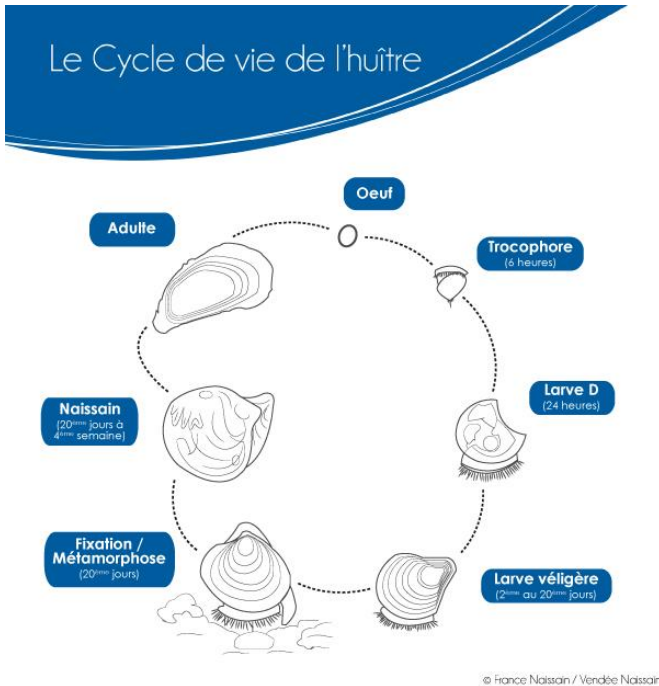


Figure 1 - Cycle de vie de l'huître © France Naissain

“Afin d'atteindre sa forme adulte, l'huître passe par plusieurs stades au cours de son cycle de vie (Fig.1). Après l'éclosion de l'œuf, la larve ciliée trocophore flotte sans direction dans la colonne d'eau avant de se transformer en larve D (nom dû à sa forme particulière) qui va commencer à former la future coquille. La prochaine phase, la larve véligère se déplace dans la colonne d'eau pour ensuite devenir la larve pédivéligère. Durant cette phase la larve va chercher un substrat, un support sur lequel s'attache définitivement pour devenir un "naissain". Ce naissain va progressivement devenir l'huître en grandissant pendant environ 2 ans, attachée au substrat choisi. Une huître dite "d'élevage", va être "travaillée" par l'éleveur afin de lui donner une forme caractéristique, arrondies avec des calibres spécifiques (Buestel et al. 2009). Les huîtres sauvages, de la même espèce, vont avoir tendance à être plus allongées, avec un aspect plus "brute" (Vendée Naissain).

### Formation d'une friche ostréicole

Les friches (Fig. 2) apparaissent après l'abandon par l'homme de terrain de culture ostréicole, faute d'entretien de la zone, ce sont des accumulations de coquilles d'huîtres, formant par endroit des rochers de plus d'un mètre (Siba-bassin-arcachon.fr). La chronologie de la création d'une friche ostréicole peut être résumée comme ci-dessous :

- Abandon du matériel de culture (tables ostréicoles, filets...)
- Captation des larves par le matériel constituant un substrat idéal
- Développement et croissance des huîtres
- Création de rochers de coquilles par accumulation d'individus, créant un substrat pour d'autres larves.



Figure 2 - Une friche ostréicole du Bassin d'Arcachon © SIBA

On peut voir que la création de friches constitue un cycle infernal qui s'autoalimente et grandit de plus en plus au fur et à mesure du temps.

## Etat actuel des friches et l'impact sur les cultures

Les friches ostréicoles sont devenues au fil des années de plus en plus conséquentes et denses. Ce problème est plus qu'ancré au sein du Bassin d'Arcachon connu pour son activité ostréicole.

Aujourd'hui on ne compte pas moins de 1000ha de friches ostréicoles (SIBA). Sur Arcachon en 2022 environ 120ha ont été traités afin de réduire la surface de friche et trouver un moyen durable.

Le problème étant que le traitement des friches est très coûteux en moyens et en temps. Ces friches posent un problème tout particulier dans la production et la culture des Huîtres de par l'impossibilité des producteurs de s'y installer à cause de la densité énorme d'huîtres sauvages (entrant en compétition avec les huîtres des cultures) et des coquilles présentes.

## Objectifs du projet

Dans le cadre du projet de réhabilitation des friches ostréicoles du domaine public maritime (DPM) le Syndicat intercommunes du bassin d'Arcachon (SIBA) tente de trouver une solution durable et accessible (moyen humain, temporelle et financier) afin de réhabiliter les friches ostréicoles et les rendre de nouveaux exploitables comme à l'époque et ainsi de retrouver la vasière d'origine.

Il est à noter que cette étude a pour objectif de réhabiliter et non de restaurer, parce que dans l'état actuel des sites et des moyens à notre disposition, il est impossible de retrouver avec exactitude les milieux ainsi que leur fonctionnement d'origine mais par contre chercher à s'en rapprocher est plus envisageable.

Nous tentons donc ici d'apporter des éléments de réponses ou du moins des pistes de réflexions afin de repenser des solutions pérennes et viables dans le temps.

- Quels sont les avantages et inconvénients sur le milieu et l'environnement d'un traitement des coquilles sur place ?
- Quels impacts les quantités d'huîtres sauvages peuvent-elles avoir en termes de compétition trophique vis-à-vis des huîtres d'élevage, en captant une partie importante des ressources phytoplanctoniques ?

## Présentation des options de gestion des friches ostréicoles

### Options envisagées par le SIBA

Différentes possibilités de gestion des friches ont été envisagées par le SIBA. Ces options peuvent être résumées par un arbre décisionnel composé de trois alternatives.

#### Première alternative: destruction des massifs VS non-destruction des massifs

Le SIBA, suivant les recommandations du plan de gestion du parc naturel, a choisi de procéder à la destruction de 75% des friches. L'option de la destruction permet et implique le nettoyage du matériel anthropique et produit un labourage du sol. Dans tous les cas, le labourage est compensé par un nivellement par dameuse.

## Deuxième alternative : évacuation des coquilles VS non-évacuation des coquilles

L'option de l'évacuation après destruction a été explorée par le SIBA dans les phases de test. Un débouché de recyclage du déchet coquillé existe dans le cadre du circuit commercial local à hauteur de 2000t par an. L'option de l'évacuation n'a pas été retenue pour des raisons de coûts de l'opération et de saturation du potentiel de recyclage actuel. Dans le cas de la destruction sans évacuation, l'opération de nivellement permet d'enfouir superficiellement les coquilles dans le sédiment.

## Troisième alternative: broyage des coquilles VS non-broyage des coquilles

Dans le cadre de la non-évacuation, les modes opératoires élaborés par le SIBA dans les tests de réhabilitation privilégient autant que possible le non-broyage. Dans une partie des cas, le nivellement aboutit à une qualité de sol intéressante en termes de portance pour l'activité ostréicole et comparable à la vasière naturelle en termes de composition. Dans certaines conditions, cependant, le nivellement ne parvient pas à enfouir suffisamment les coquilles et aboutit à une concentration excessive de coquilles en surface. Ce type de résultats a conduit le SIBA à développer une opération supplémentaire de broyage à l'aide d'une dameuse armée d'un broyeur forestier.

	Conséquences écologiques et sociétale
Destruction + évacuation	- augmentation significative du coût énergétique et économique
Destruction (+ nivellement)	- maintien de la ressource minérale - augmentation de la portance du sol
Destruction + broyage	- accélération de la biodégradation - perte de structure des déchets - facilitation du nivellement - amélioration de la dilution dans le sédiment

## Problèmes auxquels est confrontée la réhabilitation à l'issue de sa phase de test

Au-delà des problèmes initiaux qui ont conduit à lancer la dynamique de réhabilitation, différents problèmes spécifiques se posent à l'issue de la phase de test:

- Résurgence des coquilles par lavement des sédiments
- Recolonisation spontanée des zones réhabilitées

La cause du lavement est l'abaissement des massifs qui provoque le rétablissement de l'hydrodynamisme. Ce problème est donc une conséquence rétroactive directe du mode de gestion choisi pour la réhabilitation, c'est une réponse du milieu à cette gestion. La cause de la recolonisation est la dissémination dans le bassin des semences d'individus reproducteurs dont le mode de reproduction ovipare consiste à répandre des millions de gamètes dans le milieu donnant vie à des milliers de larves. La source des semences est actuellement à la fois les populations sauvages et les populations élevées. Nous nous demandons quelle est la proportion de la recolonisation liée à l'élevage.

Il est frappant de constater que les problèmes rencontrés sont tous deux liés à l'intervention de l'humain dans le milieu, directement pour le lavage et au moins indirectement pour la colonisation sauvage.

### Options non-envisagées par le SIBA

Les opérations de réhabilitation de la SIBA durant la phase de test ont privilégié une approche d'ingénierie issues des techniques de travaux publics et ont exclu totalement l'utilisation de la structure et des autres propriétés intrinsèques des massifs. D'autres part, la stratégie d'intervention est homogène et monotone. Enfin, la stratégie élaborée à ce stade implique peu d'acteurs et semble vouloir aboutir à une solution unique et figée. En s'appuyant sur l'ensemble des facteurs en jeu dans le milieu, sur les propriétés des massifs, sur l'ensemble des acteurs du territoire, sur les échanges d'expériences avec d'autres territoires et sur le dialogue à long terme avec les chercheurs, on peut envisager d'autres modes opératoires et une complexification de la stratégie. Une complexification de la stratégie de réhabilitation pourrait produire les bénéfices suivants:

- Abaissement du volume total d'interventions
- Diminution de la surface d'intervention
- Allègement énergétique et économique des interventions
- Valorisation de services-écosystémiques
- Education aux enjeux de la biodiversité
- Contribution à la recherche scientifique
- Contribution à la transition écologique du territoire

Du point de vue écologique, la prise en compte des propriétés des massifs d'huîtres pourrait avoir plusieurs avantages:

- Résoudre le problème du lavement des zones réhabilitées. En effet, les massifs d'huîtres intacts sont des obstacles à l'hydrodynamisme. Ainsi en étudiant la distribution des courants et la sélection des massifs à détruire, on pourrait envisager un aménagement hétérogène des zones à réhabiliter dans lesquelles la conservation de certains massifs améliorerait la stabilité des sédiments et donc des massifs enfouis. Un tel aménagement aurait à la fois un effet de diminution de la fréquence des interventions et un effet de diminution de la surface à travailler (volume de massifs à détruire).
- Création d'habitats pour la faune limicole. Dans le parc naturel de la Narbonnaise, des méthodes de recyclage des déchets coquillés pour la création d'habitats limicoles ont été couronnées de succès. L'utilisation de certains massifs d'huîtres du bassin complétés par du déplacement de matériel issu de massifs détruits pourrait peut-être être affectée à la même fonction. Cette stratégie permettrait à la fois de diminuer le coût des interventions, les surfaces d'intervention et de contribuer à la préservation des populations limicoles.
- L'implication des amateurs de pêche à pied dans l'entretien de certaines friches pourrait permettre à la fois de diminuer le captage spontané, de diminuer les surfaces à réhabiliter et de faire de la formation aux enjeux de la biodiversité.
- Les propriétés de réflexion de la lumière solaire par les coquilles d'huîtres pourraient permettre de contribuer à l'adaptation du bassin au dérèglement climatique en diminuant l'absorption de chaleur par les eaux du bassin



- Les propriétés de substrat de biodiversité des massifs d'huîtres pourraient permettre d'influencer le maintien de l'oligotrophie du milieu et le développement des zostères
- La recherche et développement des filières de valorisation des coquilles et la modernisation des techniques d'évacuation pourrait permettre de reconsidérer l'option de l'évacuation et contribuer à la transition écologique de l'économie locale

## Outils de nettoyage

Les conditions techniques de nettoyage des friches ostréicoles peuvent-elles contribuer à une réduction ou à une augmentation du coût global? Sont-elles problématiques ?

L'opération du nettoyage des friches ostréicoles s'effectue en sept étapes. Un bateau armé d'une grue achemine sur place des engins de chantier qui interviennent à marée basse pour extraire les ferrailles et broyer les rochers d'huîtres qui se sont formés au fil de temps.

- Mise en place d'un andain de coquille
- Stockage des coquilles dans des géobox et actionnement de motopompes
- Utilisation de la dameuse pour combler les trous d'eau
- Retrait des ferrailles à l'aide d'une pelle sur ponton.
- "passage de la dameuse à sec pour casser les massifs d'huîtres et niveler le terrain." (SIBA 2018 p. 6)
- Passage d'une benne preneuse
- Chargement des poches à la main sur le ponton flottant

On peut s'interroger si le nombre des séquences utilisées pour la finition du nettoyage des coquilles engendrent un surplus dans le coût financier et dans le capital humain?

Ces équipements (Fig.3) facilitent deux types de lavages qui présentent leurs propres contraintes. La motopompe ne permet de laver que les plus grosses coquilles. La méthode de ce tri manuel consiste à peser ces grosses coquilles pour faciliter un nettoyage efficace. Or, les caisses palettes plastiques sont trop petites/étroites pour éviter l'accumulation des sédiments en profondeur. A ce manque de mobilité des coquilles s'ajoute une faiblesse de la pompe elle-même.

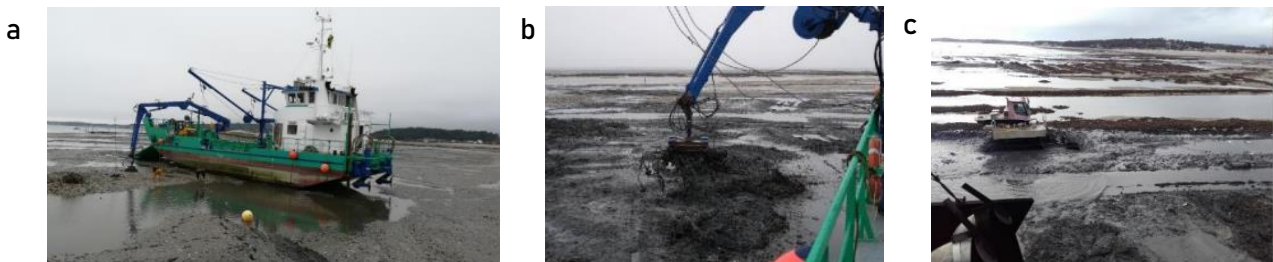


Figure 3 - Différentes étapes de la méthode du SIBA. a) la Trézence (le bateau): pour l'amenée et repli du matériel b) Chargement des ferrailles sur la Trézence c) Nivellement du terrain par la dameuse © SIBA

## Vers des solutions possibles?

Pour faire des économies, faudrait-il envisager un processus de triage des coquilles en mer et ne ramener que des coquilles lavées et triées à terre? Cette modification dans les séquences de nettoyage pourrait en effet contourner l'enjeu du colmatage des coquilles et réduire le coût du transport des géobox. Dans le même sens, une installation aux dimensions adéquates voire mieux adaptées au lavage à bord assurerait des opérations de réhabilitation plus efficaces en amont. Ces deux types d'actions préventives et qualitatives des

équipements en soi pourraient constituer un meilleur contrôle des méthodes et du coût global.

L'amélioration des expériences de nettoyage assurerait des prises aériennes ciblant mieux les zones à risque dans l'estimation des volumes de coquilles à forte concentration (SIBA, 1999). Repenser la méthodologie actuelle dans un cadre socio-économique pour une amélioration des méthodes aurait une lecture déterminante dans l'utilisation cartographique du Bassin d'Arcachon

### Discussion

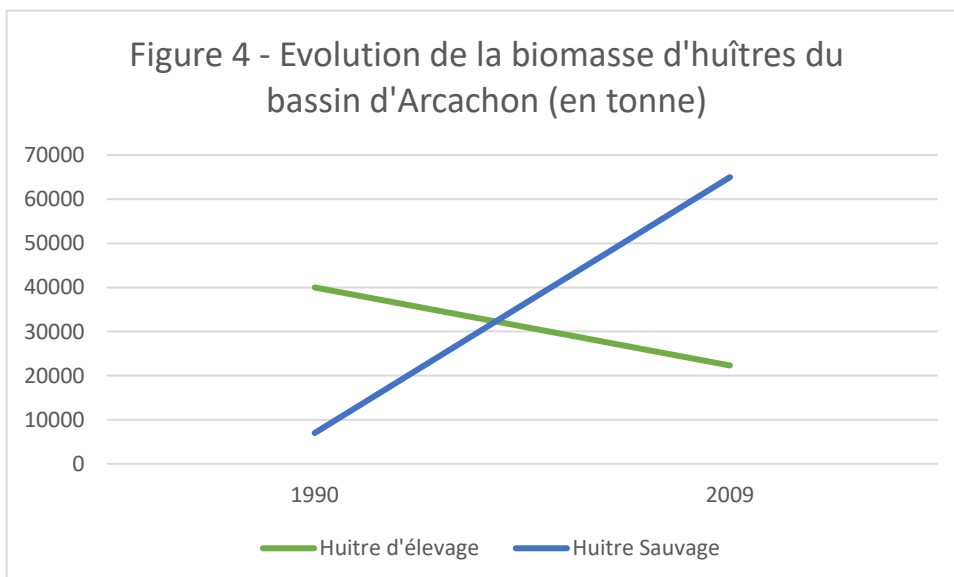
Inquiétudes formulées par les chercheurs au niveau des équipements utilisés pour faciliter la faisabilité de ces travaux titanesques. Un manque de flexibilité dans les bateaux pour extraire les coquilles de l'eau. Besoin d'amélioration dans la technique de finition de la zone (ie. Le broyage).

### Quelques pistes futures à explorer par les acteurs

Dans un cadre de sensibilisation régionale et de valorisation économique, ce projet pourrait bénéficier d'une popularité locale si les avantages de son aboutissement se vulgarisent au sein des communautés locales qui bénéficieront directement des retombées économiques d'un bassin propre (i.e. Valorisation touristique, rétention de la main d'œuvre saisonnière, meilleure coordination et harmonisation des acteurs, etc.)

## Conséquences de l'occupation du milieu des huîtres sauvages et compétition

Le bassin d'Arcachon est considéré comme un milieu semi-fermé, il est donc indispensable de prendre en compte les capacités nutritives limitées du milieu (Bouchet *et al*, 1997). Des études sur l'équilibre entre la quantité de mollusque et les capacités nutritives de l'environnement ont été menées dans le cadre de la culture d'huîtres. Globalement, entre 1950 et 1990 les rendements sont stables avec une biomasse satisfaisant la demande. (Scourzic *et al*, 1988). Vers 1990, la biomasse d'huître d'élevage est estimée à 40 000 tonnes (production de 14 000 tonnes) alors que celle d'huîtres sauvages avoisine les 7 000 tonnes (Fig. 4).



Or, le développement des friches a augmenté le nombre d'huîtres sauvages se trouvant dans le bassin d'Arcachon: environ 65 000 tonnes d'huîtres sauvages vivantes en 2009 contre 22 300 tonnes d'huîtres d'élevage (estimations hautes). (Scourzic *et al*, 2012).

En 1997, un rapport de l'activité ostréicultrice sur le Bassin d'Arcachon par Bouchet et al mettait déjà en garde contre les risques de la surexploitation pouvant entraîner un surplus de biomasse sauvage;

*" [...] Intensification de l'élevage, concentration sectorielle du cheptel, développement anarchique d'huîtres sauvages et de compétiteurs trophiques et dont les effets iraient à l'encontre même des buts recherchés par les entreprises ostréicoles : baisse des performances de croissance et de la qualité, allongement du cycle d'élevage, augmentation des mortalités chroniques voire réceptivité plus grande aux maladies" (Bouchet et al, 1997).*

Aussi, les larves d'huîtres ne peuvent qu'ingérer des espèces de taille égale ou inférieure à 10 micromètres du phytoplancton (Guillocheau, 1988), le microplancton. La biomasse de flore benthique a tendance à fluctuer au cours de l'année en même temps que les huîtres (Guillocheau, 1988). Puisque ces phytoplanctons sont surtout captés durant la croissance des

huîtres, une surcharge d'individus (ici de culture comme sauvages) allonge de surcroît le cycle de vie des individus, et les cycles de production. Également, il semblerait que cela rend les populations plus sensibles aux épizooties (Heral et al, 1986).

Dans ce genre d'environnement, les huîtres ont tendance à changer leur environnement en augmentant la complexité des habitats disponibles (Kelly, J. & Volpe, J., 2007) ainsi qu'en changeant l'hydrologie du milieu. Le relâchement occasionnel de sulfites peut être toxique pour les communautés de zostères (*Zostera marina* et *Z. noltii*) (Fig. 5), ce qui fait que, généralement, les populations de zostères et celles d'huîtres ne sont pas trouvées côte à côte. On a donc, en plus d'un problème de compétition intra-spécifique trophique, de la compétition inter-spécifique (Le Dander, 1963 ; Kelly, J. & Volpe, J., 2007). Or la présence de zostères dans le milieu est bénéfique à plusieurs niveaux, surtout pour la

stabilisation des substrats et donc, la réduction de la turbidité dans le milieu et les contraintes hydrodynamiques. Les zostères vont avoir tendance à améliorer la transparence de l'eau et donc, la production primaire de la zone. Mais aussi, elles constituent des abris pour d'autres populations et augmente la diversité et l'abondance des espèces du milieu (Auby *et al.* 2011).

Outre les problèmes de compétitions inter et intra spécifiques liées aux huîtres sauvages et aux zostères, les problématiques liés à la présence des huîtres et des coquilles (= animal mort, broyé) sont nombreuses et il est important de les adresser ici.

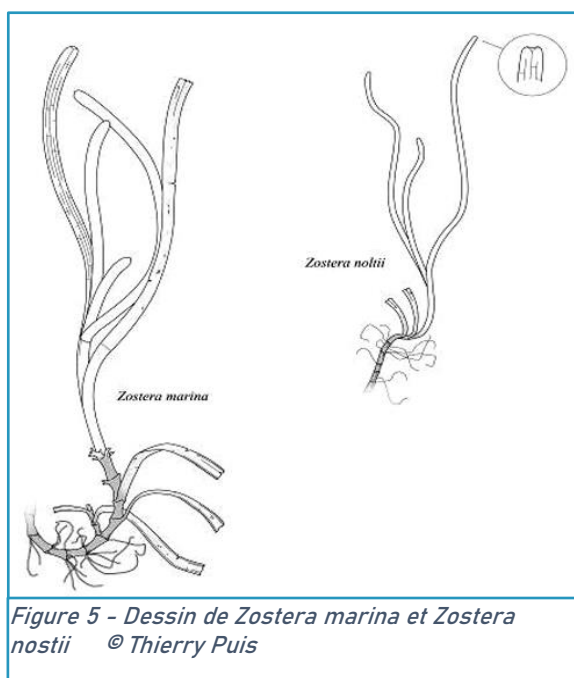


Figure 5 - Dessin de *Zostera marina* et *Zostera noltii* © Thierry Puis

## Conséquences des coquilles dans le milieu

Les coquilles de mollusques en général fournissent aux micro et meio-organismes benthiques des habitats par les crevasses et fissures à leur surface. Les interstices présents dans les massifs d'huîtres sont des milieux occupés par des organismes de plus grandes tailles, comme les poissons ou les invertébrés. Ils constituent également des zones refuges contre la prédation et les stress abiotiques. Une production importante de mollusques entraîne cependant une diminution de la disponibilité des ressources (Gutiérrez et al., 2003).

Plusieurs études ont tenté de comparer les richesses et abondances spécifiques de massifs peuplés d'huîtres ou autres mollusques vivants ou de coquilles vides. L'hypothèse de départ de ces travaux étant que même si les coquilles en elles-mêmes constituent un habitat ou un refuge pour nombre d'espèces marines, les huîtres vivantes apportent en plus une fonction de filtration de l'eau ce qui pourrait changer les peuplements de ces milieux.

Les résultats sont contradictoires. Ainsi, l'étude de Tolley et al. (2005), s'intéressait aux communautés de poissons et crustacés décapodes sur des récifs d'huîtres vivantes et de coquilles vides. Il en a résulté qu'il n'y avait pas de différence significative entre les récifs en termes de biomasse, densité et richesse des organismes. Il a cependant été noté qu'à l'échelle des taxons, les répartitions étaient différentes. Pour les espèces utilisant les coquilles comme abri (comme les crabes), il n'y avait pas de différences de peuplement entre les huîtres vivantes et mortes. En revanche, les êtres vivants (le gobie volant dans cette étude) utilisant l'intérieur de coquilles pour leur reproduction ont vu leur population augmenter significativement dans les habitats composés d'huîtres vides.

L'étude de Summerhayes et al. (2009) a étudié les richesses et les abondances spécifiques de massifs d'huîtres sur un gradient d'huîtres vivantes le long d'un estuaire (le plus amont étant composé presque exclusivement de coquilles vides et le plus en aval d'huîtres vivantes). La richesse épifaunique était plus importante dans le site composé en majorité d'huîtres vivantes. Au contraire, l'abondance était plus forte dans le site le moins riche en huîtres vivantes. L'une des pistes expliquant ce phénomène était que la fonction de filtration des huîtres vivantes apporter des conditions favorables à une grande variété d'espèces, cependant le grand nombre d'individus empêche le développement d'une abondance épifaunique qui finissent par entrer en concurrence avec les huîtres présentes en grand nombre. Il a également été noté des modifications dans la répartition des communautés présentes. Les bivalves et amphipodes étaient surreprésentés en termes d'abondance dans le site le plus riche en huîtres vides. Les gastéropodes étaient eux présents en abondance dans le site composé en majorité d'huîtres vivantes.

En revanche, l'étude de Boudreaux et al. (2006), qui a également des récifs d'huîtres vivantes et mortes en zone intertidal, il ressort une différence dans les espèces présentes mais surtout que les huîtres vivantes ont un taux de recrutement d'espèces sessiles deux fois plus important que les récifs de coquilles seules.

Sur le bassin d'Arcachon précisément, des études menées par le laboratoire EPOC (De Montaudouin, 2019 et 2020) ont suivi les impacts des travaux engagés en 2019 et 2020 sur la friche des Jacquets. Suite aux dommages et broyage des coquilles et sédiments, la nature des sédiments de surface n'a pas été modifiée. Après 12 mois de travaux, l'abondance et la richesse spécifique n'est pas significativement différente de la phase avant travaux. Cependant, il y a comme dans les autres études, une modification des taxons présents (sans

pertes de fonctions écosystémiques). Des espèces emblématiques comme les hippocampes et les dromies ne sont plus présentes après les travaux.

Cette recomposition des communautés pourrait être dû à la destruction directe des habitats que représentent les récifs d'huîtres, la perte de la fonction de filtration de l'eau par les huîtres et la suppression de la pression de compétition exercée par la prolifération des huîtres.

Les suivis des travaux ont été fait à T+12 mois. Des suivis complémentaires, sur une plus grande échelle de temps des friches déjà réhabilités des Jacquets et de Bourrut permettraient de donner une vision plus globale du devenir des communautés. L'apparition d'espèces exogènes après les travaux est également à prendre avec attention dans les phénomènes de compétition avec les espèces locales.

## Dégradation des coquilles

Les coquilles d'huîtres sont composées à 95% de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Après la mort de l'organisme, les restes calcaires subissent des modifications lors de leur enfouissement dans les sédiments (Parsons et al., 1997 ; Powell et al., 2008). Ces changements sont classés en différentes catégories:

TYPE d'altération	CAUSES	EFFETS
Anatomique (séparation des deux parties de la coquille)	Mort de l'organisme	Accélération de l'altération physique?
Physique	Rupture des coquilles et abrasion - processus naturels (altérations des récifs ou actions physiques d'organismes du milieu) ou opérations de nettoyage, nivellement et broyage	Accélération de l'enfouissement et des altérations chimique et biologique
Chimique	Dissolution et précipitation (acidité du milieu, température, bioturbation, matière organique ...), décoloration	Libération d'ions
Biologique	Consommation par des organismes du milieu	Production de biomasse (reproduction) Libération de CO <sub>2</sub> (respiration)



L'équilibre chimique du carbonate de calcium dans l'eau de mer est un équilibre entre la dissolution et la précipitation. La dissolution transforme le CaCO<sub>3</sub> solide en ses ions qui le composent, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> et Ca<sup>2+</sup>, en éliminant la coquille. Inversement, la précipitation inorganique crée un nouveau CaCO<sub>3</sub> solide à partir des ions de l'eau de mer.

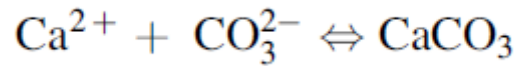


Figure : Formule chimique de la dissolution et la précipitation du carbonate de calcium

La dissolution du carbonate de calcium dans les eaux de fond des plateaux tempérés a longtemps été considérée comme un processus inhabituel du fait que les eaux peu profondes sont généralement déjà sursaturées en carbonate de calcium sous forme de calcite et d'aragonite (Rao, 1996).

Cependant, la matière organique semble jouer un rôle dans leur dissolution dans les sédiments (Smith and Nelson, 2003). La respiration microbienne de cette matière organique contenue dans les sédiments augmente les taux de CO<sub>2</sub>, acidifiant l'eau et permettant donc une dissolution d'éléments carbonatés. Ce processus de dégradation des coquilles est le plus important dans les zones aérobies des sédiments et est exacerbé par les effets de la bioturbation (Aller, 1982).

Certains organismes marins, tels des algues, champignons, éponges, jouent également un rôle dans la dégradation des coquilles. En perçant, creusant, excavant les carbonates de calcium des coquilles pour leur alimentation ou leur protection, ils participent à la destruction des squelettes carbonatés par bioérosion.

Des données sur les caractéristiques chimiques de l'eau et des sédiments dans les friches ostréicoles permettrait d'évaluer l'importance des différents processus de dégradation, notamment chimiques. La grande quantité de coquilles d'huîtres favoriserait la prolifération d'organismes les utilisant pour leur alimentation ce qui, selon les quantités mises disponibles dans les zones oxygénées des sédiments, pourrait conduire à une production plus ou moins importante de CO<sub>2</sub> par la respiration de ces organismes.

## La fossilisation : une proposition expérimentale

### Le procédé

L'intervention proposée de fossilisation accélérée sur quelques hectares : La fossilisation est un processus physico-chimique responsable de la transformation de restes organiques et matériaux vivants en roche (minéralisation totale). Il s'agit d'un cycle qui dépend du manque d'oxygène, de l'enfouissement rapide des organismes (généralement dans les sédiments aquatiques) et de l'arrêt du processus de décomposition. Le processus prend des milliers, voire des millions, d'années: tout dépend des conditions environnantes. Cependant, elle peut parfois se déclencher quasi instantanément.

La fossilisation accélérée est un processus de transformation des matériaux en une fine poudre à laquelle est ajouté 20% du carbone ce qui est essentiel afin de rendre inerte la matière et lui donner une structure minérale cohérente.

Une fossilisation reproduite en laboratoire (exemple d'une expérimentation de la fossilisation accélérée) :

En laboratoire, le paléontologue britannique David M. Martill a placé des cadavres de truites dans un milieu aqueux riche en phosphate et pauvre en oxygène, proche de la composition des eaux saumâtres de l'époque. Il a vu le phosphate se fixer sur les tissus dès les premières minutes. Sa conclusion : « la phosphatisation était probablement achevée en moins de cinq heures » ! Peut-être même cette réaction chimique est-elle la cause de la mort des poissons fossilisés. L'essentiel, dans le processus de fossilisation, est que l'organisme mort soit recouvert rapidement par un matériau compact, des boues argileuses, par exemple, qui va le protéger de l'oxygène et donc de la décomposition.

Trois types de fossilisation pourraient s'appliquer aux coquillages :

**Carbonation :** Ce type de fossilisation est très courant et consiste en un remplacement des restes organiques durs par de la calcite, un minéral composé de carbonate de calcium. Comme le squelette des coraux est principalement constitué de ce matériau, la fossilisation par ce processus se produit rapidement.

**Pyritisation :** Dans la pyritisation, les parties organiques des coquillages et des squelettes sont remplacées par de la marcassite et de la pyrite, deux types de sulfures de fer, qui sont le résultat de la combinaison de l'acide sulfurique généré par la décomposition d'organismes marins dans des conditions anoxiques avec le fer présent dans l'eau de mer.

**Phosphatisation :** Dans ce processus, le phosphate de calcium présent dans l'eau de la mer, ainsi que le carbonate de calcium présent dans les sédiments, favorisent la formation de fossiles.

Pourquoi la fossilisation est une option adaptée à la réhabilitation des friches du bassin d'Arcachon ?

Tout d'abord grâce à la présence des conditions de fossilisation qui sont inhérentes aux huîtres comme l'existence d'une partie dure et une partie molle. Les parties molles (matière organique) sont très rapidement dégradées et cela augmente les chances que la partie dure soit fossilisée. Une deuxième condition qui s'applique aux coquilles, est que les animaux peuvent mourir dans un milieu aquatique c'est la meilleure préservation qu'il peut y avoir, car si un organisme meurt sur un sol, en quelques mois il n'y a plus rien, pas même de parties dures. La meilleure façon de protéger un organisme, c'est la boue. La boue c'est de l'argile, et tout ce qui se retrouve en dessous a beaucoup de chance de fossiliser.

**Les conditions post-mortem de la fossilisation :**

Il faut donc un taux de sédimentation et d'accumulation important (couverture) comme les crues qui permettent aux organismes d'être recouvert par de boue. Cette sédimentation importante est la meilleure façon d'avoir les plus beaux fossiles.

Pour une meilleure fossilisation, il faut également une granulométrie fine. Ainsi, plus la boue est fine, mieux c'est pour la fossilisation de l'organisme mort.

Il faut aussi un milieu anoxique, c'est-à-dire un milieu dépourvu d'oxygène ou qui a perdu tout l'oxygène qui était présent. On peut observer une perte d'oxygène avec l'effet du poids d'une avalanche sous-marine par exemple. Ce type de milieu sans oxygène est important pour limiter les dégradations.

Il faut que l'organisme se retrouve dans une couche affleurante alors qu'il était profond pour qu'on le voit et qu'on le retrouve. Par exemple. Si on sait qu'il est fossilisé, on protège le site pour le préserver.

Exemple de fossilisation naturelle dans des conditions similaires au bassin d'arcachon est le « banc à Huîtres » de Sainte Croix du Mont.

Des précautions à prendre en compte

- Les contraintes hydrodynamiques : l'impact de la marée sur les sédiments
- L'organisation de ces assemblages (géométrie, densité des assemblages...)
- La dynamique sédimentaire
- Les nombreux paramètres climatiques et édaphiques (salinité, oxygénation, turbidité, nature du substratum, bathymétrie...).
- Effectuer des études sclérochronologiques et isotopiques afin de quantifier le temps que représente une couche sédimentaire d'ordre annuel à pluriséculaire.

## Conclusion

Nous avons proposé une piste expérimentale mais pour aller plus loin il faut prendre en compte la faisabilité et le coût en efficacité.

En conclusion, en faisant deux échantillons des territoires couverts par les friches ostréicoles, pour voir sur une petite échelle qu'est-ce qui parmi les deux techniques sera plus faisable et coût efficace pour l'habilitation du Domaine public de bassin d'Arcachon.

## Recyclage des coquilles

Le calcium dans les composants des coquilles augmente le PH de la terre, ce qui accroît l'absorption des nitrates, et par conséquent peut être utilisé comme engrais afin d'augmenter la fertilité de la terre.

Le CaCO<sub>3</sub> est utile dans les matières de construction (ciment, pierre et céramique), pour des buts industriels (papier, caoutchouc, peinture et plastiques) ainsi que dans le domaine pharmaceutique (pour le soulagement de la douleur articulaire, les crampes, pour les troubles digestives et comme antiacide). Ce qui nous amène vers d'autres pistes d'études...

## Pistes d'études

### Valorisation des coquilles et intervention des industries

Depuis des années maintenant, les coquilles d'huîtres font l'objet de nombreuses démarches de recyclage ou de réutilisation dans le monde entier. Vous connaissez tous et toutes ces coquilles d'huîtres à Noël ou pendant les fêtes que l'on jette dans nos poubelles ou nos composites. Ces coquilles issues de notre consommation peuvent être réutilisées de nombreuses façons plus utiles les unes que les autres. C'est par exemple le cas dans ce restaurant à Dubaï qui récupère les coquilles des huîtres que vous avez mangées pour les remettre dans l'océan. Plus précisément ils réutilisent les coquilles pour en faire des structures permettant aux coraux de venir se fixer dessus et donc de favoriser leur développement. Mais encore, des entreprises utilisent également les coquilles pour confectionner du béton. Il est aussi très bon d'en donner à vos poules pour que la coquille de leurs œufs soit plus résistante dû au calcium contenu dans les coquilles d'huîtres. Le calcium dans les composants des coquilles augmente le PH de la terre, ce qui accroît l'absorption des nitrates, et par conséquent peut être utilisé comme engrais afin d'augmenter la fertilité de la terre.

Il existe donc de nombreux moyens de réutiliser cette ressource de manière durable et utile.

Du point de vue des débouchés, le circuit de recyclage de déchets coquillés du bassin d'Arcachon est très diversifié. En termes de volumes, les affectations principales sont la transformation en matériau pour toiture végétalisée (entreprise ovive), en aliments pour animaux ou en amendement de culture. Le volume total est de 4000t/an et s'approvisionne uniquement dans le gisement de déchets coquillés lié au commerce local des huîtres. L'affectation des déchets issus des friches à ce circuit perturberait l'équilibre du marché. Par ailleurs, ce circuit semble déjà saturé compte tenu de la demande déjà satisfaite dont fait l'objet le milieu de la valorisation de ces déchets et donc ne peut pas permettre de contribuer de façon significative à la réhabilitation des friches et ainsi compenser le coût élevé de l'évacuation.

La contribution de la valorisation de déchets coquillés ne peut contribuer à la réhabilitation des friches qu'à certaines conditions:

- Plus-value suffisante pour compenser le coût de l'évacuation
- Un débit suffisant pour rivaliser avec les autres modes opératoires

Les deux conditions ne sont pas entièrement indépendantes puisque l'élévation du débit permet de multiplier la plus-value.

L'estimation du gisement potentiel total de déchets coquillés des friches a été évaluée à 115 000 tonnes en 2011. Par ailleurs, alors que la biomasse globale du bassin était stable entre 1950 et 1990, la diminution du nombre d'ostréiculteurs et de parcs entretenus s'est fait ressentir sur l'augmentation de la biomasse d'huîtres sauvages entre 1990 et 2011 qui est passée de 7000 à 65 000 tonnes, soit une augmentation de 58 000 tonnes en 20 ans. En faisant l'hypothèse d'homogénéité d'une augmentation régulière de 2900 tonnes par an, la biomasse d'huîtres sauvages en 2022 serait estimée à environ 100 000 tonnes (sans compter la masse de coquilles mortes).

En supposant, une distribution homogène des volumes de déchets coquillés potentiels dans la zone de friches à réhabiliter en fonction des volumes estimés en 2011, soit 86250 tonnes réparties sur 7500 hectares (11,5t/h) et un taux de réhabilitation constant sur l'ensemble de la durée du projet (10 ans), le débit potentiel total du processus serait de 8625 tonnes évacuables par an.

Actuellement, un nouveau débouché pour le recyclage des déchets coquillés est en phase de développement préindustriel. Cette filière est basée sur une valorisation à haute valeur ajoutée et vise la transformation d'un volume annuel de plusieurs dizaines de milliers de tonnes de coquilles au lancement de sa phase industrielle. Cette filière pourrait donc répondre aux deux conditions de contribution à la réhabilitation des friches du bassin d'Arcachon et donc permettre de reconsidérer l'option évacuation pour la réhabilitation. Plus généralement, une étude de la scalabilité des autres filières existantes pourrait conduire à renforcer la reconsidération de cette option. De même, une étude d'optimisation des techniques d'évacuation permettrait de réduire les coûts et/ou d'augmenter les volumes et donc de diminuer les contraintes économiques et techniques constatées dans les phases de test. Par exemple, avec un coût actuel de 5000€ par intervention pour un volume d'évacuation de 60t par intervention, le coût d'accès à la ressource est de moins de 100€/t. Indépendamment de la rentabilité de la ressource pour les filières dans les conditions actuelles, toute diminution significative du coût de l'intervention ou toute augmentation du volume évacuable par intervention permettrait de faciliter la valorisation dans toutes les filières.

Comme vu au cours de notre cas d'étude, une solution a déjà été expérimentée par le SIBA afin de répondre à la problématique de la réhabilitation des friches ostréicoles. Bien que cette pratique ne soit pas la plus optimale en termes de pérennité, de moyens financiers, techniques et humains. Celle-ci semble pour le moment la solution la plus viable compte tenu du cadre actuel et du retard du passage à l'acte. Plus précisément, cela fait une trentaine d'années que les friches ostréicoles sont un problème sur le bassin, en l'occurrence l'évolution de la friche est telle, qu'il est aujourd'hui très difficile et délicat de réaliser des travaux rapides et efficaces tel que les autres acteurs du territoire pourraient l'envisager.

## Un problème économique ou écologique ?

Il est important de s'interroger sur la présentation du problème aux différents acteurs et au public ainsi que la perception du problème selon les acteurs locaux. Ce qui veut dire que le problème suivant le type de personnes, de professionnels et des soucis qu'elles rencontrent peut être différent.

D'un côté nous avons le problème économique résidant dans le fait que les friches captent beaucoup les nutriments de la mer au détriment des cultures d'huîtres ce qui serait un frein sur le rendement.

Écologiquement parlant, le problème est tout autre, le problème écologique s'est posé comme une justification du projet du SIBA et des ostréiculteurs car la biomasse d'huîtres en excès présentes une menace pour la culture dans un premier temps et également, pour les zostères et la biodiversité du milieu.

La friche étant un mélange des anciens postes de cultures laissées à l'abandon (structure en fer, plastiques) polluant le milieu et d'une grande densité d'huîtres sauvages (vivantes et coquilles). Tout ceci rendant le milieu plus pauvre qu'il n'était et le dénaturant totalement, car à la base, cette friche était une vasière.

De plus, l'enjeu est une réhabilitation et non un souhait de remettre en état comme initial le milieu car ce n'est de toute façon pas possible en vue du changement du milieu dû à cette friche sur des dizaines d'années.

## Problème d'informations et de générations

En allant interroger les différents acteurs, notamment les ostréiculteurs desquels provient la plainte déposée au SIBA et qui sont les premiers intéressés par cette réhabilitation. Le premier problème rencontré est celui d'un manque crucial d'informations; une des ostréicultrices contactées n'avait pas conscience de la présence de la friche il y a encore une semaine avant aujourd'hui. On constate également que cette personne n'a pas l'air de connaître l'état actuel des friches puisqu'elle propose d'y réinstaller directement des cultures. Aussi, l'Office de Tourisme nous témoigne également qu'ils n'ont pas d'informations liés aux friches et donc, à la réhabilitation. Outre, il ne semble pas y avoir de plaintes remontées à l'Office de Tourisme concernant les friches, leur aspect visuel ou pratique pour les touristes ou les locaux usagés.

Une autre personne interrogée nous a livré un discours assez riche concernant le problème, selon lui, la difficulté actuelle concernant surtout la "nouvelle ostréiculture". On voit apparaître un problème "de génération", les nouveaux ostréiculteurs auraient été attirés par le milieu de par les possibilités d'enrichissement. On voit actuellement que le côté "business" de l'ostréiculture est plus mis en avant que le savoir-faire historique. L'ostréiculture témoigne de personnes qui vont très peu sur le terrain et ne passent pas de temps à nettoyer leur terrain, même en sachant ce qui peut en découler (les friches). Un manque de sensibilisation mais peut être aussi de sanction a pu amener cette situation ainsi qu'un



changement prochain dans la vision de la profession.

Une des propositions afin de pallier à ce manque de considération vis à vis du nettoyage pourrait être l'alourdissement des sanctions (comme proposé par l'ostréiculteur contacté) ainsi qu'une augmentation de la fréquence de contrôles. On peut également proposer des formations obligatoires de gestion du milieu, et de la diffusion d'information.



Une autre idée est la création d'un label "d'huîtres propres, responsable" (Fig. 6) qui serait accordé aux ostréiculteurs contrôlant leur milieu et le respectant. Un label accompagné d'une sensibilisation du public, dans un contexte actuel d'éco-tourisme par exemple, pourrait guider les consommateurs vers des producteurs plus respectueux. Si on ne veut pas encombrer le marché avec un label de plus, perdant ainsi l'identité et l'utilité du label, on peut imaginer de rajouter la condition d'entretien du terrain à un label déjà existant.

Figure 6 - Proposition de logo de label

Un autre acteur interrogé, un restaurateur ayant travaillé à plusieurs endroits de France et plusieurs lieux de restauration, nous a éclairé sur le comportement des consommateurs ainsi que sur les pratiques des achats de stocks. Premièrement, on peut considérer la consommation d'huîtres en France comme un péché mignon de la part des Français mais également, une pratique historique et ancrée dans la culture. Pour lui, hors du bassin, les consommateurs n'ont pas conscience des pratiques d'ostréicultures et leurs conséquences sur l'environnement. Il est important de sensibiliser et informer les consommateurs sur le sujet, comme pour l'industrie de la viande par exemple, ce qui pourrait mener à une pression de la part du public sur les producteurs suite à une prise de conscience. Un changement des mœurs entraînerait un changement dans les usages.

### Un problème public

Finalement, le grand enjeu de ce problème, comme on a pu le voir à travers les témoignages est un enjeu d'information. Les acteurs, comme le public ne sont pas assez informés sur les pratiques et la gestion des friches. Un axe de développement majeur de ce projet est la diffusion d'information concernant le milieu de l'ostréiculture et ses conséquences sur le milieu vers le public, via des articles, des flyers ou témoignages.

### Sentier découverte, sensibilisation sur le littoral

Dans le cadre du projet de réhabilitation des vasières et de défrichement des surfaces ostréicoles et dans un souci de sensibilisation auprès du grand public et auprès des ostréiculteurs.

Un sentier découverte et de sensibilisation peut être mis en place en retraçant l'histoire des vasières et de l'ostréiculture en liant les problèmes aujourd'hui et les enjeux du projet ainsi que son utilité.

De plus, dans un objectif d'entretien régulier du bassin d'Arcachon, des campagnes associatives et participatives de prélèvements des huîtres sauvages pourraient être envisagées par les bénévoles. De ce fait, elles participeraient à la gestion régulière et durable des milieux traités et ainsi préserveraient le milieu en complément des solutions mises en place.

Ce serait également très intéressant afin d'informer les grands comme les petits sur le terroir du coin (les huîtres) et comprendre l'histoire de leur lieu de vie et de vacances.

## Conclusion

Les 1000 ha de friches ostréicoles du Bassin d'Arcachon représentent des enjeux notamment économiques de par la concurrence entre huîtres sauvages et d'élevage, écologique par la perte d'herbiers au profit de la prolifération de coquilles sauvages et sécuritaires et paysagers par la présence d'imposants récifs contenant en plus du matériel anthropique. Le contrôle de ces zones est donc indispensable et passe, selon la stratégie établie par le SIBA, par un damage et un éventuel broyage des zones après en avoir retiré l'ancien matériel ostréicole.

La destruction de ces récifs, supprimerait la compétition qu'ils représentent vis à vis des zostères, permettant ainsi leur expansion sur les zones réhabilitées. Concernant la faune marine, des changements dans les communautés présentes sont à prévoir. Pour ces deux points, des études de plus longue durée (sur les sites déjà réhabilités par exemple) pourraient donner une vision à plus long terme de l'impact de ces travaux sur la biodiversité.

Le tapis de coquilles formé après les travaux pourrait connaître différentes évolutions en fonction des conditions du milieu : dégradation, préservation, fossilisation. Une piste étudiée dans des travaux scientifiques pour la gestion de récifs de coquillages a été la fossilisation accélérée.

Autour de la mise en place de ces travaux, plusieurs pistes ont été identifiées. La valorisation des coquilles, déjà mise en place sur le bassin, pourrait être accentuée avec l'intervention d'industries utilisant de plus gros volumes de coquilles que les circuits de recyclage actuels. Une attention particulière pourrait être prise par la communication autour de ce projet, que ce soit auprès des ostréiculteurs (acteurs directs) et du grand public. Il semble également nécessaire de s'interroger sur l'orientation de cette communication en fonction d'interlocuteurs qui n'auront pas les mêmes priorités (économiques, écologiques, paysagères,...)

Les problématiques liées à la compétition, la colonisation des zostères, les impacts sur la biodiversité sont à gérer dès les court et moyen termes. En revanche, celle du devenir des coquilles en elles-mêmes est à voir sur un temps plus long. La question de la temporalité de chaque partie et problématique du projet doit donc être posée.

## Références

Aller, R.C., 1982. Carbonate dissolution in nearshore terrigenous muds: the role of physical and biological reworking. *Journal of Geology* 90, 79–95

Auby Isabelle, Bost Charles-André, Budzinski Helene, Dalloyau Sebastien, Desternes Amandine, Belles Angel, Trut Gilles, Plus Martin, Pere Caroline, Couzi Laurent, Feigne Claude, Steinmetz Julien (2011). Régression des herbiers de zostères dans le Bassin d'Arcachon : état des lieux et recherche des causes. RST/ODE/LER/AR/11.007. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00054/16507/>

Blaise Videt. Dynamique des paléoenvironnements à huîtres du Crétacé Supérieur nord-aquitain (SO France) et du Mio-Pliocène andalou (SE Espagne): biodiversité, analyse séquentielle, biogéochimie. Autre. Université Rennes 1, 2003. Français

Bouchet Jean-Marie, Deltreil Jean-Pierre, Manaud Francois, Maurer Daniele, Trut Gilles (1997). Etude intégrée du Bassin d'Arcachon. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00081/19254/>

Boudreaux, M.L., Stiner, J.L., Walters, L.J., 2006. Biodiversity of sessile and motile macrofauna on intertidal oyster reefs in Mosquito Lagoon Florida. *J. Shellfish Res.* 25, 1079–1089.

Carss D. N., Brito A. C., Chainho P., Ciutat A., de Montaudouin X., Fernandez Otero R. M., Filgueira M. I., Garbutt A., Goedknecht M.A., Lynch S.A., Mahony K.E., Maire O., Malham S.K., Orvain F., van der Schatte Olivier A., Jones L. (2020) Ecosystem services provided by a non-cultured shellfish species: The common cockle *Cerastoderma edule*, *Marine Environmental Research*, 158, doi: 10.1016/j.marenvres.2020.104931.

D. Buestel, M. Ropert, J. Prou, P. Gouilletquer "History, Status, and Future of Oyster Culture in France," *Journal of Shellfish Research*, 28(4), 813–820, (1 December 2009)

De Montaudouin X. (2014) Book review; Sandra E. Shumway (Ed.): *Shellfish aquaculture and the environment*, *Environmental Science and Pollution Research*.

De Montaudouin X., Latry J., Humbert S., Paille J., Gouillieux B., Meynadier M., Heliot S., Lavesque N., Laboratoire EPOC (UMR 5805), 2020. *Jacquets – Rapport final de la première étape – 2020*.

De Montaudouin X., Paille J., Gouillieux B., Meyndier M., Heliot S., Lavesque N., Laboratoire EPOC (UMR 5805), 2019. *Jacquets – Rapport final de la première étape – 2019*.

Des restaurants de dubaï rendent les coquilles d'huîtres à la mer (2022) YouTube. YouTube. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=dJ8UtDhCgXI> (Accessed: March 16, 2023).

Do V.T., Blanchet H., de Montaudouin X., Lavesque N. (2013) Limited consequences of seagrass decline on benthic macrofauna and associated biotic indicators, *Estuaries and Coasts*, 36(4), 795–807, doi: 10.1007/s12237-013-9589-0.

Do V.T., de Montaudouin X., Blanchet H., Lavesque N. (2012) Seagrass burial by dredged sediments: Benthic community alteration, secondary production loss, biotic index reaction and recovery possibility, *Marine Pollution Bulletin*, 64, 2340–2350, doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.08.025.

Do V.T., de Montaudouin X., Lavesque N., Blanchet H., Guyard H. (2011) Seagrass colonization: knock-on effects on zoobenthic community, populations and individual health, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95, 458-469, doi: 10.1016/j.ecss.2011.10.022.

Doré, G. (2023). Territoires littoraux et transition écologique: Quels dispositifs en vue d'un développement durable ?. *Population & Avenir*, 761, 14-16. <https://doi.org/10.3917/popav.761.0014>

Dutartre, A. (2010). Peut-on gérer les invasions biologiques ?. Dans : Robert Barbault éd., *Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés* (pp. 109-153). Versailles: Éditions Quæ. <https://doi.org/10.3917/quae.atram.2010.01.0109>

Eradication des massifs d'huîtres sauvages - Bassin d'Arcachon | Siba - Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon ([siba-bassin-arcachon.fr](http://siba-bassin-arcachon.fr))

Farrow, G.E., Fyfe, J.A., 1988. Bioerosion and carbonate mud production on high-latitude shelves. *Sedimentary Geology* 60, 281- 297.

Guillocheau Nathalie (1988). Répartition spatio-temporelle du phytoplancton du Bassin d'Arcachon. PhD Thesis, Université Aix-Marseille 2. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00300/41105/>

Gutiérrez, J.L., Jones, C.G., Strayer, D.L., Iribarne, O.O., 2003. Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos* 101, 79-90.

Kelly, J. & Volpe, J. (2007). Native eelgrass (*Zostera marina* L.) survival and growth adjacent to non-native oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) in the Strait of Georgia, British Columbia. , 50(3), 143-150. <https://doi.org/10.1515/BOT.2007.017>

Lavesque N., Goullieux B., de Montaudouin X., Bachelet G., Bonifacio P., Simonet E. (2014) Premier signalement de l'espece introduite *Grandidierella japonica* Stephensen, 1938 (Crustacea: Amphipoda: Aoridae) dans le Bassin d'Arcachon, *An Aod - les cahiers naturalistes de l'Observatoire marin*, III, 11-19..

Lavesque N., Sorbe J.C., Bachelet G., Goullieux B., de Montaudouin X., Bonifacio P., Blanchet H., Dubois S. (2013) Recent discovery of *Paranthura japonica* Richardson, 1909 (Crustacea: Isopod: Paranthuridae) in European marine waters (Arcachon Bay, Bay of Biscay), *BioInvasions Records*, 2, 215-219, doi: 10.3391/bir.2013.2.3.07.

Le Bihan, V. & Pardo, S. (2012). La couverture des risques en aquaculture. Une réflexion sur le cas de la conchyliculture en France. *Économie rurale*, 329, 16-32. <https://doi.org/10.4000/economierurale.3419>

Le cycle de l'huître (no date) France Naissain & Vendée Naissain. Available at: <https://www.francenaisain.com/nos-outils-de-production/le-cycle-de-l-huitre/> (Accessed: March 16, 2023).

Les Lauréats du fonds pour le recyclage des Friches (no date) Ministères Écologie Énergie Territoires. Available at: <https://www.ecologie.gouv.fr/laureats-du-fonds-recyclage-des-friches> (Accessed: March 16, 2023).

Loursel,C, Les différents types de fossiles et les processus de fossilisation, Université de Perpignan, 2022, studocu, consulté le 1 mars 2023

Márquez, A. (2021) Types de fossilisation et leurs caractéristiques !, projetecolo.com. Projetecolo.com. Available at: <https://www.projetecolo.com/types-de-fossilisation-362.html> (Accessed: March 16, 2023).

M'intéresse, L.Ç. (2020) En combien de temps se forme un fossile ?, Ça m'intéresse. Ça m'intéresse. Available at: <https://www.caminteresse.fr/histoire/en-combien-de-temps-se-forme-un-fossile-11112223/> (Accessed: March 16, 2023).

Néolithé - La fossilisation des déchets non-recyclables (2023) Neolithe. Available at: <https://neolithe.fr/notre-innovation/> (Accessed: March 16, 2023).

Pascal L., Maire O., Volkenborn N., Lecroart P., Bichon S., de Montaudouin X., Gremare A., Deflandre B. (2016) Influence of the mud shrimp *Upogebia pusilla* (Decapoda: Gebiidea) on solute and porewater exchanges in an intertidal seagrass (*Zostera noltei*) meadow of Arcachon Bay: An experimental assessment, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 477, 69-79, doi: 10.1016/j.jembe.2016.01.008.

Rao, C.P., 1996. Modern Carbonates—Tropical, Temperate, Polar. Carbonates, Tasmania, 206 pp.

Scourzic Thomas, Loyer M., Fabre E., Tessier Anne, Dalias N., Trut Gilles, Maurer Daniele, SCOURZIC, Thomas, LOYEN, M., FABRE, E., *et al.* Estimation du stock d'huîtres sauvages et en élevage dans le Bassin d'Arcachon. 2012.

SIBA, 2018. Bilan\_Opération\_Des\_Jacquets (pp. 5-8)

Siba, 2022. LA RÉHABILITATION DU DOMAINE PUBLIC MARITIME : 120 HA SUR 2022 ET 2023 ! Siba-arcachon.fr, disponible sur : [siba-bassin-arcachon.fr](http://siba-bassin-arcachon.fr)

Simmonnet Bastien (2012). Estimation du stock d'huîtres sauvages et en élevage dans le Bassin d'Arcachon. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00070/18081/>

Smith, A.M., Nelson, C.S., 2003. Effects of early sea-floor processes on the taphonomy of temperate shelf skeletal carbonate deposits. *Earth-Science Reviews* 63, 1-31.

Summerhayes, S. A., Bishop, M. J., Leigh, A., & Kelaher, B. P., 2009. Effects of oyster death and shell disarticulation on associated communities of epibiota. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 379(1-2), 60-67.

Tolley, S.G., Volety, A.K., 2005. The role of oysters in habitat use of oyster reefs by resident fishes and decapod crustaceans. *J. Shellfish Res.* 24, 1007-1012.