

**Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin (LEMAR)**

**UMR 6539 CNRS/UBO/IRD/Ifremer**

E. Fleury, S. Petton, V. Le Roy, T. Gromberg, I. Queau, C. Corporeau, A. Dupoué, H. Koechlin, B. Petton, S. Pouvreau

**Laboratoire de Génétique et Pathologie des Mollusques Marins - LGPMM**

A. Benabdelmouina, C. Ledu

**Laboratoire 'Environnement-Ressources Normandie' - LER N**

W. Louis, J. Normand

**Laboratoire 'Environnement-Ressources Bretagne' - LER BN**

P. Le Gall, J. Cheve

**Laboratoire 'Environnement-Ressources Morbihan Pays de Loire' - LER MPL**

JF. Bouget, O. Pierre Duplessix, C. Treguier

**Laboratoire 'Environnement-Ressources Poitou-Charentes' - LER PC**

JL. Seugnet, L. Costes, J. Deborde, A. Gueux, I. Le Fur, A. Bruneau

**Laboratoire 'Environnement-Ressources Arcachon' - LER AR**

I. Auby, L. Rigouin, M. Rumèbe, F. Trut, E. Antajan

**Laboratoire 'Environnement-Ressources Languedoc-Roussillon' - LER LR**

F. Lagarde, M. Richard, G. Messiaen, H. Violette, Y. Gueguen

**Centre Régional Expérimentation et Application Aquacole - CREAA**

AL. Bouquet, M. Béchade, P. Barbier, M. Mazzocco

**Centre Régional Synergie Mer et Littoral - SMEL**

S. Pien

**Centre d'études pour la promotion des activités lagunaires et maritimes - CEPALMAR**

F. Hugo, C. Grosjean

**Bureaux d'études Armeria & Cochet environnement**

G. Allain & H. Cochet



**MINISTÈRE  
DE LA MER**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Direction générale des affaires maritimes,  
de la pêche et de l'aquaculture  
(DGAMPA)

## Observatoire national du cycle de vie de l'huître creuse en France



S. Pouvreau / Ifremer

### - Rapport annuel ECOSCOPA 2022 -

**Coordination & rédaction :**  
**E. Fleury, S. Petton, S. Pouvreau**

**Convention DPMA - IFREMER - Année 2022**



## Fiche documentaire

<b>Titre du rapport : Observatoire national du cycle de vie de l'huître creuse en France</b>	
<b>Référence interne :</b> R.INT.BREST RBE/PFOM/PI 2023-1 <b>Diffusion :</b> <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité :	<b>Date de publication :</b> 2023/05/31 <b>Référence de l'illustration de couverture :</b> Crédit photo : S. Pouvreau / Ifremer <b>Langue(s) :</b> Française
<b>Résumé/ Abstract :</b> <p>Dans le contexte du changement climatique, l'objectif général du réseau ECOSCOPIA est de pérenniser les dispositifs d'observation basés sur différents écosystèmes côtiers, et d'y ajouter de nouveaux indicateurs physiologiques et environnementaux, contribuant à une analyse pertinente de l'intégralité du cycle de vie de cette espèce en lien avec les pressions climatiques subies. L'observatoire ECOSCOPIA permet aux professionnels des cultures marines, aux Services de l'État et aux scientifiques, d'observer, de comprendre et d'analyser le développement des huîtres creuses dans les bassins de production français depuis les années 1990. Pour ce faire, le projet propose des suivis réguliers concernant la physiologie, la croissance, la survie, la reproduction et le recrutement de l'huître en relation avec son environnement hydrologique immédiat et ce au sein de huit sites contrastés et pour lesquels il existe des suivis antérieurs. Sur le plan environnemental, ces sites sont équipés de sondes multi-paramètres à haute fréquence (Température et Salinité) et font l'objet de prélèvements réguliers pour des analyses phytoplanctoniques, mais aussi de pH à haute fréquence. Sur le plan de la physiologie, le projet propose des suivis réguliers concernant la croissance et la survie en relation avec son environnement hydrologique et enfin sur le plan de la reproduction et du recrutement, cette espèce fait l'objet d'un suivi des performances de la reproduction naturelle de l'espèce sur les différentes façades maritimes françaises.</p> <p>Concernant les faits marquants pour cette campagne, l'année 2022 s'inscrit dans la tendance générale du réchauffement climatique mais de façon encore plus marquée que les années précédentes. A l'échelle de la France, l'année 2022 représente l'année la chaude plus jamais enregistrée en France depuis le début du 20ème siècle. Ces conditions climatiques se sont traduites, au niveau côtier, par des températures de l'eau particulièrement élevées tout au long de l'été. Sur le plan pluviométrique, l'année 2022 est très déficitaire : le manque de pluie quasi généralisé sur le printemps et l'été combiné à des températures très élevées a généré une sécheresse des sols superficiels record sur l'ensemble du pays durant l'été. En conséquence, les concentrations en phytoplancton plus réduites ont été plutôt défavorables à la croissance et à la gamétogénèse.</p> <p>En ce qui concerne les concentrations larvaires, les suivis démontrent une plus grande variabilité interannuelle pour les stades "larves moyennes" et "larves grosses", mais sans réelle tendance sur le long terme, si ce n'est que depuis 5 années consécutives, les concentrations en larves grosses sont plutôt faibles en Baie de Bourgneuf.</p> <p>Pour le recrutement, nous retiendrons que la Rade de Brest s'est caractérisée par un recrutement fort, avec des valeurs moyennes de captage record. Sur ce secteur, la dernière décennie ne compte plus d'année sans recrutement comme c'était encore le cas au début du siècle. A l'opposée, la Baie de Bourgneuf présente, cette année, un recrutement très faible. Pour le Bassin d'Arcachon, il y a eu cette année un recrutement fort, avec des valeurs faisant parties des valeurs les plus fortes, ce qui confirme le caractère très contrasté de ce bassin vis à vis du captage, avec une alternance de bonnes et mauvaises années. Enfin, retenons que la Lagune de Thau continue d'être caractérisée par un recrutement très variable tant sur le plan spatial que temporel : l'année 2022 revient cependant vers des conditions plus normales : progressivement, les techniques de captage se stabilisent sur ce site particulier émergent, sur lequel quelques ostréiculteurs pratiquent l'activité de captage.</p> <p>Sur cette année, des mortalités importantes de naissains d'huîtres continuent d'être observées (environ 63%), et ce de façon plus précoce au Sud qu'au Nord. Pour la classe d'âge 18 mois, les mortalités constatées sont bien inférieures à celles obtenues sur la classe d'âge naissain, (environ 15%). Cependant, on constate des mortalités très hétérogènes entre les sites.</p> <p>Enfin en ce qui concerne la croissance, elle apparaît très hétérogène selon les sites : ces différences sont directement liées aux apports nutritifs contrastés</p>	
<b>Mots-clés/ Key words :</b> Huître creuse, Physiologie, Écologie, Réseau National	
<b>Comment citer ce document :</b> Fleury E., Petton S., Benabdelmouna A., Pouvreau S. et coll. (2023) Observatoire national du cycle de vie de l'huître creuse en France. Rapport annuel 2022. Convention DPMA 2022 - IFREMER	
<b>DOI :</b> 10.17882/53007 10.17882/41888 10.17882/42493	
<b>Commanditaire du rapport :</b> DPMA - Convention Ifremer 2022 - Action ECOSCOPIA	
<b>Auteurs principaux :</b> Fleury E., Petton S., Benabdelmouna A., Corporeau C., Dupoué A., Pouvreau S. <b>Contributeurs :</b> V. Le Roy, T. Gromberg., H. Koechlin, I. Queau, B. Petton, C. Ledu, W. Louis, J. Normand, P. Le Gall, J. Cheve, O. Pierre Duplessix, JF. Bouget, C. Treguier, JL. Seugnet, L.Costes, J. Deborde, I. Le Fur, A. Gueux, J. Deborde, A. Bruneau, I. Auby, L. Rigouin, M. Rumèbe, F. Trut, E. Antajan, F. Lagarde, G. Messiaen, H. Violette, M. Richard, Y. Gueguen, AL. Bouquet, M. Béchade, P. Barbier, M. Mazzocco, S. Pien, F. Hugo, C. Grosjean G. Allain, H. Cochet	<b>Affiliation principale :</b> Département Ressources Biologiques et Environnement Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins Laboratoire des sciences de l'environnement marin UMR 6539 LEMAR Laboratoire de Physiologie des Invertébrés
<b>Destinataire :</b> DGAMPA	

## Préambule



1 Les réseaux conchylicoles RESCO (croissance et survie) et VELYGER (reproduction et recrutement) ont été créés en 2008 dans le contexte des épisodes de mortalité massive affectant le naissain d'huître creuse, *Crassostrea gigas*. Mis en œuvre par l'Ifremer, ces projets ont bénéficié depuis leur lancement de co-financements accordés par la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA) et la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) et désormais par la direction générale des affaires maritimes, de la pêche et de l'aquaculture (DGAMPA). La mise en œuvre et la gestion annuelle de ces deux réseaux complémentaires sont désormais regroupées au sein de l'action ECOSCOPA depuis 2018. Ils forment ainsi un observatoire national unique pour le suivi du cycle de vie de la première espèce aquacole française, l'huître creuse, dans le contexte croissant des crises environnementales.

Ce dispositif fait aussi intervenir :

- le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole (CREAA) ;
- le Syndicat Mixte de la Mer et du Littoral (SMEL) ;
- le Centre d'étude pour la promotion des activités lagunaires et maritimes (CEPRALMAR) ;
- des bureaux d'étude spécialisés : Cochet Environnement et Armeria ;
- des ostréiculteurs dans chaque site atelier.



L'analyse et l'interprétation des données de ces réseaux nationaux font aussi appel à d'autres données régionales et à d'autres réseaux nationaux. Il s'agit :

- pour le bassin de Marennes Oléron**, des données acquises annuellement par le CREAA dans le cadre d'une contractualisation avec le Comité Régional Conchylicole de Poitou-Charentes ;
- pour la côte Ouest Cotentin**, des données acquises annuellement dans le cadre d'un réseau régional (HLIN) mis en œuvre par le SMEL ;
- pour le bassin d'Arcachon**, des données acquises depuis plusieurs années dans le cadre d'une convention entre le Comité Régional Conchylicole Arcachon-Aquitaine et la Station Ifremer d'Arcachon (avant 2016) et le CREAA depuis 2016 ;
- pour la baie de Vilaine**, des données de recrutement acquises dans le cadre d'une convention locale entre le CRC Bretagne sud et le bureau d'étude Cochet-environnement ;
- pour l'hydrologie et le phytoplancton**, des données acquises par le REPHY, complété par le réseau SOMLIT du CNRS (Service d'Observation en Milieu Littoral ; [www.somlit.fr](http://www.somlit.fr)) ;
- pour la climatologie**, des données météorologiques des stations proches des sites d'étude fournies par Météo-France.

**Retrouvez l'intégralité des données "Croissance et Survie", et "Reproduction, larves et recrutement" sur le site internet dédié : <https://ecoscopa.ifremer.fr>**

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction générale .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Matériel et méthode .....</b>	<b>9</b>
2.1	Mise en œuvre du dispositif national .....	9
2.1.1	Sites étudiés .....	9
2.1.2	Matériel biologique et paramètres suivis .....	11
2.1.3	Suivis environnementaux.....	16
2.2	Gestion et analyse des données .....	18
<b>3</b>	<b>Suivis des conditions environnementales en 2022.....</b>	<b>19</b>
3.1	Conditions climatiques générales.....	19
3.1.1	Température de l'air.....	19
3.1.2	Pluviométrie .....	24
3.2	Données hydrologiques.....	26
3.2.1	Température de l'eau de mer.....	26
3.2.2	Salinité .....	28
3.2.3	Concentration en phytoplancton.....	30
3.2.4	pH et acidification de l'océan.....	31
3.2.5	Bilan historique des séries haute-fréquence du réseau ECOSCOPA.....	33
<b>4</b>	<b>Croissance et survie de l'huître creuse en 2022.....</b>	<b>35</b>
4.1	Suivis des taux de mortalité .....	35
4.1.1	Taux de mortalité instantanée.....	35
4.1.2	Taux de mortalité cumulée .....	37
4.2	Suivis des taux croissance.....	38
4.3	Analyse du lien entre survie et bathymétrie.....	45
4.3.1	Réponses physiologiques et intracellulaires en fonction de la bathymétrie.....	45
4.3.2	Réponses phénotypiques en fonction de la bathymétrie.....	46
<b>5</b>	<b>Reproduction et recrutement de l'huître creuse (réseau VELYGER) .....</b>	<b>48</b>
5.1	Maturation et indice de condition .....	48
5.1.1	Variabilité spatio-temporelle de la maturation : bilan décennal.....	48
5.2	Date de ponte.....	50
5.3	Abondance, développement et survie des larves.....	52
5.3.1	Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire.....	52
5.4	Estimation du recrutement annuel .....	56
5.4.1	Relations entre l'abondance de larves grosses et l'intensité du captage.....	56
5.4.2	Comparaison à l'échelle nationale et tendance temporelle.....	58
5.4.3	Structuration géographique du recrutement.....	61
5.5	Synthèse sur la reproduction et le recrutement 2022.....	62
5.5.1	Conditions hydroclimatiques générales de l'année .....	62
5.5.2	Schéma général du cycle de reproduction de l'huître creuse.....	63
5.5.3	Les principaux verrous biologiques du cycle de reproduction .....	65
<b>6</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>72</b>

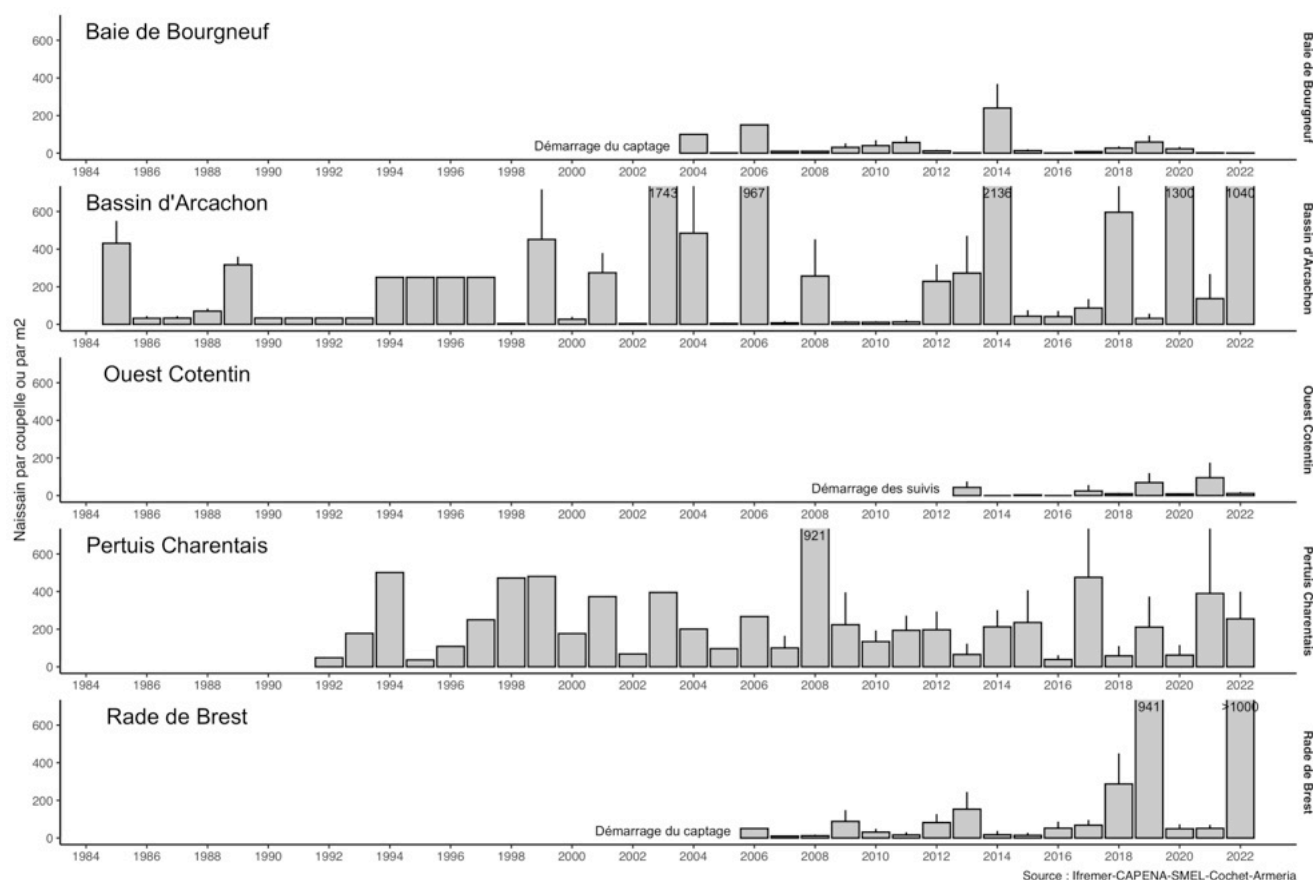
## 1 Introduction générale

Dans le contexte du changement climatique, il semble prévu une intensification des changements en cours, induisant des effets « dominos » sur les différents niveaux d'organisation du vivant (gène, individu, population, communauté, habitat, écosystème), et notamment dans la physiologie, la phénologie, la répartition, l'abondance, la biomasse ou encore l'évolution des espèces vivantes. L'huître creuse, présente sur l'ensemble des côtes françaises, joue dans ce contexte un rôle de témoin, de sentinelle de ces changements climatiques en anthropiques. Plus précisément, l'huître creuse *Crassostrea gigas*, introduite il y a une 50aine d'années pour sauver l'ostréiculture française, pourrait être fragilisées face à ces pressions croissantes, alors qu'elle joue un rôle crucial dans l'équilibre des écosystèmes côtiers (Pouvreau S, 2023 : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00827/93936/>; Beck et al., 2009). Actuellement, l'huître creuse assure la quasi-totalité de la production nationale, l'huître plate *Ostrea edulis* étant largement moins présente. Cette production avoisine les 80 000 tonnes par an (<https://www.agreste.agriculture.gouv.fr>). Pour assurer cette production, les stocks en élevage représentent environ 400 000 tonnes. De plus, cette espèce s'est rapidement naturalisée sur les côtes françaises ; actuellement la biomasse des populations sauvages est probablement du même ordre de grandeur que celles des stocks en élevage, bien qu'aucune donnée officielle ne permette d'étayer ces estimations à l'échelle nationale (**Figure 1**). L'huître creuse est en tout cas la première production aquacole française et l'un des bivalves côtiers les plus abondants en France



Figure 1 : Récifs sauvages d'huîtres creuses en France, 50 ans après l'introduction de l'espèce pour les besoins de l'ostréiculture. A gauche : récifs d'huîtres d'Arés dans le bassin d'Arcachon, à droite : récifs d'huîtres de la rivière du Faou en rade de Brest. Ces récifs rendent désormais de nombreux services écosystémiques dont la fourniture de larves pour le captage ostréicole professionnel.

Ces populations sauvages jouent donc un rôle clé, puisque la filière ostréicole repose encore en grande partie sur un approvisionnement en naissain provenant majoritairement du captage naturel, pratiqué désormais dans plusieurs bassins ostréicoles. Il s'agit principalement du bassin d'Arcachon (e.g. Maurer *et al.*, 2009a ; Auby *et al.*, 2012) et des Pertuis Charentais (e.g. Geay et Bouquet, 2009), qui depuis l'origine de l'ostréiculture au 19<sup>ème</sup> siècle, maintiennent cette activité traditionnelle, mais il faut y ajouter désormais la baie de Bourgneuf, la rade de Brest et même la lagune de Thau (Lagarde *et al.*, 2017) ou la baie de Vilaine (Pouvreau *et al.*, 2015). Cependant, sur tous ces secteurs, la reproduction et le recrutement présentent des performances très variables d'une année à l'autre (**Figure 2**).



**Figure 2 : Série historique de recrutement annuel sur collecteur (captage) dans les bassins d’Arcachon et de Marennes Oléron depuis les années 1985 et sur les sites dits « émergents » pour la pratique du captage : Baie de Bourgneuf et Rade de Brest. Pour Arcachon, Bourgneuf et Rade de Brest, les données sont obtenues annuellement sur la base d’un échantillonnage à l’échelle du bassin. Pour Marennes Oléron, il s’agit de données issues d’un seul parc de captage géré par le CREAA, puis d’un secteur jugé représentatif localisé au sud de l’estuaire de la Charente (St Froult puis Les Longées). Enfin, pour Arcachon, les valeurs mentionnées de 1990 à 1997, résultent d’une estimation approximative par enquête et n’ont qu’une valeur indicative.**

En plus de ces variations de captage, des changements climatiques et anthropiques, cette espèce subit depuis 2008, des épisodes de mortalités massives et récurrentes déclenchées par la présence d'agents infectieux viraux (de type Herpes virus OsHV-1  $\mu$ Var) en conjonction avec des facteurs environnementaux (*i.e.* élévation de la température). Ce processus, désormais connu, est lié à une infection virale induisant une altération des défenses antimicrobiennes ainsi qu'une déstabilisation de son microbiote. Ce processus conduit à une infection secondaire par des bactéries opportunistes potentiellement pathogènes qui se multiplient rapidement entraînant des dommages tissulaires irréversibles conduisant à la mort de l’animal.

Ce contexte très fluctuant nécessite **la mise en œuvre de moyens d’observation pertinents à l’échelle nationale** permettant de mesurer objectivement, au travers de différents proxys, l’état général de santé des populations d’huîtres cultivées et sauvages, et ce pour les différentes phases sensibles de leur cycle de vie (reproduction, écologie larvaire, recrutement, croissance, survie). Dans la mesure où l’élevage de l’huître creuse est, pour la quasi-totalité du cycle, réalisé en milieu naturel, ces outils font nécessairement appel à **des systèmes organisés d’observation sur le long terme et à grande échelle** permettant d’intégrer aussi la diversité des écosystèmes côtiers. Sur le long terme, ces dispositifs d’observation permettent de mieux évaluer les risques biologiques encourus par la filière afin de mieux s’y adapter.

Dans ces circonstances, l'objectif général du réseau ECOSCOPA est donc de **pérenniser les dispositifs d'observation basés sur différents écosystèmes côtiers**, et d'y ajouter de nouveaux indicateurs physiologiques et environnementaux, contribuant à une analyse pertinente de l'intégralité du cycle de vie de cette espèce en lien avec les pressions subies. L'observatoire ECOSCOPA permet également aux professionnels des cultures marines, aux Services de l'État et aux scientifiques, d'observer, de comprendre et d'analyser le développement des huîtres creuses dans les bassins de production français depuis les années 1990.

Pour ce faire, le projet propose des suivis réguliers concernant la physiologie, la croissance, la survie, la reproduction et le recrutement de l'huître en relation avec son environnement hydrologique immédiat et ce au sein de huit grands écosystèmes contrastés et pour lesquels il existe des suivis antérieurs. Il s'agit des sites suivants : (1) Lagune de Thau ; (2) Bassin d'Arcachon ; (3) Pertuis Charentais ; (4) Baie de Bourgneuf ; (5) Baie de Vilaine ; (6) Rade de Brest ; (7) Baie du Mont St Michel et (8) Baie des Veys.

- **Sur le plan environnemental**, ces sites sont équipés de sondes multi-paramètres à haute fréquence (Température et Salinité) et font l'objet de prélèvements réguliers pour des analyses phytoplanctoniques soit par mutualisation avec le réseau REPHY de l'Ifremer soit indépendamment. Dans le cadre de l'action ECOSCOPA, l'objectif est donc de poursuivre l'acquisition de ces données et d'y adjoindre, selon les sites, de nouveaux descripteurs pertinents pour l'espèce en relation avec d'autres projets (*i.e.* : mesures continues de pH et de fluorimétrie).
- **Sur le plan de la physiologie**, le projet propose des suivis réguliers concernant la croissance et la survie en relation avec son environnement hydrologique. Ces données permettent d'analyser statistiquement les liens entre ces différents paramètres, et d'établir des analyses spatio-temporelles pour dégager des tendances à l'échelle nationale (e.g. Fleury et al., 2020). Parallèlement à ces suivis *in situ*, l'action ECOSCOPA permet également d'effectuer des expérimentations ciblées visant à affiner certaines observations *in situ*, pour étudier l'effet de la bathymétrie sur la santé animale, voir son vieillissement prématuré.
- **Sur le plan de la reproduction et du recrutement**, cette espèce fait l'objet d'un suivi des performances de la reproduction naturelle de l'espèce sur les différentes façades maritimes françaises où l'espèce est désormais capable de reproduire (e.g. Pouvreau *et al.*, 2015).

Le rapport ci joint présente, pour l'année 2022 : (1) les suivis des paramètres environnementaux sur les huit sites atelier ; (2) les suivis des taux de mortalité et de croissance du lot de naissain sur ces mêmes sites, (3) l'analyse des réponses physiologiques de l'huître en fonction de la bathymétrie et (4) l'analyse des données concernant le cycle de reproduction et le recrutement de l'huître.

*Suite à la pandémie liée au COVID, les lots standardisés n'ont pas pu être déployés à temps sur le terrain au cours de l'année 2020. Le réseau a donc repris en 2021 avec le déploiement d'une nouvelle cohorte de lot NSI pour relancer les suivis des paramètres croissance et mortalité. Ce lot sera conservé 3 ans sur l'ensemble des 8 sites ateliers, pour atteindre, en 2023, des suivis sur 3 classes d'âge issues d'une même cohorte. Ainsi, en 2022, seules deux classes d'âges ont pu être suivies (naissains et demi-elevage). Les autres suivis (environnementaux, reproduction, recrutement) ont quant à eux pu être suivis normalement.*



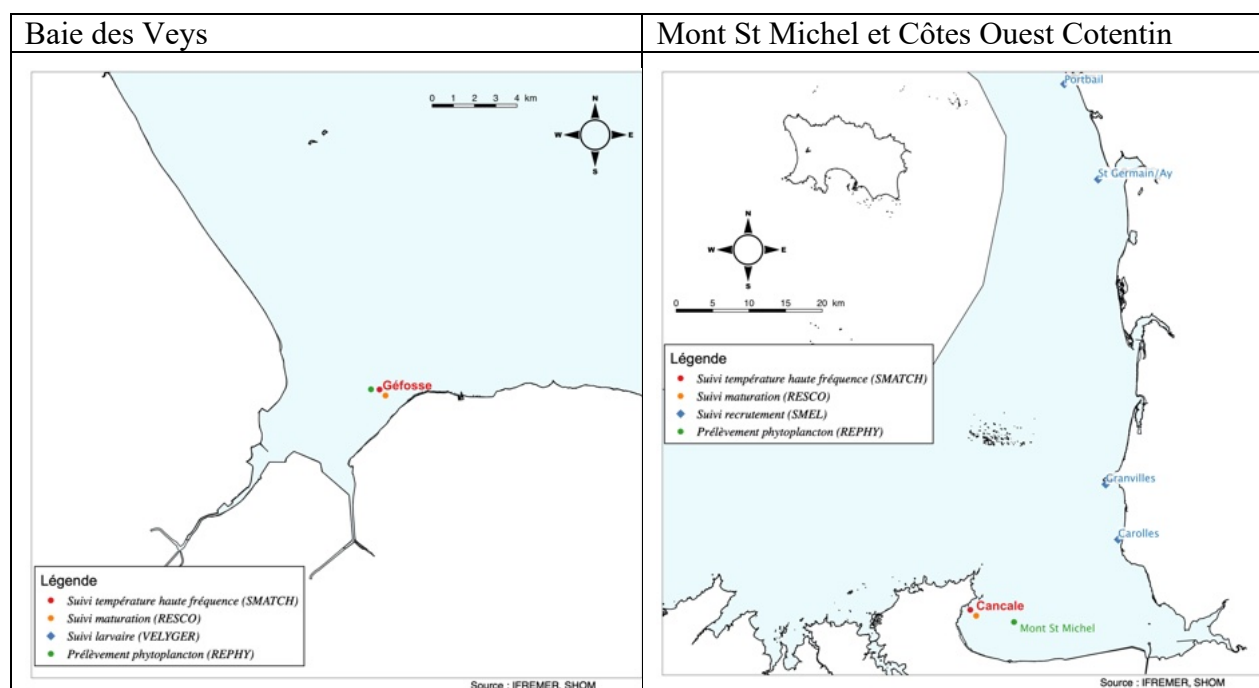
## 2 Matériel et méthode

### 2.1 Mise en œuvre du dispositif national

#### 2.1.1 Sites étudiés

Le dispositif est mis en place sur plusieurs sites ateliers de la côte française, assez espacés sur un plan latitudinal, afin de couvrir une large gamme de conditions hydro-climatiques. Ces sites sont des secteurs importants pour l'ostréiculture.

Sur le plan de la reproduction il s'agit : (1) soit des sites traditionnels de captage pour lesquels la reproduction de l'huître creuse a eu lieu dès son implantation (bassin d'Arcachon et pertuis charentais) ; (2) soit des sites plus récents en terme de recrutement de l'espèce et donc d'activité de captage (rade de Brest, baie de Bourgneuf) ; (3) soit des sites pour lesquels une activité de captage professionnel est envisagé par les Centres Régionaux Conchylicoles (baie de Vilaine et lagune de Thau) et enfin (4) soit des secteurs où le recrutement naturel est émergent mais pourrait augmenter dans les années à venir en raison du réchauffement climatique (Baie du Mont St Michel et Baie des Veys). La carte présentée sur la **Figure 3** (A et B) permet de localiser les différentes zones d'étude et pour chacune d'elles, les différents points de suivis proposés dans le cadre de ce réseau.



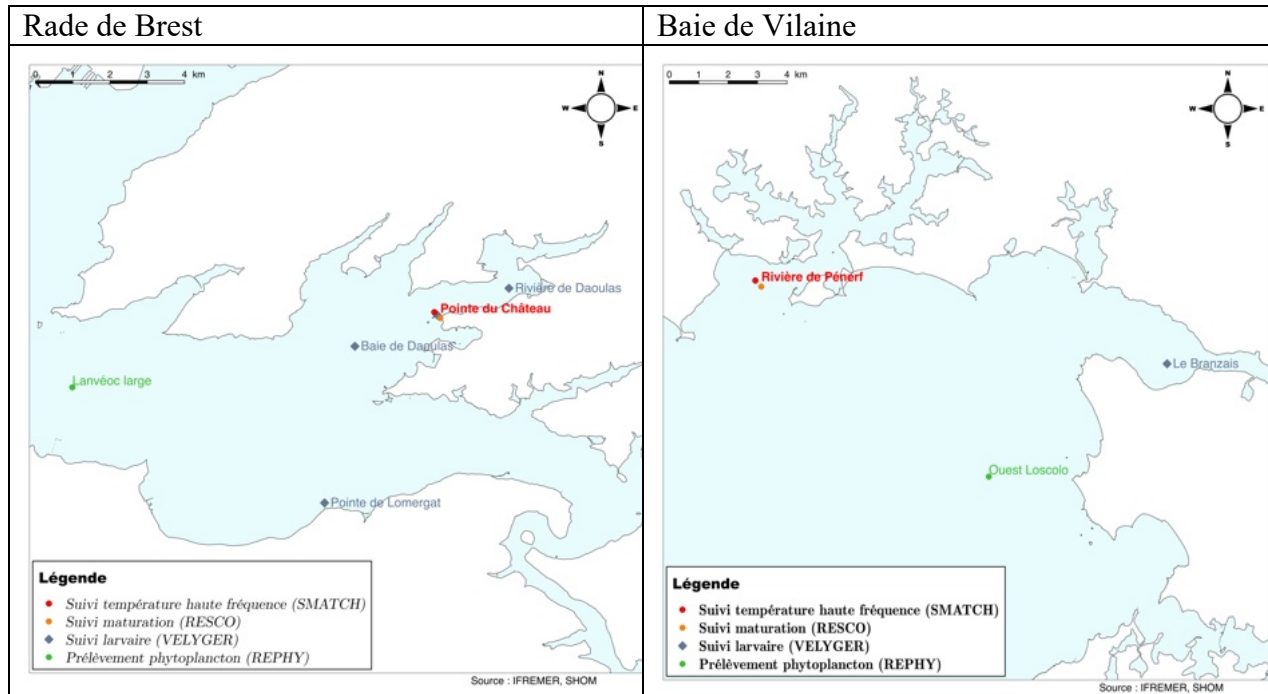
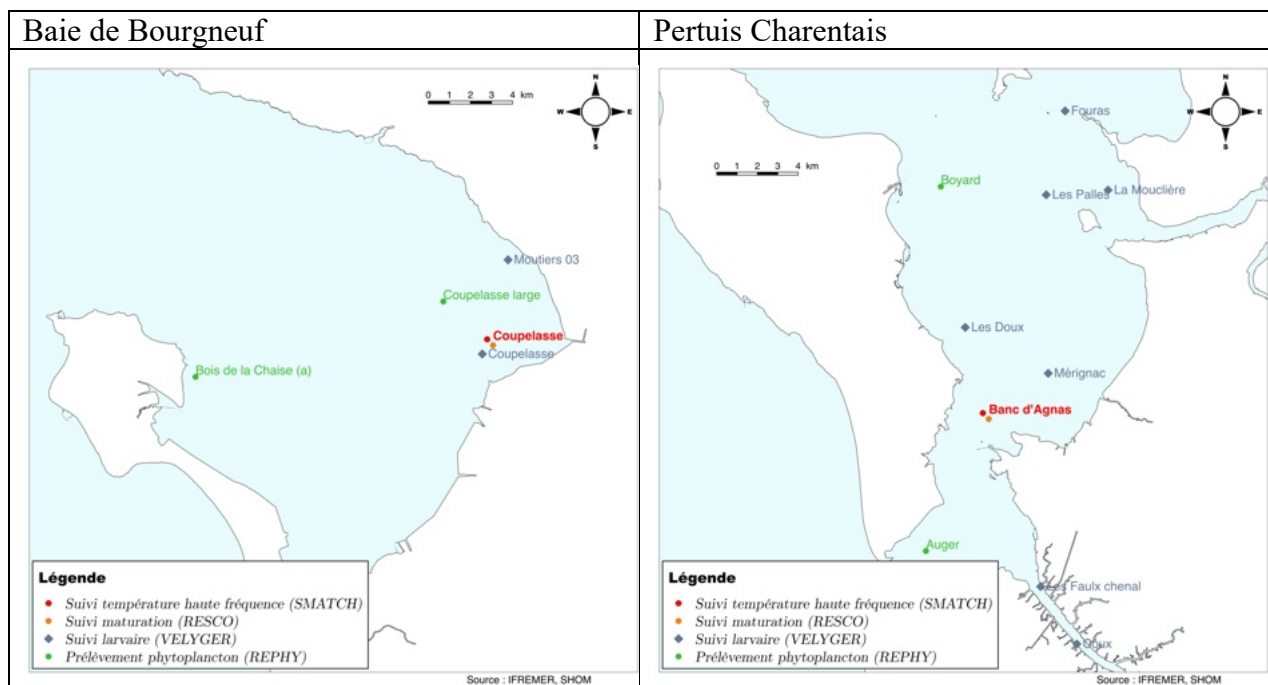


Figure 3 - A : Présentation des 8 sites étudiés. Partie nord.



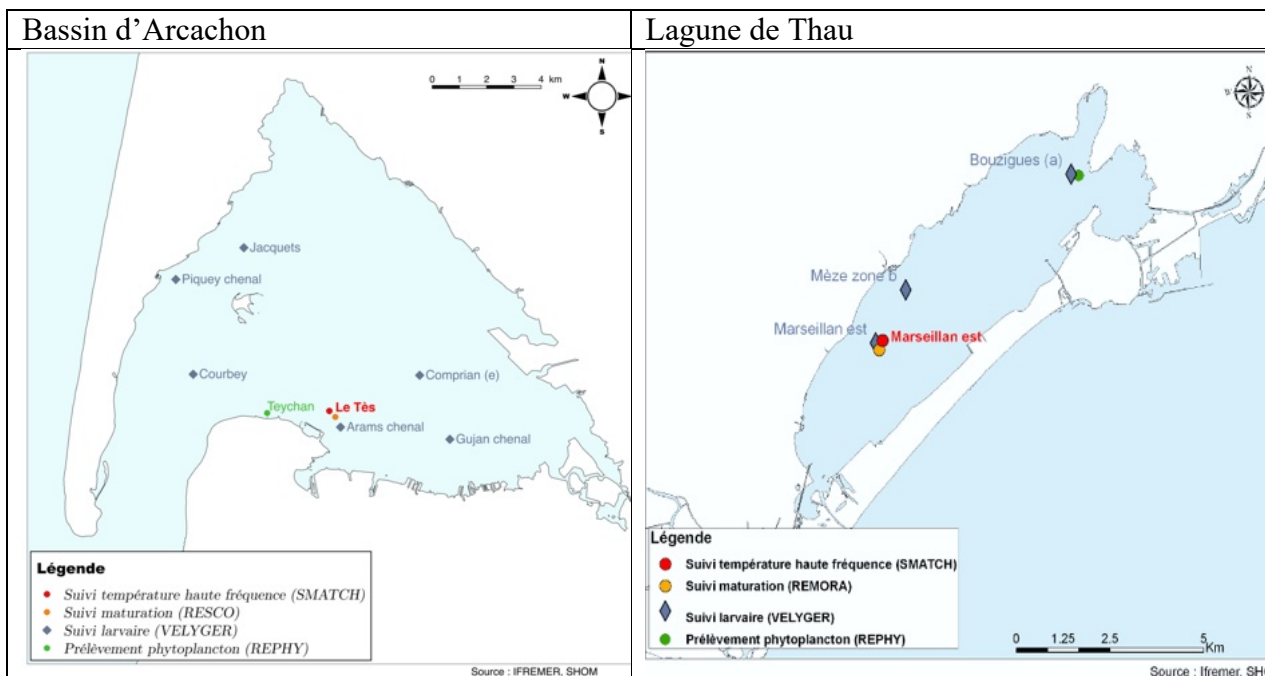


Figure 3 - B : Présentation des 8 sites étudiés. Partie Sud

### 2.1.2 Matériel biologique et paramètres suivis

La population d’huître creuse surveillée par le réseau ECOSCOPA est issue d’un lot de Naissain Standardisé Ifremer (NSI) constituant un matériel biologique produit en condition d’élevage et milieux contrôlés (site expérimental d’Argenton RBE/PFOM/LPI puis sur la Plateforme Régionale d’Innovation de Bouin SG2M-LSPC), selon le protocole développé par Petton et al., 2013 au sein de l’action FINA soutenue par le département RBE. Ce type de lot NSI représente un matériel biologique standard et reproductible, dont la variance inter-lot est minimisée grâce à l’utilisation d’un large pool de géniteurs d’origine sauvage et dont les traits d’histoire de vie précédant le déploiement sur site sont parfaitement connus. Sur la base de l’utilisation de ce lot de naissain en année N, les lots sentinelles sont conservés sur chacun des sites en année N+1 et N+2, afin de constituer des suivis de lots sur 3 ans issus d’une même cohorte. Les lots sentinelles suivis sont donc composés de 3 classes d’âge : 6 mois, 18 mois et 30 mois (**Figure 4**). Néanmoins, comme expliqué dans l’encadré, seules les classes d’âge 6 mois et 18 mois ont été suivies en 2022.

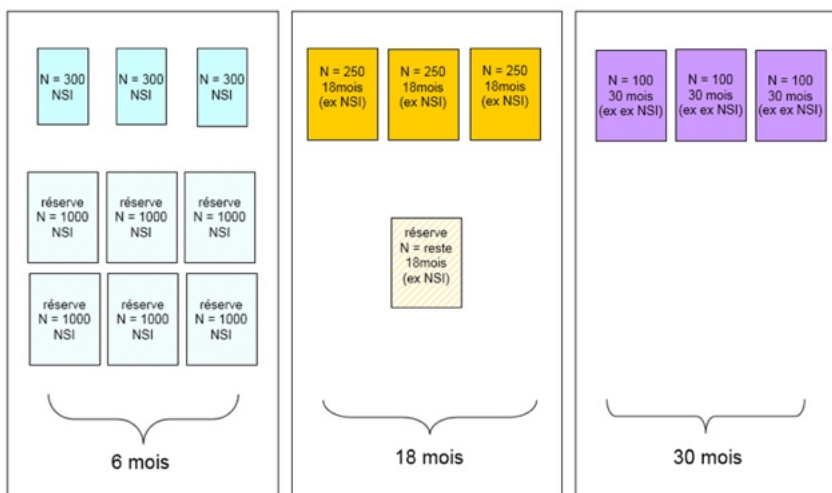


Figure 4 : Schéma représentant les lots sentinelles suivis sur l’ensemble des sites ECOSCOPA

La classe d'âge 6 mois se compose de :

- 3 poches contenant 300 individus du lot NSI et de 6 poches « réserve » contenant 1000 individus NSI. Ces poches « réserve » ne font pas l'objet des suivis actifs en 2021, mais serviront à compléter le nombre d'individus NSI restant en fin de campagne pour constituer le lot « 18 mois » de l'année suivante, puis le lot « 30 mois » l'année suivante. Ces lots NSI ont été produits au laboratoire de Physiologie des Invertébrés, sur le site expérimental d'Argenton (RBE/PFOM/LPI) puis pré-grossis au Laboratoire Sécurisation des Production en Conchyliculture à Bouin (RBE/SG2M/LSPC) selon un protocole standardisé. Le statut sanitaire du NSI est également connu, **via des analyses de pathogènes (par PCR et histologie), en amont du déploiement dans le milieu naturel.**

Ce lot est envoyé simultanément à tous les laboratoires impliqués dans le réseau ECOSCOPIA par transporteur début mars. Une biométrie initiale (commune à tous les sites) est réalisée sur 30 individus de ce lot prélevés ce même avant l'envoi jour à l'ensemble des correspondants.

La classe d'âge 18 mois se compose de :

- 3 poches contenant 250 individus du lot « 18 mois » **issus de la conservation des lots NSI de l'année 2021 sur chacun des sites** (nommés « ex NSI »), et de poches « réserves » contenant le surplus de ces individus. Ces poches « réserve » ne font pas l'objet des suivis actifs de 2022, mais serviront à compléter le nombre d'individus « 18 mois » restant en fin de campagne pour constituer le lot « 30 mois » de l'année 2023. Des biométries « initiales » pour ce lot « 18 mois » ont donc été effectuées à partir de 30 individus prélevés sur chacun des sites le 1er mars 2022, date du lancement de la campagne de suivi.

Pour chaque site, **4 descripteurs** sont réalisés (**Tableau 1**), représentant :

- le suivi annuel de la **mortalité, croissance et maturation** des lots
- le suivi estival de **l'abondance et du développement larvaire**
- l'estimation automnale du **captage sur collecteur**
- le suivi haute fréquence de **paramètres environnementaux**

**Tableau 1 : Descripteurs suivis sur chaque site atelier du réseau**

Paramètres suivis	Description	Fréquence d'échantillonnage	Méthode
<u>Descripteur A</u>	Suivi annuel de la mortalité, croissance, maturation des lots d'huîtres sentinelles	Bi mensuel de Mars à septembre Mensuel d'Octobre à Février	Comptage mortes / vivantes, prélèvements aléatoires, biométries en laboratoire
<u>Descripteur B</u>	Suivi estival de l'abondance et du développement larvaires	Hebdomadaire à bi-hebdomadaire de Juin à Septembre	Pompage 1.5 m <sup>3</sup> d'eau sur filet plancton puis analyse comptage
<u>Descripteur C</u>	Estimation automnale du captage sur collecteur professionnel	Octobre - Novembre	Prélèvements aléatoires sur parcs et estimation de la densité du naissain
<u>Descripteur D</u>	Suivi annuel des paramètres environnementaux (température, phytoplancton, salinité)	Suivi en continu et prélèvement discret (REPHY)	Flotteurs SMATCH temps réel ou sondes temps différé – Visite mensuelle et prélèvements REPHY
<u>Descripteur ★</u>	Paramètres « tests » d'intérêt testés sur certains sites pilotes		

### 2.1.2.1 Suivis des taux de mortalité

Pour les suivis des mortalités d'huîtres (**Descripteur A, Tableau 1**), la fréquence des visites de terrain est définie selon un calendrier programmé à l'avance et commun aux différents sites ECOSCOPA. Le calendrier tient compte des périodes « à risque » pour les mortalités identifiées lors des années précédentes, notamment vis-à-vis de l'augmentation des températures de l'eau. En pratique, les suivis s'échelonnent de façon bimensuelle du mois d'avril au mois de septembre, et de façon mensuelle du mois d'octobre au mois de février, afin d'assurer les suivis tout au long de l'année.

Lors de chaque passage sur site, les poches contenant les différents lots sont vidées précautionneusement dans un panier de comptage grillagé. Les individus sont examinés visuellement puis triés selon leur statut : morts, moribonds ou vivants. Les individus moribonds ou morts (correspondant à des animaux baillant ou à des coquilles vides) et les individus vivants sont alors dénombrés sur l'ensemble des 3 poches « comptages » de chacun des lots. Les individus moribonds sont comptabilisés comme des individus morts. Au final, les nombres relevés d'individus morts et d'individus vivants permettent de déterminer, en triplicat pour chaque lot, les taux de mortalité suivants :

- le taux de mortalité instantanée (MI), constaté au temps t :

$$\text{Mortalité instantanée}_{(t)} = \frac{\text{Nombre mortes}_{(t)}}{\text{Nombre mortes}_{(t)} + \text{Nombre vivantes}_{(t)}} = MI_{(t)}$$

- le taux de mortalité cumulée (MC) au temps t :

$$\text{Mortalité cumulée}_{(t)} = 1 - [(1 - MC_{(t-1)}) \times (1 - MI_{(t)})] = MC_{(t)}$$

### 2.1.2.2 Reproduction des adultes

Le deuxième descripteur d'intérêt (**Descripteur B, Tableau 1**) qualifie le déroulement printanier et estival de la gamétogenèse et de la ponte du lot d'huîtres sentinelles « 18 mois » placées, au sein de chaque site atelier, dans une station considérée représentative en termes de maturation des huîtres adultes. Plus précisément, sur chaque site, le choix géographique de la station a été réalisé à l'époque selon les critères suivants :

- proximité d'un stock important d'huîtres adultes;
- station bien documentée en termes d'hydrologie (point REPHY complet en vert sur la Figure 4);
- station historique du réseau REMORA;
- facilité d'accès, permettant un prélèvement tous les 15 jours.

Le suivi de la gamétogenèse se fait par la mesure d'un indicateur simple et peu coûteux : la chair de 30 individus issus du lot sentinelle « 18 mois » est disséquée, lyophilisée et pesée individuellement. Ce suivi permet d'évaluer la date et l'intensité des émissions majeures de gamètes pour chaque site et chaque année. La facilité d'acquisition de cet indicateur permet à la fois sa réalisation sur plusieurs sites de la côte française, tout en assurant la pérennité et l'homogénéité de sa mesure chaque année. Les émissions majeures de gamètes sont clairement identifiables par la brusque chute des valeurs de masse de chair.

### 2.1.2.3 Abondance et survie larvaire

Un autre descripteur (**Descripteur B, Tableau 1**) permet d'évaluer la date d'apparition, l'abondance et le bon déroulement du développement des larves émises dans la colonne d'eau. Ce travail se fait de façon similaire dans chacun des sites et sur plusieurs stations par site tout au long de la saison de reproduction, *i.e.* de juin à septembre.

Ce travail relativement lourd est réalisé, à Thau, par l'Ifremer, à Arcachon et à Marennes Oléron, par l'Ifremer puis repris par le Creaa (*e.g.* Maurer *et al.*, 2009a, Geay et Bouquet, 2009), en rade de Brest, en baie de Vilaine et en baie de Bourgneuf par prestation auprès de 2 bureaux d'étude ('Cochet-environnement' et 'Armeria'). Pour de nombreux sites, la contribution d'ostréiculteurs est sollicitée pour les sorties en mer.

L'évaluation des abondances larvaires se fait par l'intermédiaire de prélèvements de plancton (« les pêches de larves ») réalisés 2 fois par semaine tout au long de l'été. Ces « pêches de larves » se font par pompage (**Figure 5**) selon la méthode décrite dans Auby *et al.* (2002). Selon l'étendue géographique des sites atelier, 2 à 7 stations font l'objet de prélèvements (losange bleuté sur la Figure 4).



**Figure 3 :** Système de pompage et de filtration permettant la récolte des échantillons de plancton contenant les larves d'huîtres. La moto-pompe permet de filtrer 1,5 m<sup>3</sup> d'eau de mer en moins de 15 minutes. La maille du filet à plancton est de 40 µm. La mesure précise du volume pompé est fournie par un débitmètre. La crépine de prélèvements est lestée de manière à prélever à 1 mètre sous la surface. Lors du pompage, le bateau fait route au ralenti (vitesse inférieure à 1 nœud). Après pompage, le culot de filtration est transféré dans un flacon plastique de 2 litres tout en rinçant le filet. L'échantillon est formolé ou alcoolisé. Photo : © Cochet-environnement (2009). ►

Le comptage disponible sous 48 h indique le nombre de larves d'huîtres creuses pour chaque stade de développement (**Figure 3**). Les valeurs sont exprimées, pour des raisons historiques, en nombre de larves par 1,5 m<sup>3</sup>. Ces pêches sont aussi le moyen de mieux caractériser, le cas échéant, l'hydrologie, sur chaque site, par des prélèvements discrets d'eau pour mesure de la température et de la salinité.

La méthode de préparation et d'analyse des échantillons de plancton est la suivante :

- Au laboratoire, pré-tamassage sur 500 µm puis double tamassage sur mailles de 132 puis sur 40 µm (excepté pour le site d'Arcachon pour lequel le double tamassage est réalisé sur 125 µm et 40 µm). Le refus du tamis de 500 µm, contenant les macro-algues et débris, est éliminé. Les refus des deux autres tamis sont récupérés séparément dans des éprouvettes de 100 mL. Pour chaque station, on dispose donc de deux fractions qui sont traitées de la même manière : (1) une fraction >125 µm, contenant plutôt les stades âgés et (2) une fraction > 40 µm, contenant plutôt les stades jeunes.
- Chaque fraction est mise à décanter dans une éprouvette graduée de 100 mL afin de mesurer la hauteur du culot. Puis, on ajuste le volume d'eau surnageant en vidant l'éprouvette de manière à ne conserver que 4 fois le volume du culot (approximativement). Pour les échantillons trop concentrés, les dilutions sont réalisées à l'eau de mer filtrée (Cochet-environnement et Armeria)

ou à l'eau distillée, voire du robinet (Creaa et LER Arcachon). Dans tous les cas, le volume total de l'échantillon (v) est mesuré.

- Cet échantillon est ensuite homogénéisé directement dans l'éprouvette à l'aide d'un agitateur muni d'un disque perforé à son extrémité. Deux aliquotes (1 et 2) de 0,5 mL sont prélevés à la micro-pipette et transférés sur deux cellules de numération quadrillées (Sedgewick rafter cell - Ref 02C00415). Les larves de *C. gigas* y sont identifiées, comptées et classées dans les différents stades présentés sur la planche ci-joint (LARVST1 à 4, **Figure 6**).
- Compte tenu des risques de confusion avec d'autres espèces, les larves dont la hauteur est inférieure à 70 µm ne sont pas prises en compte pour l'instant.
- Ainsi, pour une fraction donnée, le nombre N de larves d'un stade donné pour un volume de 1,5 m<sup>3</sup>, est calculé de la façon suivante :  $N=1,5*(n1+n2)* v/V$ , avec : n1 et n2, le nombre de larves d'un stade donné respectivement compté dans les aliquotes 1 et 2 de 0,5 mL ; v, le volume (en mL) de l'échantillon dilué et V, le volume pompé (généralement proche de 1,5 m<sup>3</sup>).
- Pour chaque stade larvaire, le résultat retenu est la somme des valeurs dénombrées dans les deux fractions. Les concentrations sont exprimées pour 1,5 m<sup>3</sup> et le seuil de détection est de 20 à 100 larves/1,5 m<sup>3</sup> selon la dilution utilisée pour la lecture.

L'ensemble des données est ensuite saisi et archivé dans la base nationale Quadrige sous 24 h, permettant la mise à disposition de l'information sur le site Internet de VELYGER dans les 48 h suivant la sortie en mer.

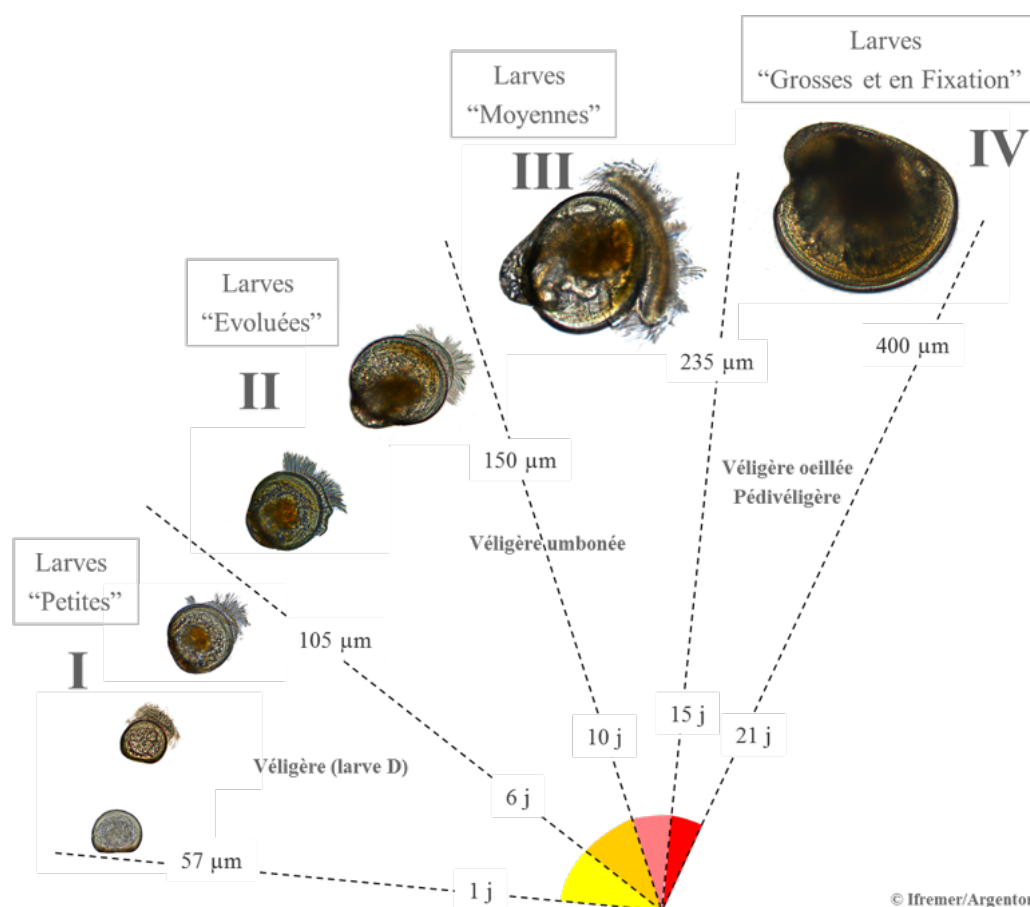


Figure 4 : Planche de détermination des quatre stades larvaires chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, d'après Le Pennec (1978) et His (1991). L'âge est donné à titre indicatif, il est fonction de la température et de la concentration en nourriture. Légende : H est la hauteur (mesurée de l'extrémité de la charnière au bord opposé de la coquille, cette mesure correspond aussi à la largeur, e.g. Le Pennec, 1978). La hauteur (=largeur) et la longueur sont précisées en µm sur les photos. Photos : © Ifremer/Argenton.

#### 2.1.2.4 Estimation automnale du captage

En complément, un troisième descripteur (**Descripteur C, Tableau 1**) permet d'estimer, en automne, l'intensité du recrutement. Ce descripteur fournit donc l'abondance du captage à un instant donné et, en l'occurrence, à l'issue de la saison de reproduction. Il a pour vocation de 'qualifier' le succès biologique du recrutement du cycle de reproduction de l'année écoulée. Mais, compte tenu des très forts risques de mortalités lors de la première année de vie de l'huître creuse, cet indice n'a pas pour vocation à quantifier la quantité de naissains disponible au printemps de l'année suivante.

Afin d'être représentatif le plus possible de chaque secteur d'un même site atelier, l'abondance du captage est évaluée sur les différentes zones du bassin à partir d'un comptage de coupelles prélevées de la façon stratifiée par rapport à la stratégie de pose des professionnels et selon la méthodologie d'échantillonnage présentée, pour Arcachon, dans Maurer *et al.* (2009b, cf Annexes). Le taux de survie est aussi estimé au moment du comptage, mais cela reste un paramètre difficile à évaluer selon les secteurs et trop variable dans le temps pour permettre une analyse rigoureuse inter-bassins.

Afin de permettre la comparaison entre secteurs et entre sites ateliers, le choix du collecteur à prélever s'est porté sur la coupelle plastique, utilisée dans chaque bassin et facile à échantillonner sur le terrain. Des équivalences entre type de collecteurs sont données dans ce rapport afin de permettre des comparaisons inter-bassins.

### 2.1.3 Suivis environnementaux

Les données environnementales (**Descripteur D, Tableau 1**) sont acquises par plusieurs moyens.

#### 2.1.3.1 Données Météo-France

Les conditions climatologiques sont fournies par Météo-France, dans le cadre d'un contrat d'accès à leur climathèque, notamment les paramètres température de l'air, pluviométrie et ensoleillement qui sont connus pour jouer un rôle, de façon directe et/ou indirecte sur le phytoplancton, la croissance, la reproduction des adultes, le développement et la survie des larves.

#### 2.1.3.2 Instrumentation haute-fréquence

En parallèle, un suivi des paramètres du milieu est effectué sur chaque zone atelier. Les sites sont équipés *a minima* de sondes multi-paramètres enregistrant la température et la salinité à haute fréquence. Les sondes de type STPS, WiSens CTD ou Smatch (© NKE) ont une fréquence d'acquisition réglée pour **1 donnée toutes les 15 minutes**, avec une transmission des données en temps différé ou en temps réel. La mesure se fait directement à proximité des poches contenant les huîtres 'sentinelles'.

Dans le cadre du projet ECOSCOPIA, il est prévu d'améliorer progressivement les suivis environnementaux par la mise en œuvre d'une instrumentation hydrologique la plus éprouvée possible permettant l'acquisition robuste de données hydrologiques en haute fréquence. Le premier site atelier à bénéficier de cet effort est le secteur de la Baie de Daoulas en Rade de Brest. En effet, en complément des sondes STPS standard utilisées depuis le début des réseaux RESCO et VELYGER et ayant fait leur preuve, des sondes multi-paramètres Hydrolab OTT puis Wetlab ECO FLNTU ont été mises en œuvre depuis 2011 sur le site estran de la Baie de Daoulas (pointe du Château, **Figure 7**). L'avantage du capteur Wetlab ECO FLNTU réside dans la protection de sa cellule de mesure et la précision de sa mesure. Il permet **la mesure de fluorescence *in vivo*** (mesure corrélée à la concentration de phytoplancton) ainsi que de la turbidité à raison de 5 mesures toutes les 15 minutes. Ce capteur est déployé aussi sur les sites du bassin d'Arcachon et de l'étang de Thau.





Figure 5 : Vue du site sous-marin d'instrumentation du banc du Roz (Baie de Daoulas). Photo de gauche : jeux de sondes déployées sur le fond, photo de droite : détail des capteurs pH, STPS et ECO FLNTU.

Depuis 2017, un site sous-marin, toujours en Baie de Daoulas a été mis en place sur le banc du Roz. Il abrite une **sonde pH SeaFET**. L'avantage de la sonde pH utilisée réside dans la technologie du capteur (ISFET) qui permet d'éviter des dérives connues avec les électrodes en verre classiques. Toutefois, pour assurer une précision de l'ordre du millième ( $\pm 0.005$  pH), il faut régulièrement effectuer un prélèvement d'eau au niveau de la sonde lors d'une mesure, puis analyser ce prélèvement avec une mesure de spectrophotométrie (Dickson et al., 2007) afin de corriger régulièrement les mesures brutes de la sonde (Martz et al., 2015). Dans le cadre du projet CocoriCO2, les sites de Marennes-Oléron, du bassin d'Arcachon et de l'étang de Thau correspondants aux sites ECOSCOPIA ont également été équipés d'une sonde SeaFET. Les prélèvements discrets sont réalisés en doublon, ce qui permet de mesurer aussi l'alcalinité grâce au laboratoire du CNRS SNAPO-CO2. Ainsi, il est possible de connaître le cycle des carbonates sur ces sites et d'évaluer les risques de l'acidification sur la conchyliculture.

### 2.1.3.3 Évolution climatique côtière

Avec plus de dix années de suivi sur certains sites, il devient possible **de commencer à observer l'effet du changement climatique à une échelle locale avec l'augmentation de température**. Pour prendre du recul, il est **nécessaire de reconstruire les données de température eau avant que le réseau ECOSCOPIA ne soit mis en place**. Une méthode reconnue est de construire un modèle donnant la température journalière de l'eau à partir de la température journalière de l'air. Plusieurs types de modèle plus ou moins complexes existent (Zhu et al, 2018).

Pour chaque site, nous construisons un modèle d'apprentissage automatisée pour obtenir la moyenne journalière de la température de l'eau. Les plus longues séries disponibles sont les températures de l'air des stations Météo-France. Après une série de test, le modèle utilise en données d'entrée : la température de l'air du jour, celle de la veille, le jour de l'année. Pour éviter d'avoir des variations trop importantes d'un jour à l'autre comme ça peut l'être pour la température de l'air, le modèle est itératif et se base sur la température de l'eau de la veille et la moyenne de la température de l'eau de la semaine passée.

La première étape de l'apprentissage automatisé consiste à entraîner le modèle avec 80% des données connues, sur la période 2010 à 2020. Pour chaque site, un réseau de neurones est créé en classant les couples de données en différents groupes. Un paramétrage spécifique est ajusté et vérifié sur les 20% de

données restantes. Ensuite, le modèle est lancé depuis le début des données Météo France. La valeur initiale de la température de l'eau (arbitrairement fixée à 10°C) n'a plus d'impact au bout d'un mois. Toutes ces étapes utilisent le package scikit-learn de Python.

Pour obtenir une moyenne annuelle de la température (ou une anomalie), nous prenons en compte la gestion des données manquantes. Cette méthode est directement dérivée de la méthode de calcul de Météo-France. Aussi la température journalière sera la moyenne des données horaires si l'on a au moins 15 valeurs horaires mesurées par jour. De même, la température mensuelle sera calculée à partir des données journalières uniquement s'il manque moins de 5 jours de données dans le mois et qu'il n'y ait pas 3 jours consécutifs de manque. La moyenne annuelle est la moyenne des températures mensuelles pondérée en fonction du nombre de jours de chaque mois.

La définition d'une **normale climatologique standard** est la moyenne des données climatologiques **calculée pour une période consécutive de 30 ans** (OMM, 2017). Dans ce rapport, nous sélectionnons la période de référence allant du 1<sup>er</sup> janvier 1981 au 31 décembre 2010 pour le calcul d'anomalie journalière et annuelle.

## 2.2 Gestion et analyse des données

Les données issues de tous ces suivis sont archivées dans la **base nationale publique Quadrigé2**. Cette action s'accompagne d'une standardisation des procédures et favorise une homogénéité progressive des méthodes entre les sites. Elle permet en outre une extraction aisée des données et facilite ensuite leur exploitation. Ces données uniques sont aussi disponibles sur la **base de données Seanoe** (Pouvreau et al., 2019 ; Fleury et al., 2022 ; Petton et al., 2023).

Une fois extraites de la base Quadrigé2, les données sont exportées et analysées dans Excel (© Microsoft) et SigmaPlot (© Systat software, Inc.). Les procédures statistiques utilisées dans ce rapport restent relativement simples afin de permettre une analyse la moins technique possible et une **lecture aisée des graphes et des interprétations associées**, directement intégrées dans des graphiques visualisables sur le **site internet ECOSCOPA** : <https://ecoscopa.ifremer.fr/Acces-aux-donnees>.

Il est ainsi fait appel à :

- des calculs de moyenne (journalière, mensuelle et annuelle) ;
- des représentations d'anomalies (écarts) par rapport à une moyenne de référence calculée sur une période antérieure la plus longue possible ;
- des représentations graphiques de la variance des données, sous la forme de boîte à moustache (cf encart ci-dessous) ;
- l'utilisation fréquente d'échelles logarithmiques pour les concentrations larvaires compte tenu des fortes disparités sur ce paramètre ;
- des analyses de corrélations entre variables, avec le cas échéant, une estimation des paramètres de la régression reliant les 2 variables étudiées.

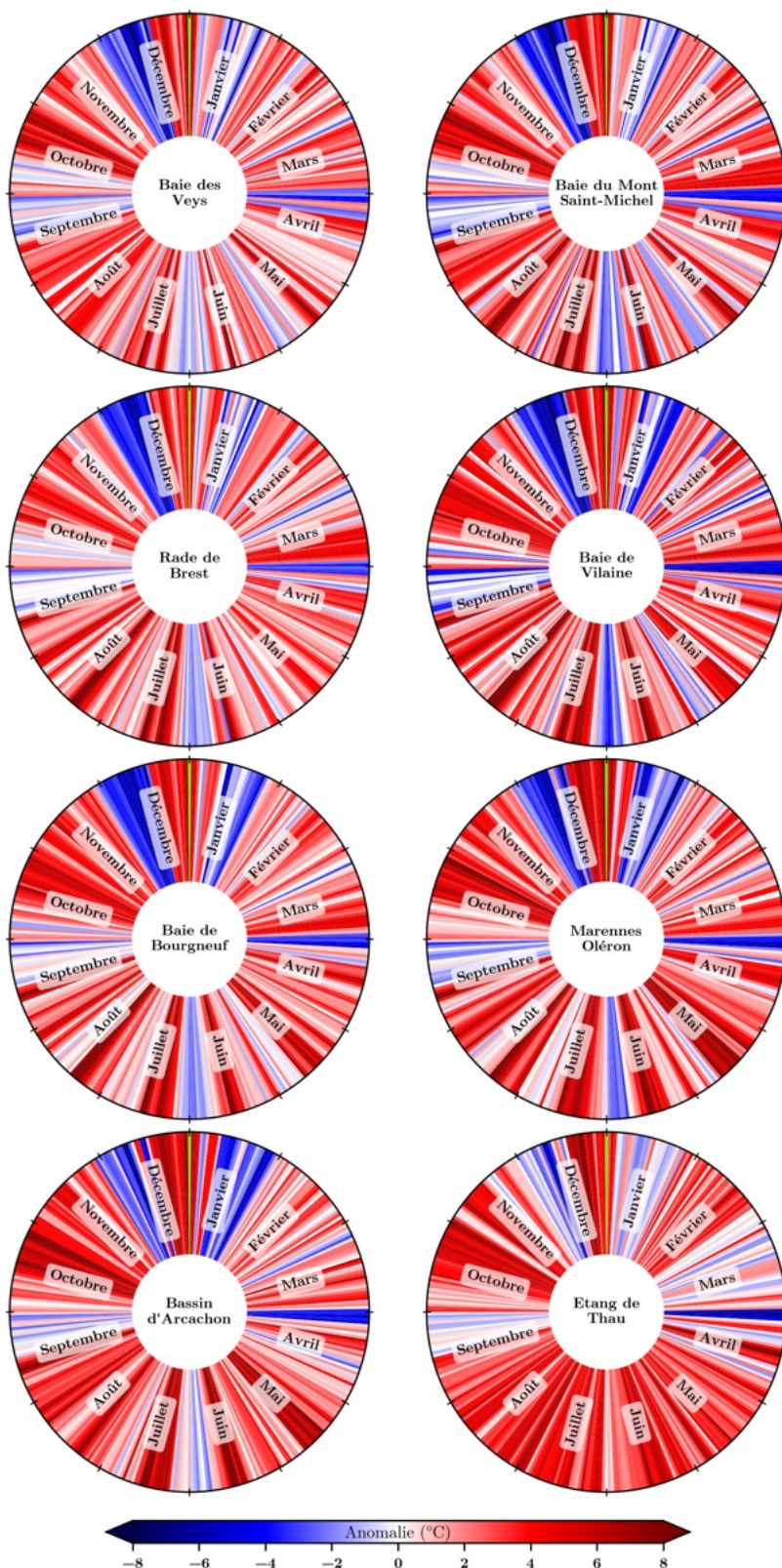
En parallèle de l'accès aux données sur le site internet ECOSCOPA, et sur SEANOE, les données sont également accessibles sur le portail Géolittoral du CEREMA : <https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/principaux-observatoires-de-coquillages-a1567.html>

## 3 Suivis des conditions environnementales en 2022

### 3.1 Conditions climatiques générales

L'intégralité du cycle de vie de l'huître creuse est sous la dépendance directe des facteurs hydrologiques, eux-mêmes forcés par les conditions climatiques du moment voire de la saison écoulée (e.g. Auby et Maurer, 2004 ; Bernard 2011 ; Pouvreau et al., 2011). Sur le milieu ultra-côtier, la température de l'air influence directement la température de l'eau. La pluviométrie influence le débit des rivières et les apports en sels nutritifs et contrôle indirectement la salinité, la turbidité et les efflorescences phytoplanctoniques. L'ensemble de ces conditions très locales peut influencer sur les performances biologiques de l'espèce pour l'année en cours.

#### 3.1.1 Température de l'air



La **Figure 6** présente, de façon synthétique, les anomalies de la température de l'air en 2022 par comparaison à la normale. On retiendra, à l'interprétation de cette figure, les principaux résultats suivants :

- A l'exception de la fin du mois de janvier, caractérisé par des valeurs inférieures aux normales, l'hiver a plutôt été marqué par des températures supérieures aux normales.
- Le début du printemps a été marqué initialement par un épisode de grande fraîcheur, puis se caractérise par une anomalie positive sur les tous les sites.
- Excepté une légère anomalie négative au début du mois de juin, l'été est caractérisé par des épisodes de vagues de chaleur intenses et répétés.
- L'automne subit lui aussi des épisodes de chaleur intense avec des anomalies positives, surtout durant le mois d'octobre. Le début de l'hiver est ensuite plus froid que d'habitude.

En complément, la **Figure 7** présente l'évolution, depuis 1960, de l'anomalie annuelle de la température de l'air sur chacun des sites du réseau. **Cette figure montre que l'année 2022 s'inscrit toujours dans la tendance au réchauffement enregistrée depuis les années 1990 avec une accélération depuis 9 ans.** Elle présente une anomalie positive, en moyenne sur l'année, de 0,9 à plus de 2,2°C du nord au sud. Avec des anomalies très élevées, **l'année 2022 est l'année la plus chaude jamais enregistrée.**

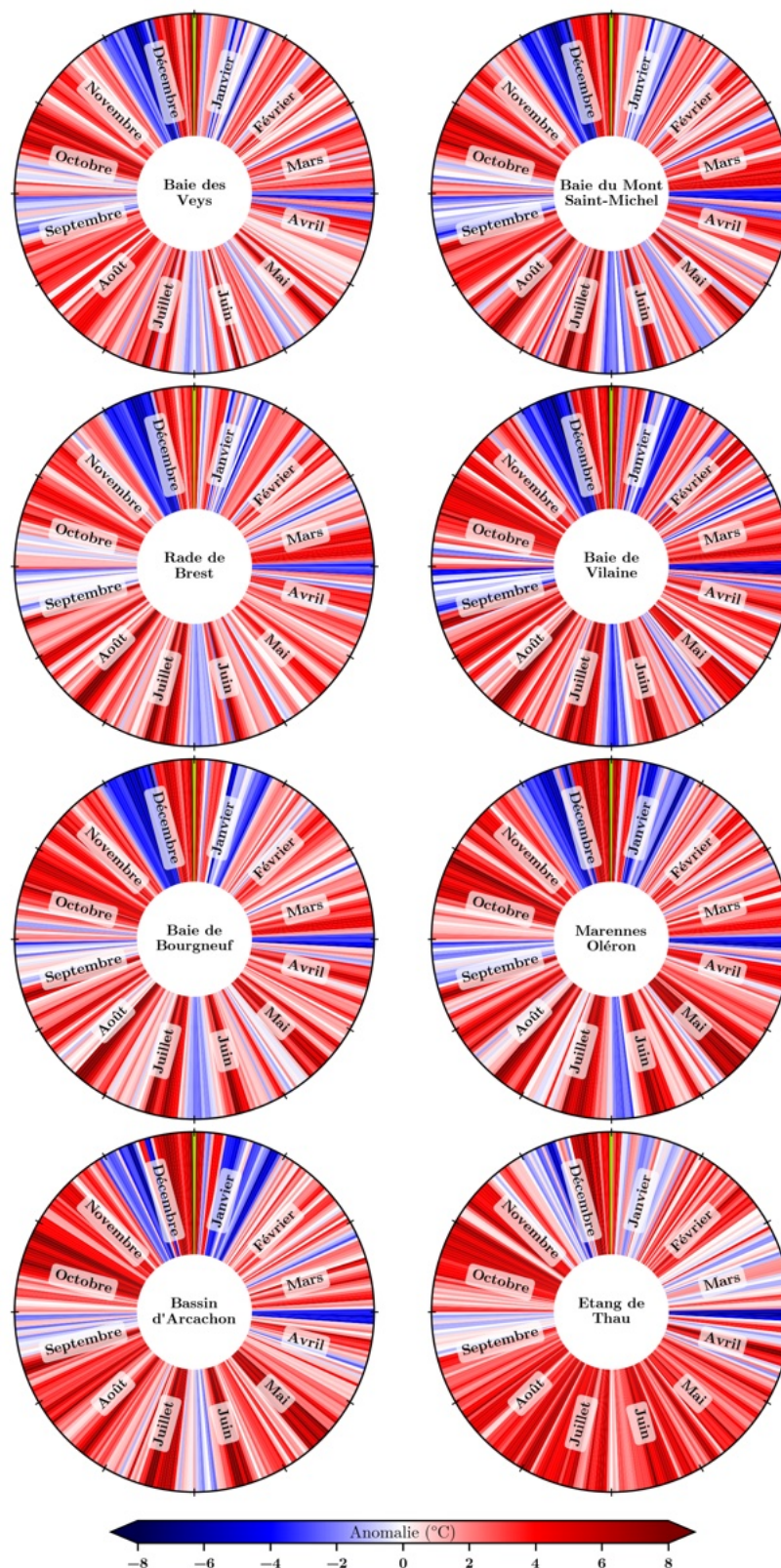


Figure 6 : Anomalies moyennes journalières 2022 par rapport à la normale calculée sur la période 1981 à 2010 pour les 8 sites. Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu. Les stations Météo-France de référence pour chaque secteur sont respectivement les suivantes : Englesqueville pour la Baie des Veys, Coutances pour la Baie du Mont St Michel, Lanvéoc pour la Rade de Brest, Vannes pour la Baie de Vilaine, Noirmoutier pour la Baie de Bourgneuf, Château d'Oléron pour le Bassin de Marennes-Oléron, Cap Ferret pour le Bassin d'Arcachon, Sète pour la lagune de Thau (© Météo-France).

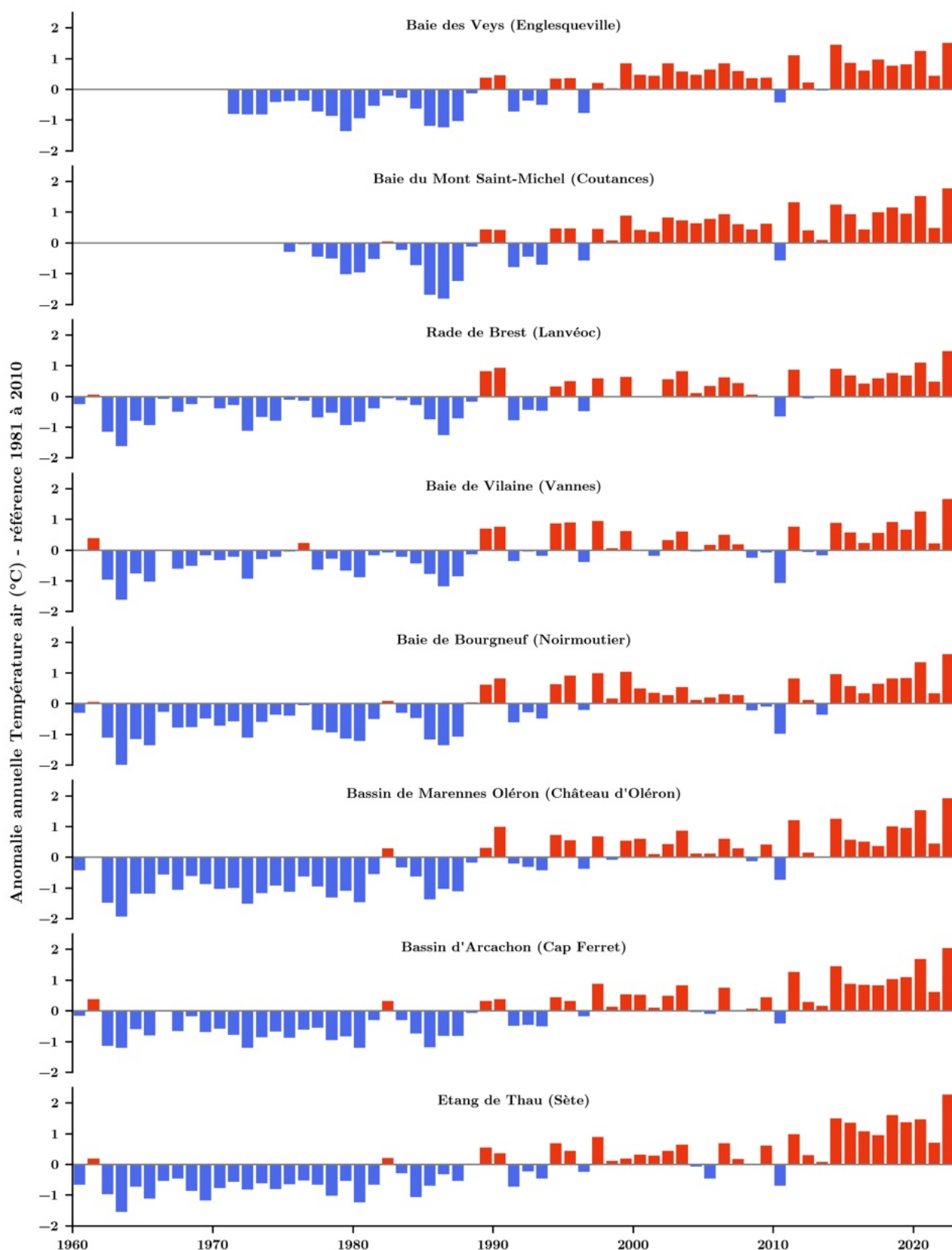


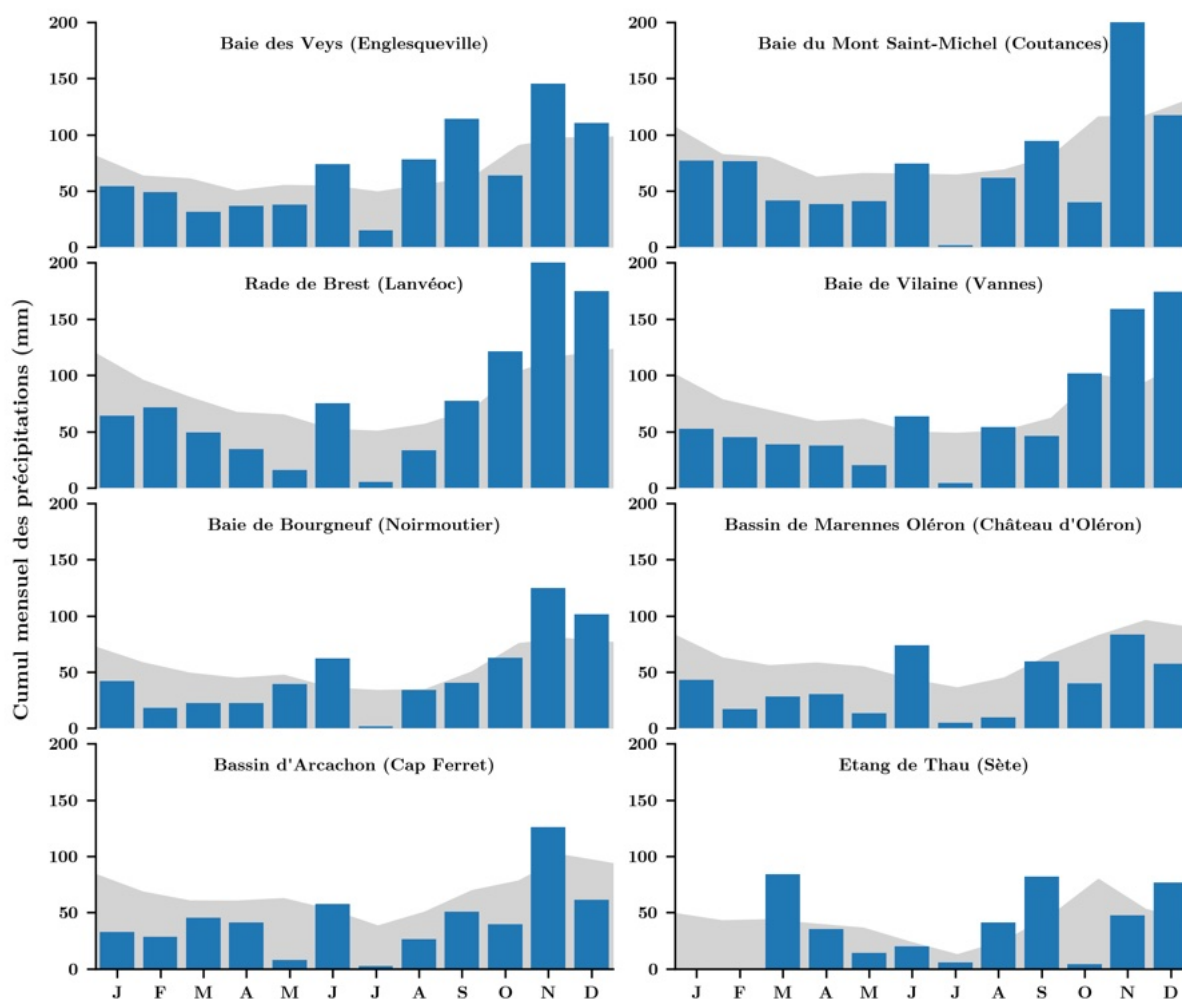
Figure 7 : Anomalies de température de l'air (moyenne annuelle en °C) pour chaque site d'étude depuis 1960, à l'exception des stations Météo-France de Englesqueville, Coutances et Vannes, pour lesquelles les données ne sont disponibles qu'à partir de 1976 (Source des données : © Météo-France).

### 3.1.2 Pluviométrie

La **Figure 10** présente, de façon synthétique, les cumuls mensuels de pluie relevés en 2022 et fournit une comparaison avec les normales. L'analyse de cette figure révèle, d'une façon plus ou moins marquée selon les sites, les points suivants :

- L'hiver se caractérise, en moyenne, par des conditions pluviométriques déficitaires sur tous les secteurs, avec une situation particulière pour la Lagune de Thau.
- Au printemps, les cumuls de pluie se situent légèrement inférieurs aux normales mais sont excédentaires en fin de période.
- En été, de façon similaire, les cumuls mensuels sont déficitaires notamment en juillet pour les sites plus au Nord.
- En automne, les cumuls deviennent, selon les mois, conformes aux normales ou largement excédentaires notamment sur les sites de la façade atlantique en novembre et décembre.

En complément, la **Figure 11** présente l'anomalie annuelle de pluviométrie pour chacun des sites du réseau et permet de la comparer avec celles enregistrées depuis 1960. Cette figure montre que **l'année 2022 s'inscrit au final comme une année déficitaire sur les sites, avec de fortes irrégularités** selon les mois de l'année.



**Figure 8 : Cumul pluviométrique mensuel pour l'année 2022 et normale calculée sur les dernières décennies pour les 8 sites. Les stations Météo-France de référence pour chaque secteur sont respectivement les suivantes : Englesqueville pour la Baie des Veys, Coutances pour la Baie du Mont St Michel, Lanvéoc pour la Rade de Brest, Vannes pour la Baie de Vilaine, Noirmoutier pour la Baie de Bourgneuf, Château d'Oléron pour le Bassin de Marennes-Oléron, Cap Ferret pour le Bassin d'Arcachon, Sète pour la lagune de Thau (Source des données : © Météo-France).**



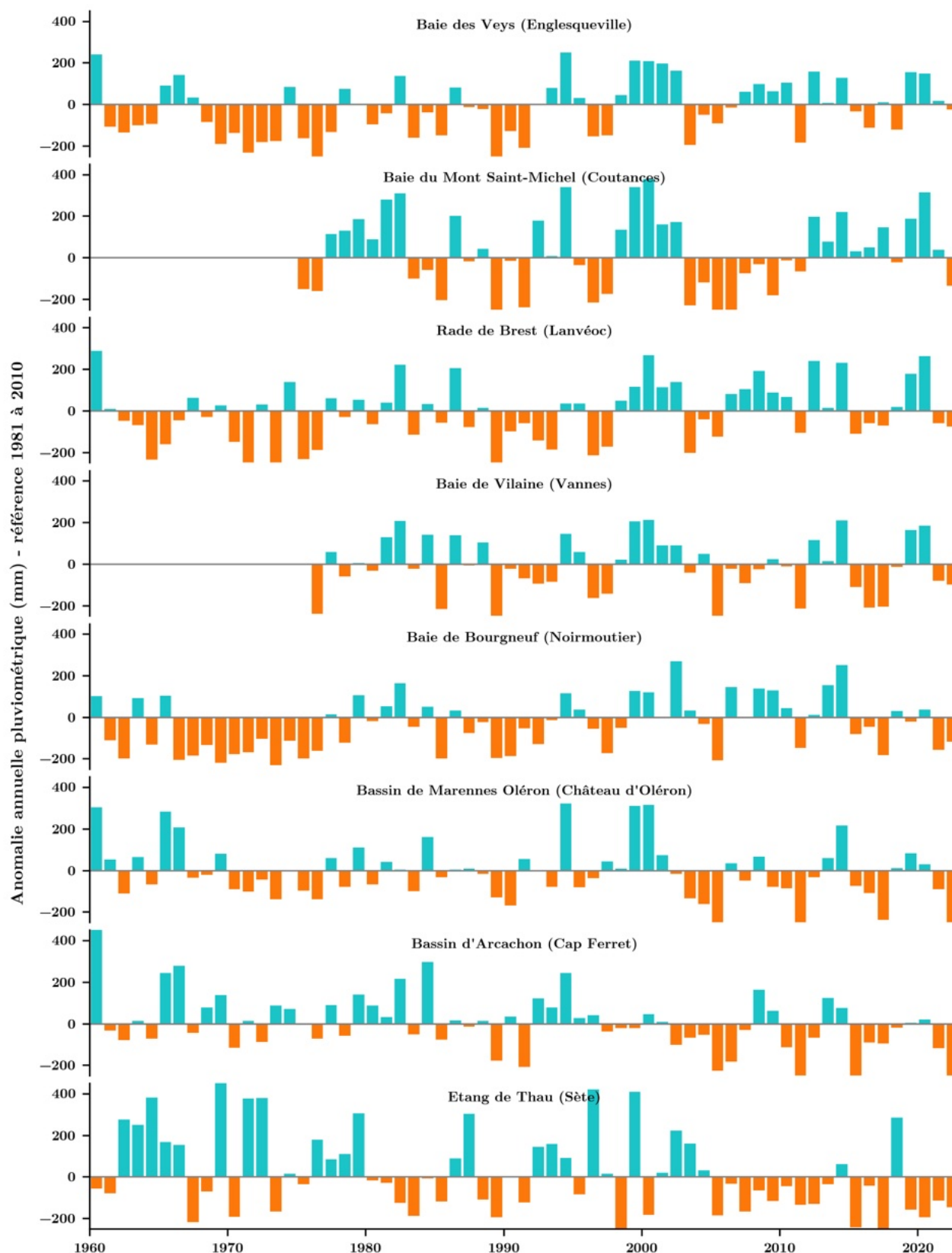
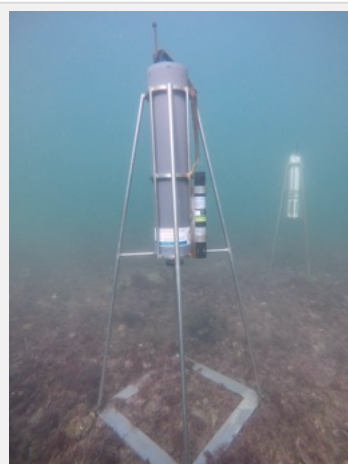


Figure 9 : Anomalies annuelles de pluviométrie (mm) depuis 1960 pour chaque site d'étude, à l'exception des stations Météo France de Englesqueville, Coutances et Vannes, pour lesquelles les données ne sont disponibles qu'à partir de 1976 (Source des données : © Météo-France).

## 3.2 Données hydrologiques

### 3.2.1 Température de l'eau de mer



La température de l'eau de mer constitue un paramètre clé pour la croissance, la survie et la reproduction de l'huître creuse : sa diminution permet un repos physiologique hivernal lors des hivers froids, le réchauffement printanier accélère sa croissance et module la vitesse de maturation, les étés chauds favorisent les pontes (e.g. Bernard et al., 2016 ; Thomas et al., 2016), le développement des larves et le recrutement (e.g. Pouvreau et al., 2015). Mais elle est aussi un facteur essentiel dans les épisodes de mortalité. En effet, l'huître creuse est soumise à de fortes variations thermiques en lien avec sa position sur l'estran et son mode d'élevage, qui influencent directement les temps durant lesquels l'animal est exondé, et est de ce fait régulièrement soumise à de fortes variations de température (Chapman et al., 2011). Lorsque les huîtres sont immergées, il est déjà bien connu que la température de l'eau de mer va directement influencer le métabolisme de l'huître creuse, bloquer les processus d'infection virale (Delisle et al., 2018) et augmenter les taux de survie face aux mortalités liées au virus OsHV-1 (Pernet et al. 2012, Petton et al. 2013, Pernet et al., 2015, Renault et al., 2014) ou aux bactéries du genre *Vibrio* (Le Roux et al., 2016, Petton et al., 2015).

La **Figure 12** présente, de façon synthétique, la température de l'eau de mer (respectivement moyenne journalière calculée à partir de données hautes fréquences et moyenne mensuelle calculée à partir de données ponctuelles) et son degré d'anomalie par comparaison à la normale.

L'année 2022 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les points suivants :

- L'hiver est globalement marqué par des anomalies positives pendant laquelle la température de l'eau est supérieure aux normales avec des anomalies de plus de 3°C. Un épisode frais se distingue fin janvier sur les sites du sud.
- Le printemps est lui aussi marqué avec des épisodes chauds avec une légère anomalie positive en avril pour les sites en dessous de la baie de Vilaine. Sur tous les sites, on note au mois de juin une forte anomalie positive pouvant atteindre 4°C.
- L'été 2022 se caractérise par des températures très élevés relativement par rapport à la normale, avec un été les plus chaud de ces dernières années. Les anomalies de l'étang de Thau montent à plus de 4°C avec des températures journalière atteignant les à 30°C.
- Suite à cet évènement chaud, l'automne se positionne tout d'abord dans une anomalie positive avant de basculer dans le négatif à partir de décembre.

Avec la méthode d'apprentissage basée sur les données de température air Météo France, il est désormais **possible d'extrapoler des températures moyennes journalières de l'eau de mer et d'en calculer des anomalies**. Les anomalies de températures annuelles sont représentées sur la **Figure 11** pour les 8 sites du réseau. Pour les 10 années sur lesquelles on dispose maintenant de mesures stables, les moyennes annuelles de température issues des modèles d'apprentissage sont en cohérence totale avec les données observées issues du réseau, ce qui confirme la **validité du modèle d'apprentissage**. Seul le site du bassin de Marennes-Oléron qui souffre d'un manque de données avec des jeux complets chaque année ne peut pas être validé. Un effort supplémentaire sera à mener sur ce site afin de certifier les données modélisées.

Pour tous les sites, il ressort que **l'augmentation de température de l'eau est flagrante depuis les années 1960**, surtout dans l'écosystème fermé de **l'étang de Thau**, avec des **anomalies dépassant sur l'année 2°C**. Le modèle n'utilisant que la période 2010 à 2020, sa robustesse sera mise en évidence sur chacun des sites dans les années à venir. Il convient toutefois de rappeler que **les années 1960 à 1980 sont caractérisées comme étant des décennies plus froides**. La principale raison est la forte présence

d'aérosols dans l'atmosphère, liées aux émissions de particules d'origine industrielle, ce qui a réduit l'impact du flux solaire. Cette particularité pourrait exagérer la tendance actuelle au réchauffement.

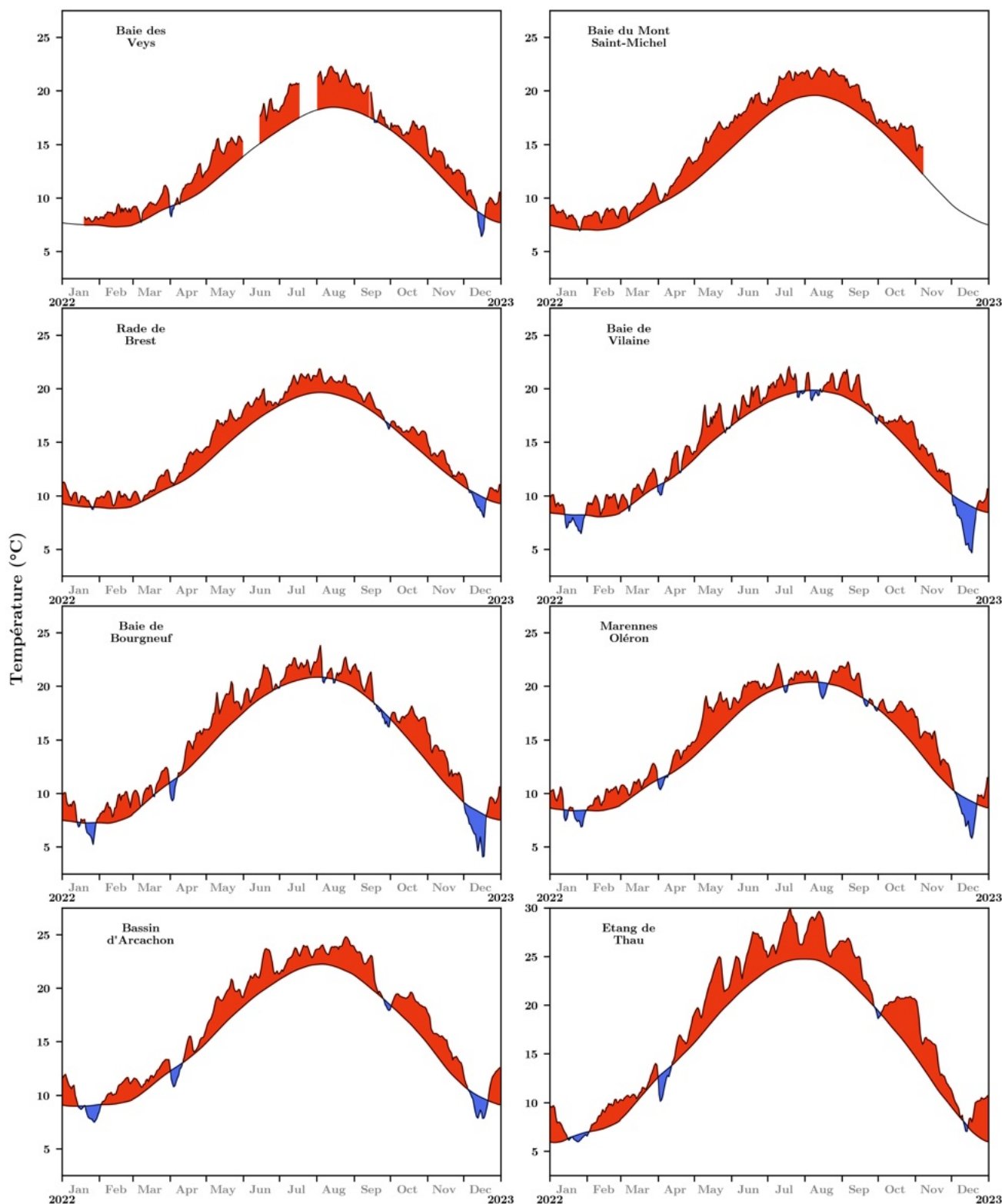


Figure 10 : Température moyenne journalière de l'eau de mer en 2022 et anomalies par rapport à la normale calculée sur la période 1981 à 2010 pour les 8 sites suivis (© Ifremer). Les périodes à anomalie thermique positive apparaissent en rouge, celles à anomalie thermique négative en bleu.

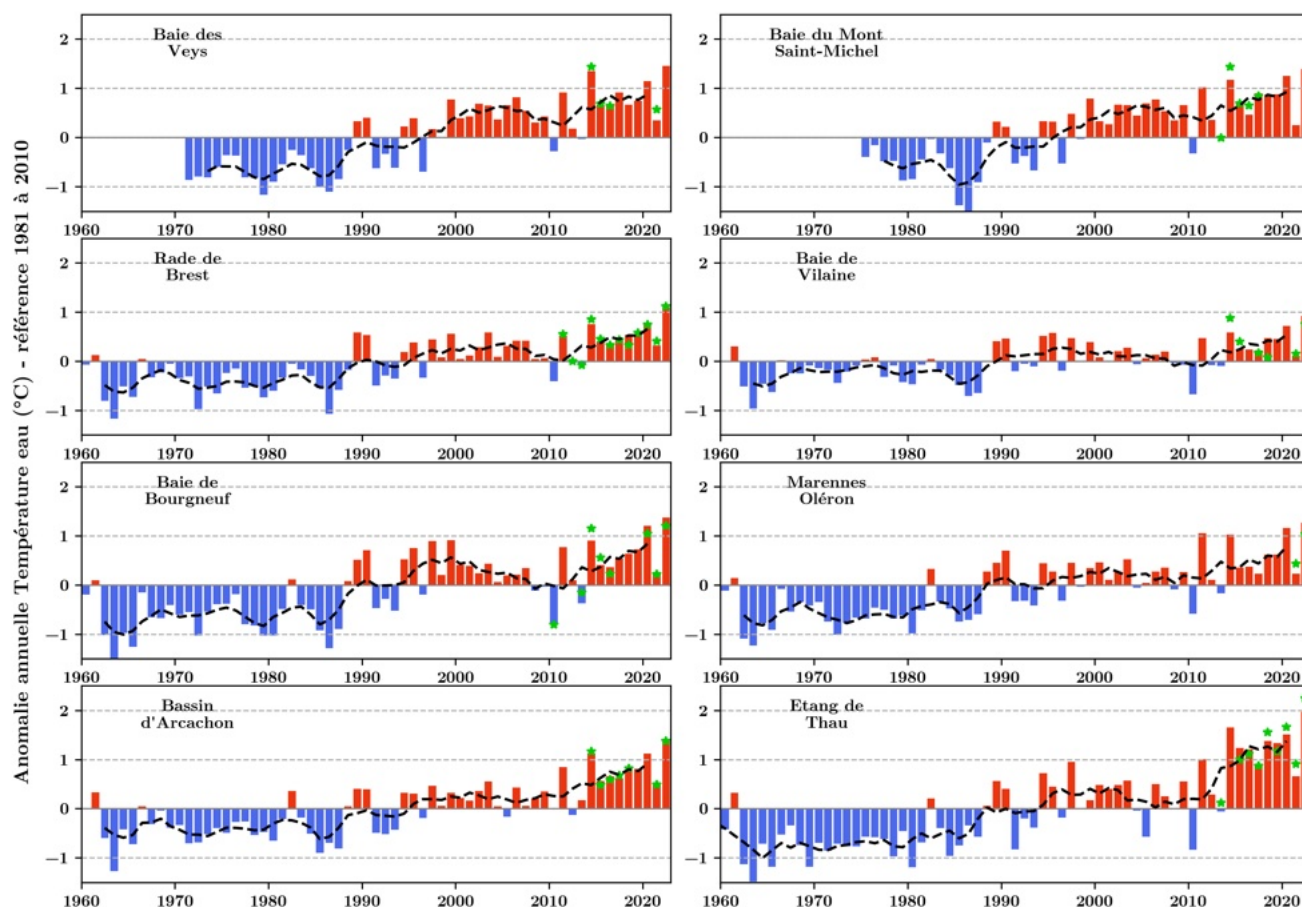


Figure 11 : Anomalies annuelles de température de l'eau pour les 8 sites ECOSCOPA. Ces anomalies sont calculées avec les températures modélisées avec le modèle d'apprentissage automatisé. La période de référence pour chaque site est de 1981 à 2010. La courbe en pointillée noire est une moyenne glissante de l'anomalie modélisée centrée sur 11 ans. Les étoiles vertes représentent la moyenne annuelle calculée avec les mesures haute-fréquence.

### 3.2.2 Salinité

La salinité joue un rôle indirect sur la croissance et le succès de la reproduction de l'huître creuse : c'est un indicateur du débit des fleuves et rivières et donc un proxy<sup>1</sup> des apports de sels nutritifs entrant dans le système et régulant, en partie, le niveau de production primaire et les efflorescences phytoplanctoniques.

La **Figure 12** Figure 11 présente la moyenne journalière de la salinité de l'eau de mer. L'année 2022 se caractérise, de façon plus ou moins importante selon les sites, par les résultats suivants :

- A l'exception des sites les plus océaniques, l'hiver est marqué par des valeurs de salinité plutôt basses témoignant d'une pluviométrie normale jusqu'en mars.
- Le printemps présente, quasiment sur tous les secteurs, un retour vers des valeurs de salinité dans les normes, avec cependant l'existence de dessalures marquées selon les secteurs.
- Puis, l'ensemble de l'été se caractérisent par des valeurs plutôt élevées qui se positionnent progressivement dans les quartiles supérieurs témoignant **d'un relatif déficit pluviométrique**

sur la plupart des secteurs. On atteint **des valeurs maximales de salinité jamais enregistrées** lors du réseau sur tous les sites.

- L'automne connaît lui aussi un début très sec avec de fortes salinité et il faut attendre le mois de Novembre pour un retour des crues avec des dessalures progressives, contrairement à 2020 et 2021.

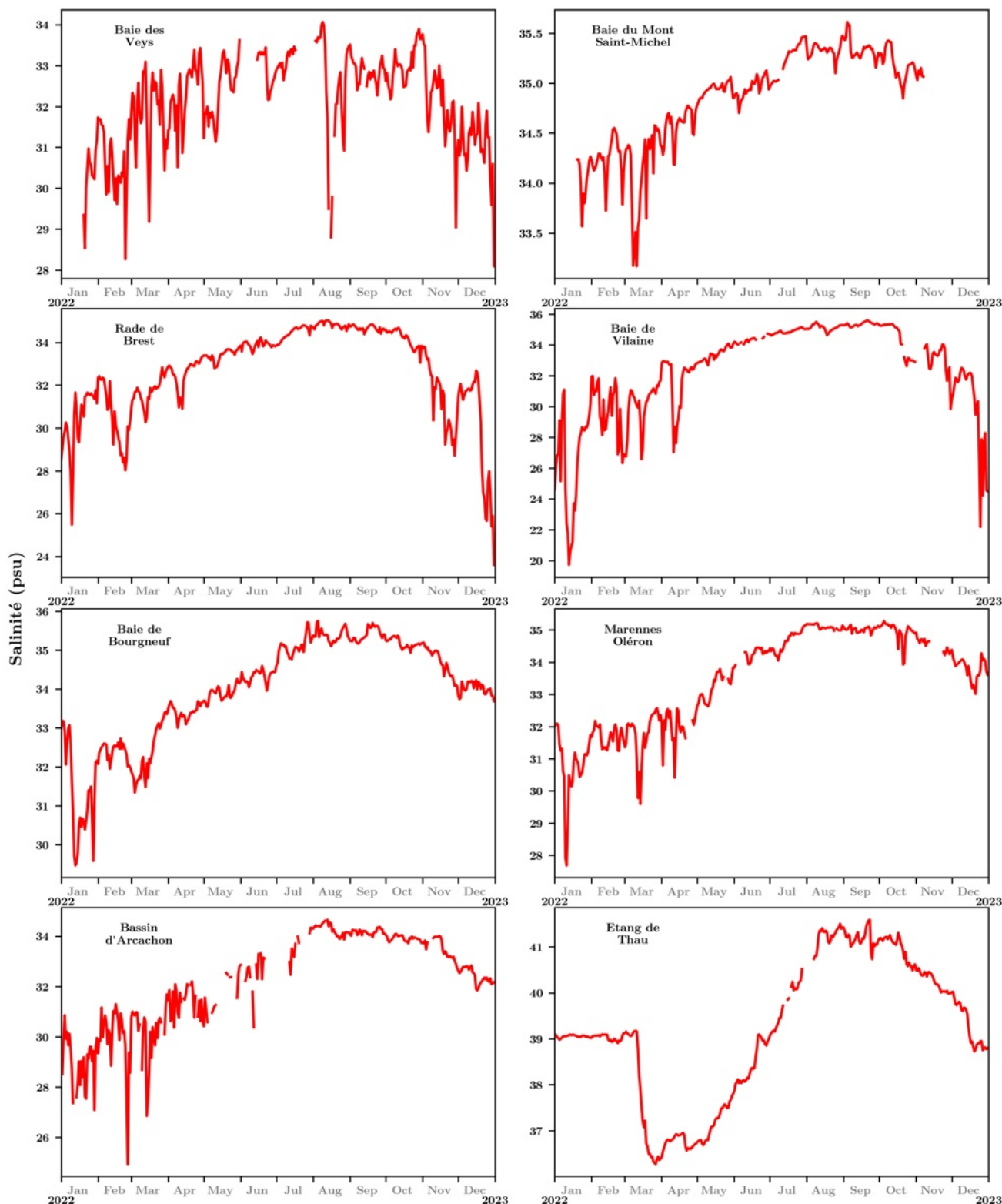
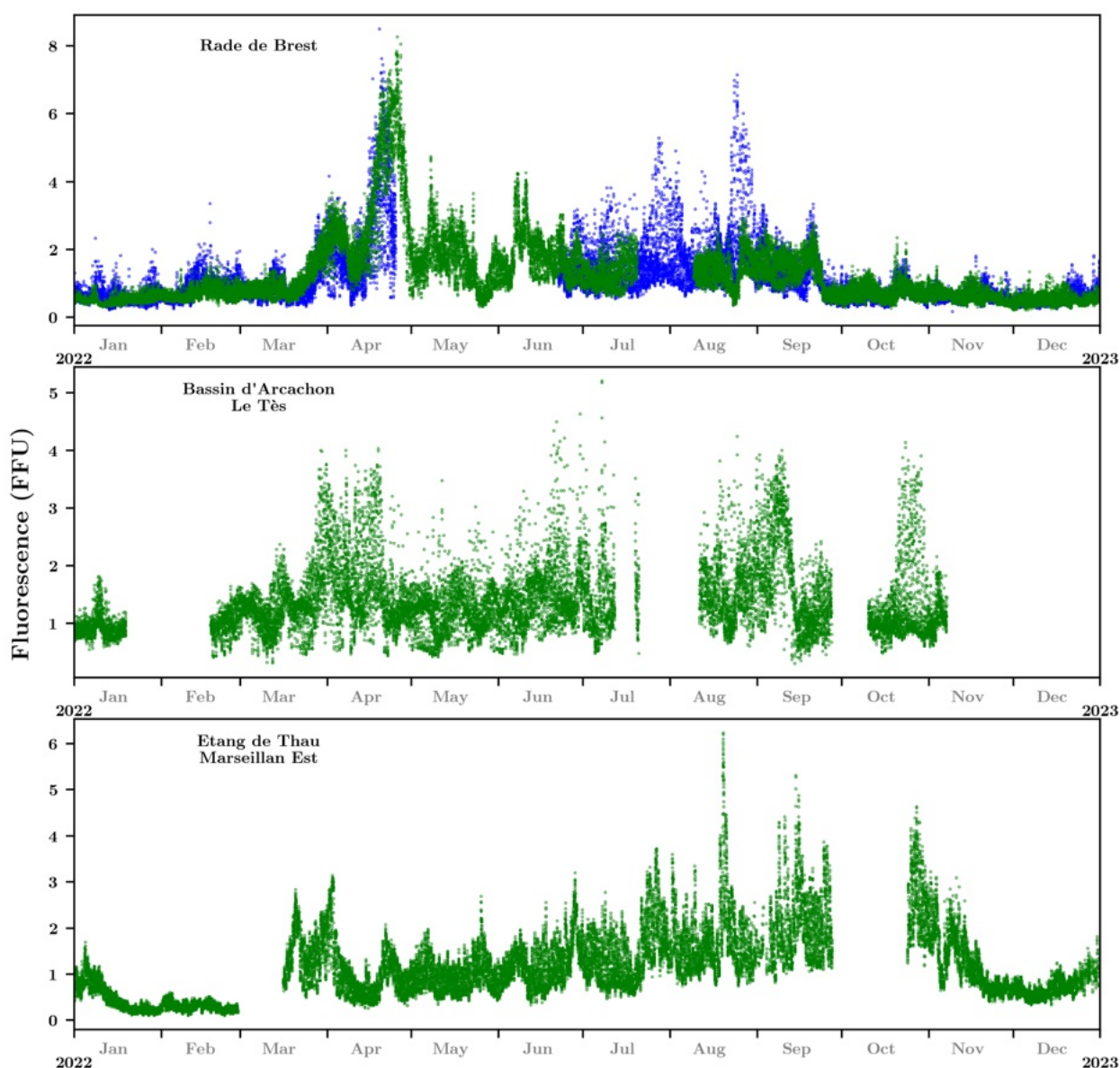


Figure 12 : Valeurs moyennes journalière 2022 de salinité pour chacun des huit secteurs étudiés dans le réseau ECOSCOPIA.

### 3.2.3 Concentration en phytoplancton

Le phytoplancton constitue, après la température, le deuxième paramètre clé pour la croissance et la reproduction de l'huître creuse. En tant que source principale de nourriture, il régule au printemps la pousse et l'effort de reproduction des bancs de géniteurs (*e.g.* Bernard, 2011) et en été la rapidité de croissance et la survie des larves (*e.g.* Rico-villa *et al.*, 2010). La concentration en phytoplancton est étudiée ici *via* l'utilisation d'un proxy universel et simple à mesurer : la biomasse de chlorophylle *a*.

La **Figure 15** présente la concentration 2022 en **fluorescence (équivalent chlorophylle *a*) de l'eau de mer** mesurée par les sondes ECO FLNTU sur **3 sites clés du réseau ECOSCOPA**. Les toutes premières données sont visibles pour les sites du Tès dans le bassin d'Arcachon et de Marseillan Est dans l'étang de Thau, après le déploiement de nouvelles sondes en 2021. La méthode d'acquisition (fréquence, ajustage en laboratoire, nettoyage) est identique à celle utilisée en rade de Brest. Ces données permettront, à terme, de mieux expliquer la croissance des huitres et de suivre les conditions estivales de la reproduction.



**Figure 13 : Mesures de fluorescence haute-fréquence pour les sites de la rade de Brest, du bassin d'Arcachon et de l'étang de Thau du réseau ECOSCOPA.**

Sur ces deux ‘nouveaux’ sites, des algues filamenteuses sont venues se coincer dans le système anti-fouling. Cela n’a pas eu d’impact sur l’intégrité du moteur de la sonde sur le site d’Arcachon. Cependant, cela a entraîné une infiltration d’eau pour le site de Thau. La sonde a été renvoyée en réparation et une autre déployée quelques mois plus tard (achat 2021). Nous avons testé un système artisanal de protection à base de feuille de cuivre, placée autour du moteur. Cela n’a malheureusement pas résolu les problèmes et nous allons tester d’autres solutions en 2023.

### 3.2.4 pH et acidification de l’océan

Outre l’augmentation de température, l’un des changements majeurs d’ici la fin de ce siècle réside dans l’acidification des océans liée à l’augmentation progressive des rejets de CO<sub>2</sub>. Sur nos côtes, le pH de l’eau de mer est, en moyenne, compris entre 8.1 et 8.2. Mais il y a énormément de variabilité spatiale dans la chimie carbonatée de l’océan et la prédiction, à l’échelle régionale, de l’évolution du pH au cours de ce siècle est particulièrement incertaine. Chez l’huître creuse, le stade larvaire est le plus sensible à une diminution du pH : plusieurs études montrent qu’à partir d’un pH de 7.6, la croissance larvaire est affectée et la survie diminue (*e.g.* Kurihara et al., 2007). Des expérimentations récentes, réalisées en 2011 dans le cadre du projet VELYGER, ont montré que pour un pH de 7.2 et une température de 20°C, la croissance larvaire était ralentie de moitié et la métamorphose compromise (Bagusche et al., 2012).

La **Figure 16** présente l’évolution du pH Total dans le domaine côtier pour **les quatre sites pour le moment équipés** dans le cadre du réseau ECOSCOPA et du projet CocoriCO<sub>2</sub> : la rade de Brest, Marennes Oléron, le bassin d’Arcachon et l’étang de Thau. Ces données servent également à alimenter le Réseau Côtier SOMLIT (Service d’Observation en Milieu Littoral) mis en œuvre par le CNRS-INSU (<http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/>).

Les variations saisonnières sont visibles sur l’ensemble des sites ainsi qu’une grande variabilité journalière suivant les environnements observés. Les valeurs de pH des masses d’eau sont amenées à varier de moins de 7.8 à plus de 8.3 selon la saison et le secteur considéré. Notez les **très grandes variations observées sur la lagune de Thau** au cours de l’année. Il s’agit ici des **toutes premières données haute fréquence disponible sur la côte atlantique et en milieu estuarien**.

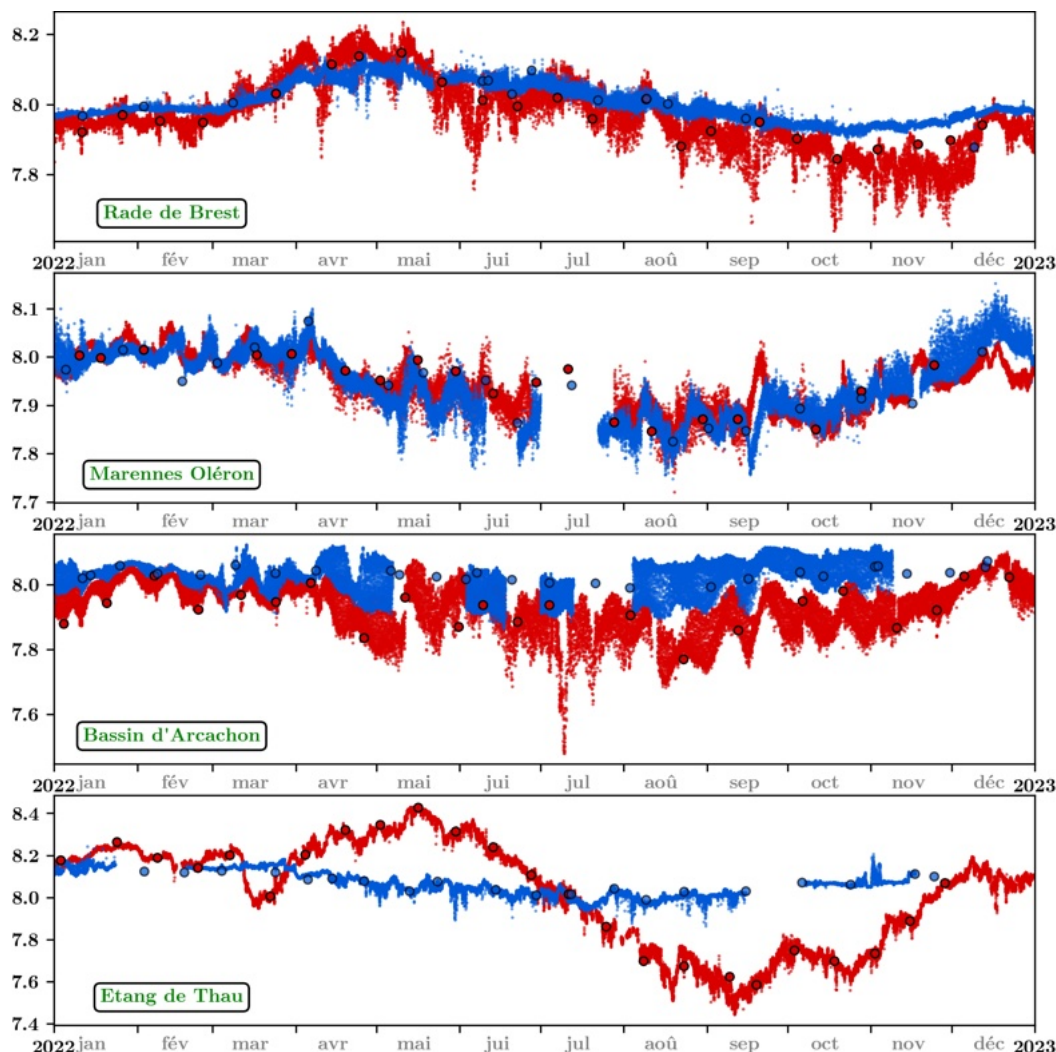


Figure 16 : Suivi haute fréquence du pH sur quatre sites ECOSCOA : la rade de Brest et le bassin d'Arcachon, également intégrés dans le projet CocoriCO<sub>2</sub>. Les données des sites conchylicoles sont représentées en rouge, celles des sites un peu plus au large en bleu. Les analyses des prélèvements discrets effectuées par spectrophotométrie sont représentées par des points.

En termes de tendance pluriannuelle (**Figure 17**), on constate que les données 2022 s'inscrivent, pour les deux secteurs SOMLIT de la façade atlantique (rade Brest et bassin d'Arcachon), dans une tendance à la diminution avec des valeurs se situant dans la gamme inférieure des observations enregistrées depuis le début des années 2000 par le réseau SOMLIT. **En 2022, les valeurs moyennes annuelles du pH sont en deçà de 8.00 assez régulièrement que ce soit en Rade de Brest ou dans le Bassin d'Arcachon.** Bien sûr, ces valeurs moyennes restent toujours supérieures au seuil de 7.6 - valeur considérée comme problématique pour la vie larvaire de l'huître creuse.



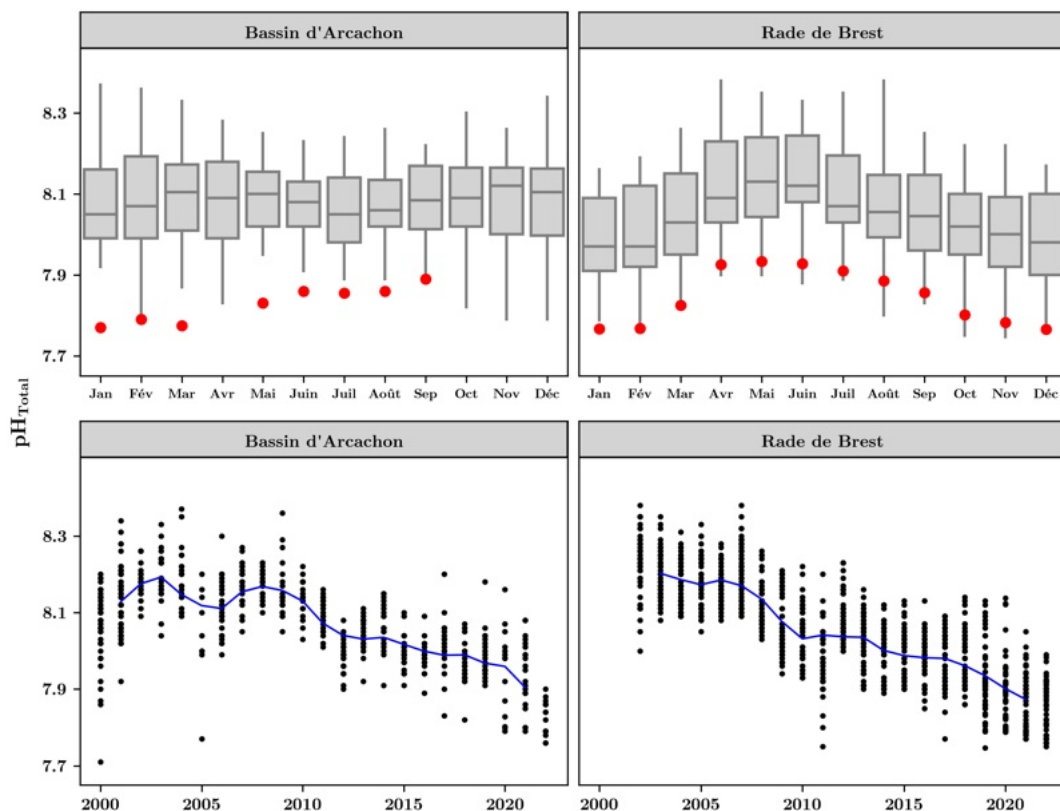


Figure 17 : Évolution pluriannuelle du pH sur la façade atlantique (Données du réseau SOMLIT).

Haut : Valeurs moyennes mensuelles 2021 du pH de l'eau de mer (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée du Bassin d'Arcachon (site « Eyrac ») et de la Rade de Brest (site « Portzic »). Ces valeurs annuelles sont comparées à la distribution des valeurs des 20 dernières années.

Bas : Évolution du pH (moyenne annuelle +/- ECT) depuis les années 1998 (© CNRS-INSU/SOMLIT) à l'entrée de la Rade de Brest et du Bassin d'Arcachon. Ces graphes ont été obtenus à partir des données acquises par le Service d'Observation en Milieu Littoral, mis en œuvre par l'INSU-CNRS (Réseau SOMLIT). Pour en savoir plus : <http://www.somlit.fr>

### 3.2.5 Bilan historique des séries haute-fréquence du réseau ECOSCOPA

Toutes ces séries temporelles sont traitées et archivées dans la base Seanoe mais sont aussi automatiquement intégrées à la base de données Coriolis (<https://data.coriolis-cotier.org>). Cela assure un archivage pérenne des données et garantit ainsi leur disponibilité à tous. Il est important de noter que les **séries de température et de salinité** illustrées sur la **Figure 18** constituent une **base de données unique à l'échelle nationale en milieu côtier**.

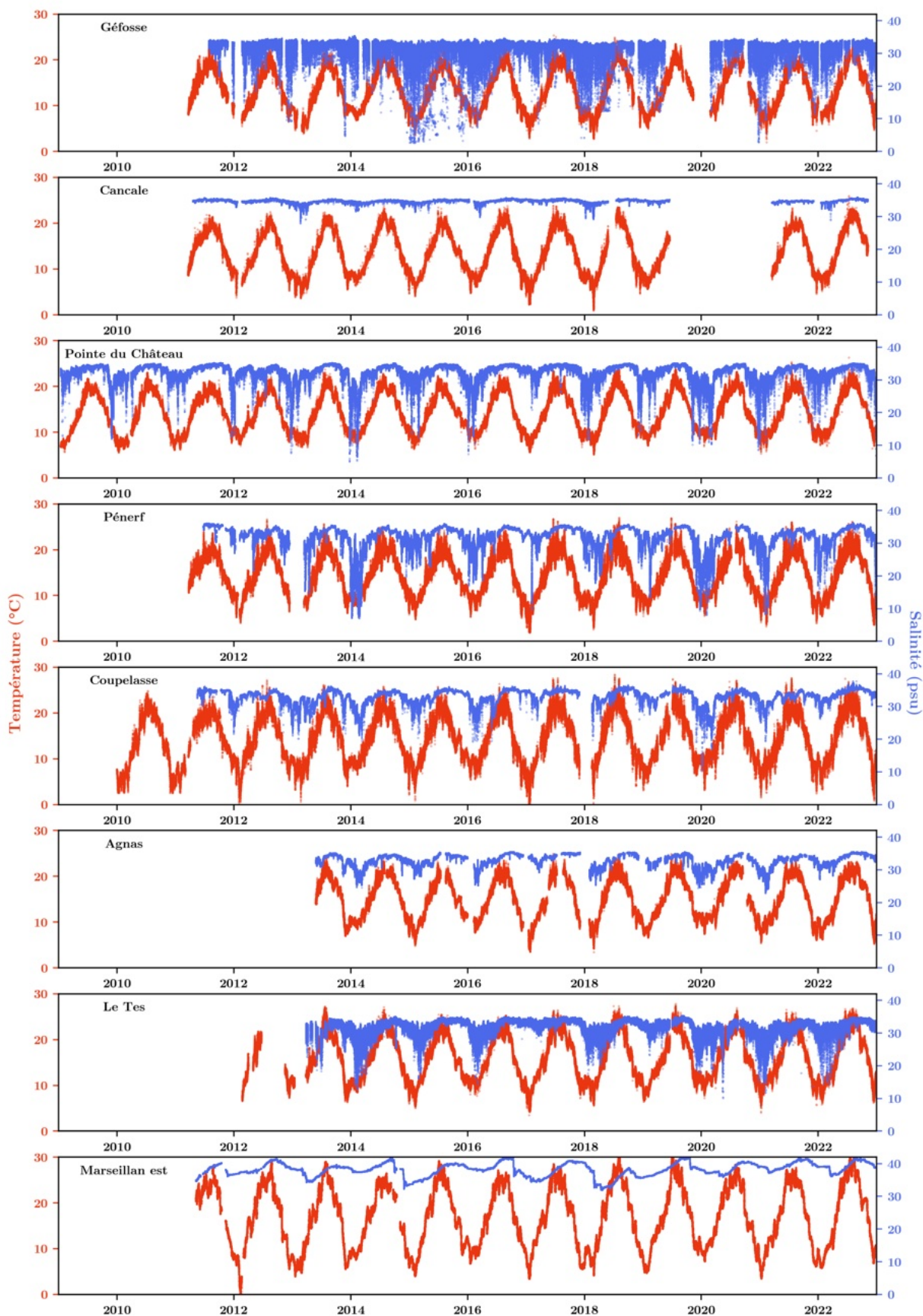
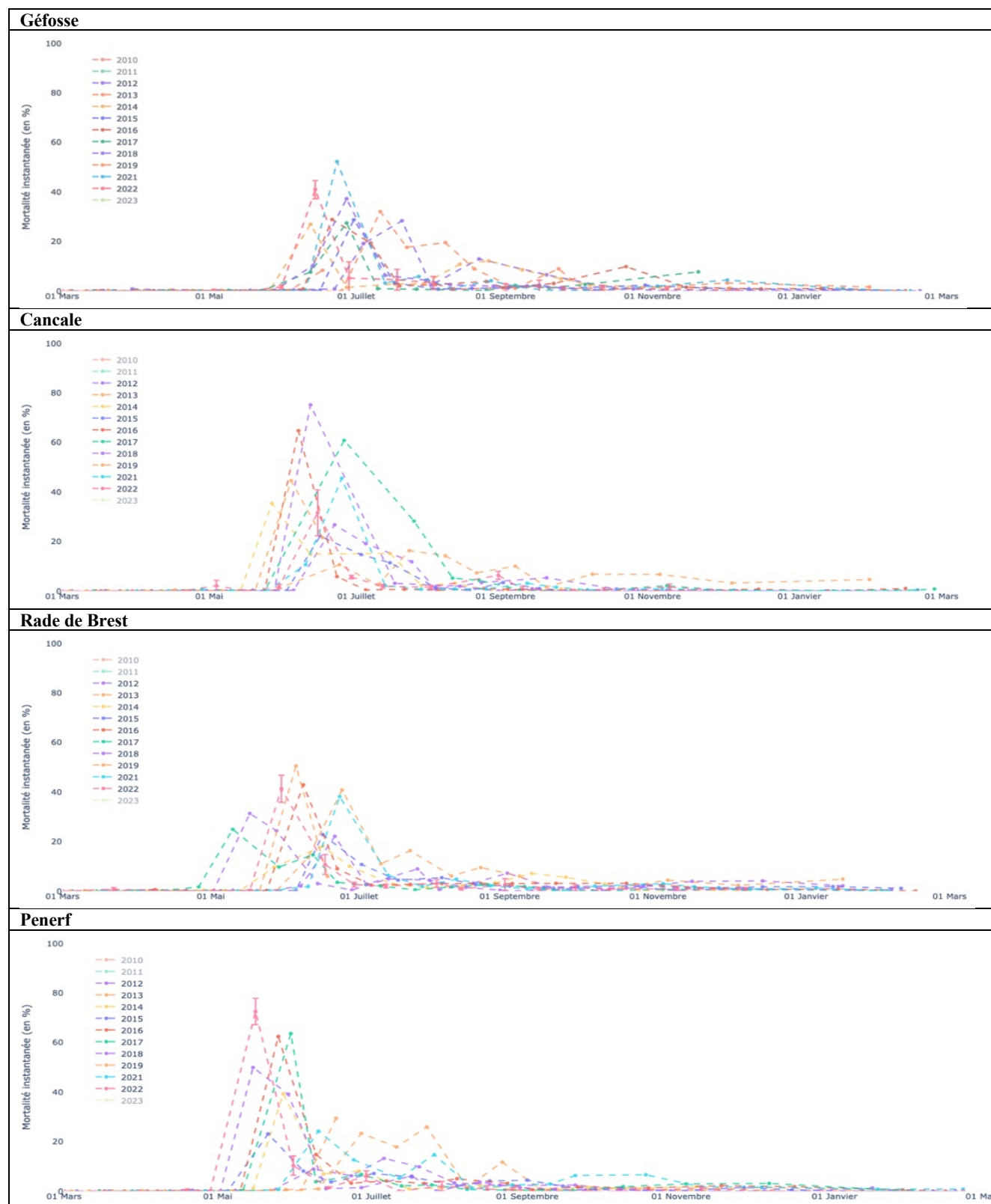


Figure 14 : Bilan illustrant l'acquisition des données haute fréquence de Température (rouge) et Salinité (bleu) réalisée sur l'ensemble des sites du réseau ECOSCOPA depuis 2010.

## 4 Croissance et survie de l'huître creuse en 2022

### 4.1 Suivis des taux de mortalité

#### 4.1.1 Taux de mortalité instantanée



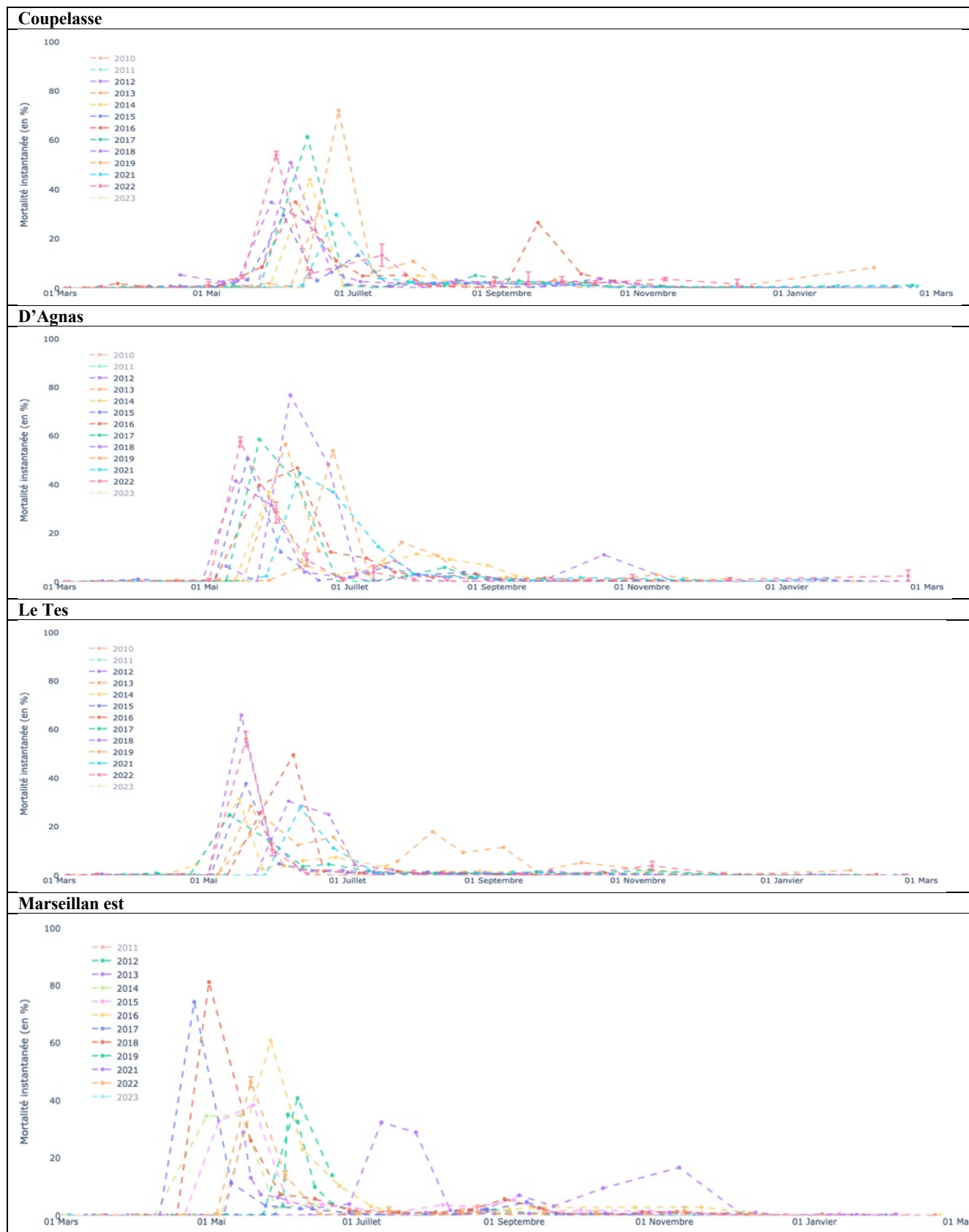


Figure 19 : Comparaison des cinétiques de mortalité instantanées observées sur le NSI sur les 10 dernières années, pour chacun des 8 sites ECOSCOA

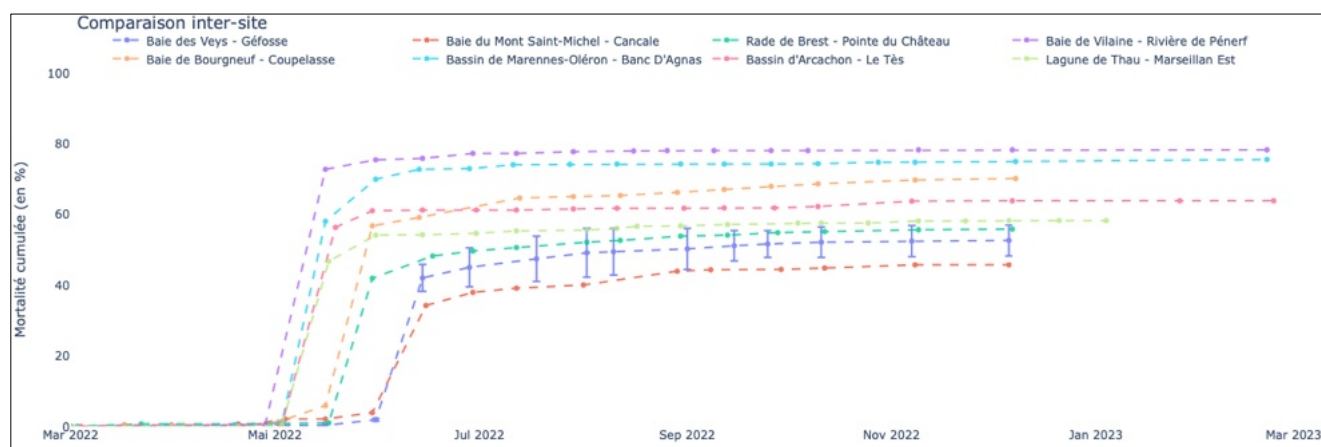
La **Figure 19** compare les cinétique d'apparition de mortalité sur les lots de naissain lors des 10 dernières années (2012- 2022) sur chacun des 8 sites. Le courbe rose représente l'année 2022. La comparaison de l'ensemble des sites en même temps indique bien **des mortalités plus précoces au Sud qu'au Nord**, sur l'ensemble de cette période (vers début Mai pour les sites Sud, contre fin juin début Juillet pour les sites au Nord). Enfin, on peut remarquer que pour chacun des sites, **la mortalité de 2022 a eu tendance à débuter plus précocement que les autres années** : ce phénomène est en relation directe avec les anomalies de températures de l'eau de mer positives observées sur la totalité des sites (cf **Figure 12**).

#### 4.1.2 Taux de mortalité cumulée

A la fin de la campagne 2022, la **moyenne nationale des taux de mortalité observée** sur les différents sites ateliers à la fin de suivis (Décembre 2022) est de **62,3% ± 3 pour le NSI**, soit en **légère hausse** par rapport au taux de 49.1 % obtenu en 2021. Le plus fort taux de mortalité est observé sur le site Pénerf situé en Baie de Vilaine (78.2%) le plus faible pour Cancale, en Baie du Mont Saint-Michel (44.7%) (**Tableau 2 et Figure 20**). Contrairement à l'année précédente, il y a **moins de variabilité inter-sites**, l'étang de Thau ayant atteint des taux de mortalité comparables aux autres sites (contre une valeur anormalement faible pour ce site de 7.9% obtenue en 2021).

**Tableau 2 : Taux de mortalité cumulée (%) des différents lots NSI sur les sites ECOSCOPIA lors de la campagne 2022.**

Secteur	Site	Lot	Mortalité Cumulée (%)	Écart-Type (%)
Baie des Veys	Géfosse	NSI 6 mois Ifremer	52.6	4.4
Baie du Mont Saint Michel	Cancale	NSI 6 mois Ifremer	44.7	6.4
Rade de Brest	Pointe du Chateau	NSI 6 mois Ifremer	55.8	2.5
Baie de Vilaine	Pénerf	NSI 6 mois Ifremer	78.2	4.7
Baie de Bourgneuf	Couperlasse	NSI 6 mois Ifremer	70.0	3.8
Marennes Oléron	Agnas	NSI 6 mois Ifremer	75.4	2.8
Bassin d'Arcachon	Le Tes	NSI 6 mois Ifremer	63.7	1.1
Étang de Thau	Marseillan est	NSI 6 mois Ifremer	58.1	2,7

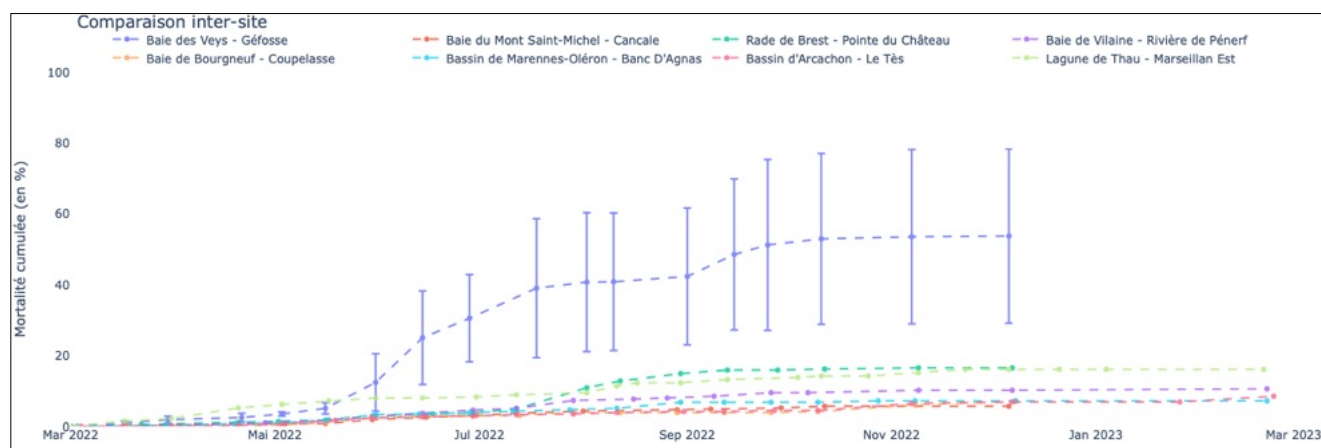


**Figure 20 : Comparaison inter-sites des courbes de mortalités cumulées observées sur le NSI déployés sur les 8 sites ECOSCOPIA lors de la campagne 2022.**

Pour la classe d'âge 18 mois, issue de la conservation du lot NSI 2021 sur chacun des sites, les mortalités constatées sont bien inférieures à celles obtenues sur la classe d'âge précédente (**Tableau 3 et Figure 21**), avec une **moyenne nationale de 15.5% ± 5.9**. On constate des **mortalités très hétérogènes** tels que Gêfosse en Baie des Veys (53.3%), mais aussi à Marseillan dans l'étang de Thau (15.6%) et la Rade de Brest (16.5%), alors que d'autres sites ne sont quasiment pas impactés. Les deux années d'interruption de déploiement en 2019 et 2020 ne permettent cependant pas de comparer à l'année précédente. Parallèlement, Des prélèvements de 50 individus pour chaque classe d'âge ont été effectués sur l'ensemble des sites du 12 au 12 Octobre 2022 afin d'analyser la détection éventuelle du parasite *Haplosporidium costale* (non détecté au moment du déploiement). Un rapport concernant ces résultats sera prochainement rendu (I. Arzul, com pers).

**Tableau 3 : Taux de mortalité cumulée (%) des différents lots 18 mois sur les sites ECOSCOPA lors de la campagne 2022.**

Secteur	Site	Lot	Mortalité cumulée (%)	Écart-Type (%)
Baie des Veys	Gêfosse	18 mois Ifremer	53.3	2.4
Baie du Mont Saint Michel	Cancale	18 mois Ifremer	5.7	2.4
Rade de Brest	Pointe du Château	18 mois Ifremer	16.5	9.1
Baie de Vilaine	Pénerf	18 mois Ifremer	10.5	2.1
Baie de Bourgneuf	Coupelasse	18 mois Ifremer	7.1	2.5
Marennes Oléron	Agnas	18 mois Ifremer	7.2	2.7
Bassin d'Arcachon	Le Tès	18 mois Ifremer	8.5	1.8
Étang de Thau	Marseillan est	18 mois Ifremer	15.6	2.4



**Figure 21 : comparaison inter-sites des courbes de mortalités cumulées observées sur les 18 mois conservé depuis 2021 sur les 8 sites ECOSCOPA.**

## 4.2 Suivis des taux croissance

### 5.2.1 Courbes de croissance observées en 2022

Le poids initial du lot NSI commun déployé sur tous les sites en Mars 2022 était de 0,24g. Les poids atteints par ce lot sur les différents sites en Décembre 2022 sont présentés dans le **Tableau 4 et Figure**

22. On constate, comme les années précédentes, des écarts très importants entre les sites, avec un **poids moyen passant du simple à plus du triple entre Cancale (13.2g) et Gêfosse (43.8g)**. Ces différences se justifient par des apports nutritifs différents entre ces deux sites (voir conditions spécifiques observées à Cancale).

Tableau 4 : Poids total (g) atteint par le lot NSI sur les différents sites ECOSCOPA lors de la campagne 2022.

Secteur	Site	Lot	Poids total (g)	Écart-Type (g)
Baie des Veys	Géfosse	NSI 6 mois Ifremer	43.8	1.5
Baie du Mont Saint Michel	Cancale	NSI 6 mois Ifremer	13.2	0.6
Rade de Brest	Pointe du Chateau	NSI 6 mois Ifremer	23.1	4.4
Baie de Vilaine	Pénerf	NSI 6 mois Ifremer	21.3	2.0
Baie de Bourgneuf	Couperlasse	NSI 6 mois Ifremer	19.3	1.3
Marennes Oléron	Agnas	NSI 6 mois Ifremer	30.1	1.6
Bassin d'Arcachon	Le Tes	NSI 6 mois Ifremer	21.1	0.6
Étang de Thau	Marseillan est	NSI 6 mois Ifremer	20.6	1.4

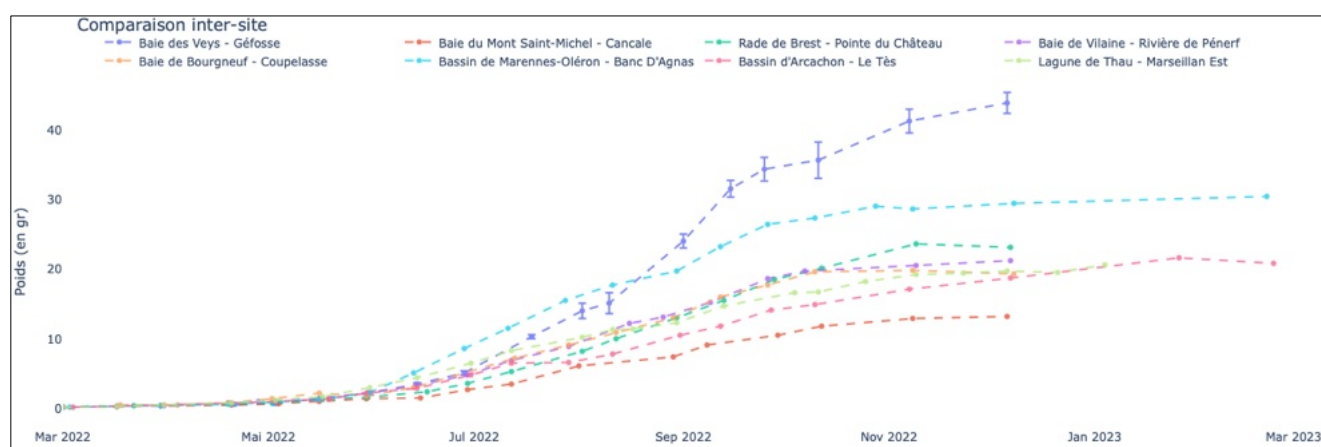


Figure 22 : Comparaison inter-sites des courbes de croissance observées sur le NSI déployés sur les 8 sites ECOSCOPA lors de la campagne 2022.

En ce qui concerne le lot 18 mois, qui a été conservé sur chacun des sites depuis 2021, les différences de croissances observées se sont maintenues (**Tableau 5** et **Figure 23**), avec les poids moyens les plus importants atteints par le site de Gêfosse en Baie des Veys. On note que certains sites ont moins poussé, tel que le site de d'Agnas (Marennes Oléron) qui partait pourtant avec un poids initial plus élevé, ou le site du Tès à Arcachon, ou de Couperlasse en baie de Vilaine. Des études complémentaires sont en cours pour analyser si les abondances d'algues nuisibles ou au contraire la raréfaction d'algues fourrages nécessaires à la croissance de l'huître peuvent expliquer cette hétérogénéité (I. Auby, A. Gangnery, com pers). Les anomalies détectées sur la courbe de croissance du site de l'étang de Thau sont probablement liées à des problèmes techniques pour mesurer la données (huîtres fixées sur cordes).

Tableau 5 : Poids total (g) atteint par les lots 18 mois maintenus sur les différents sites ECOSCOPA depuis la campagne 2021.

Secteur	Site	Lot	Poids Moyen (g)	Écart-Type (%)
Baie des Veys	Géfosse	NSI 6 mois Ifremer	75.3	1.1
Baie du Mont Saint Michel	Cancale	NSI 6 mois Ifremer	43.6	2.0
Rade de Brest	Pointe du Chateau	NSI 6 mois Ifremer	51.2	3.4
Baie de Vilaine	Pénerf	NSI 6 mois Ifremer	49.5	3.0
Baie de Bourgneuf	Couperlasse	NSI 6 mois Ifremer	35.3	5.0
Marennes Oléron	Agnas	NSI 6 mois Ifremer	42.1	2.8
Bassin d'Arcachon	Le Tes	NSI 6 mois Ifremer	44.2	3.6
Étang de Thau	Marseillan est	NSI 6 mois Ifremer	57.8	10.6



Figure 23 : comparaison inter-sites des courbes de croissance observées sur les lots 18 mois maintenus sur les différents sites ECOSCOPA depuis le déploiement lors de la campagne 2021

## 5.2.2 Comparaisons interannuelles des courbes de croissance

Pour la **classe d'âge NSI** (utilisée depuis 2015, après avoir utilisé du naissain naturel issu du captage d'Arcachon), la **Figure 24** indique que l'année 2022 constitue globalement **une bonne année de croissance pour les sites de Géfosse, Arcachon et Marseillan** (dont la comparaison des courbes de croissance peut être biaisées suite au changement de protocole pour suivre les pratiques cultures locales en 2013). A l'inverse, certains sites indiquent des **courbes de croissance largement inférieures aux années précédentes tels que Cancale, Pénerf ou Couperlasse**, même si l'absence de données pour les années 2019 et 2020 rend moins exhaustive la comparaison.



### Géfosse



### Cancal



### Rade de Brest



### Pénerf



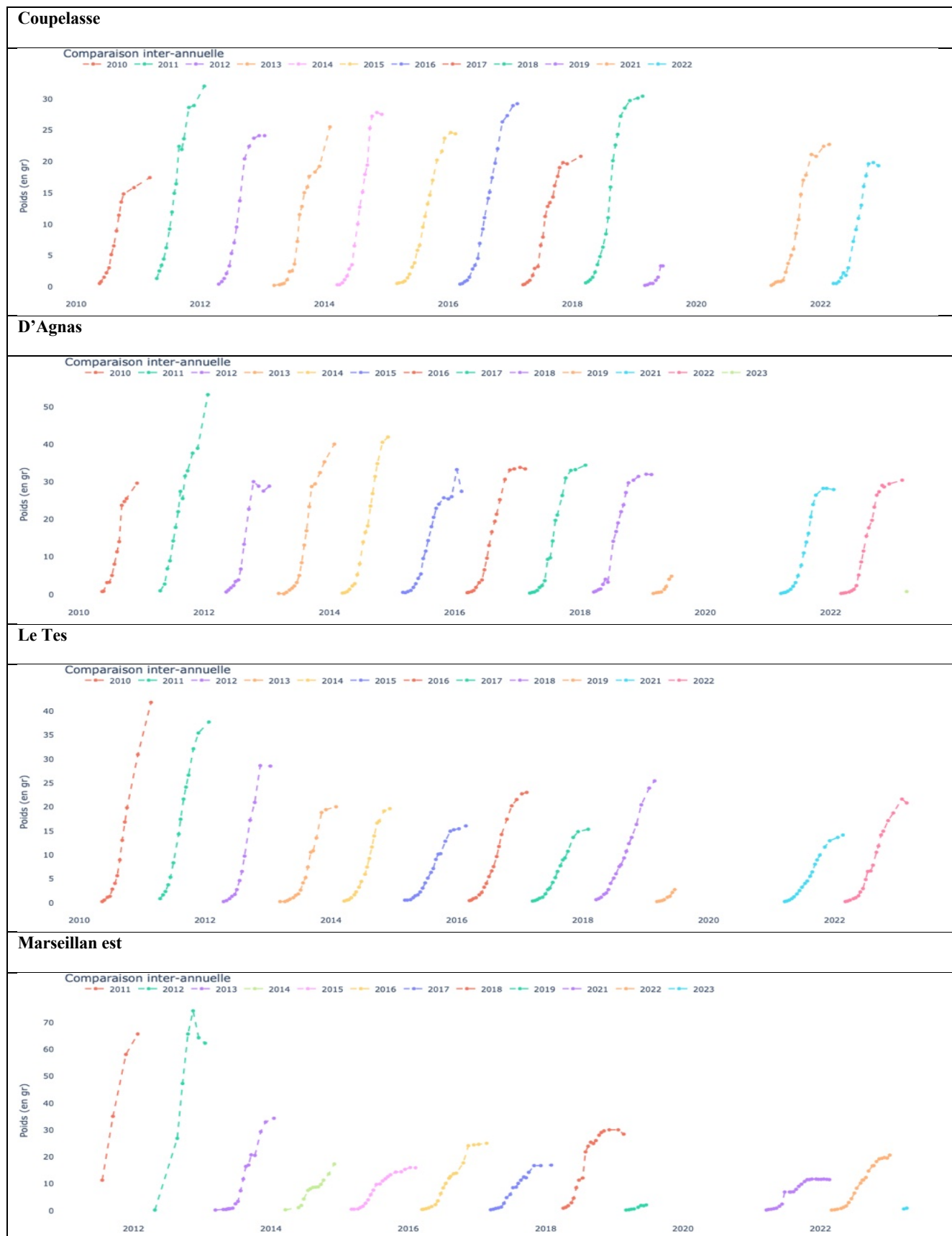
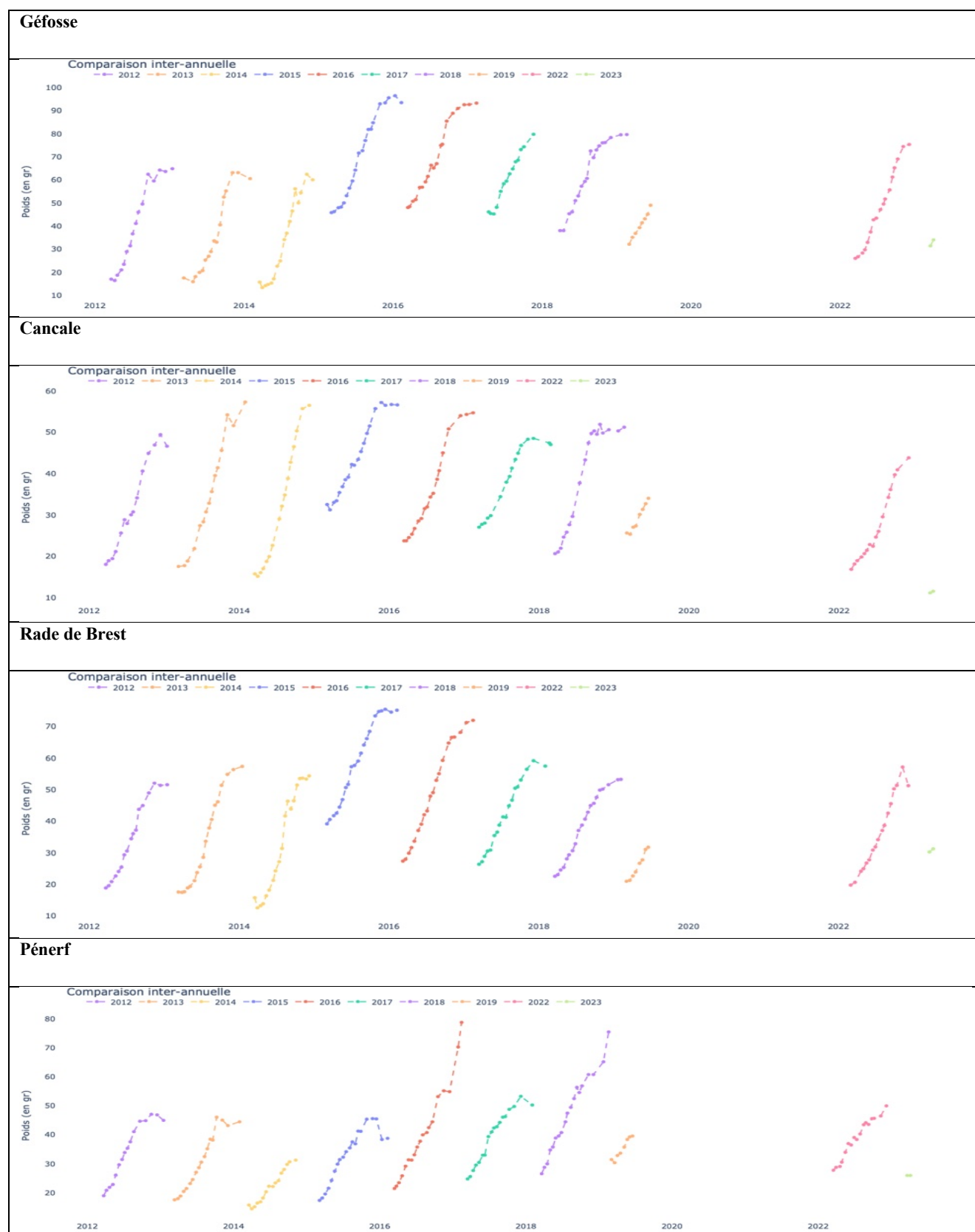


Figure 24 : Comparaison interannuelles des courbes de croissance observées sur les lots de naissain (CN Arcachon jusqu'en 2014 puis NSI depuis 2015) des différents sites ECOSCOPA.

En ce qui concerne le **lot 18 mois**, la comparaison des courbes de croissances obtenues sur les 10 dernières années est présentée en **Figure 25**.



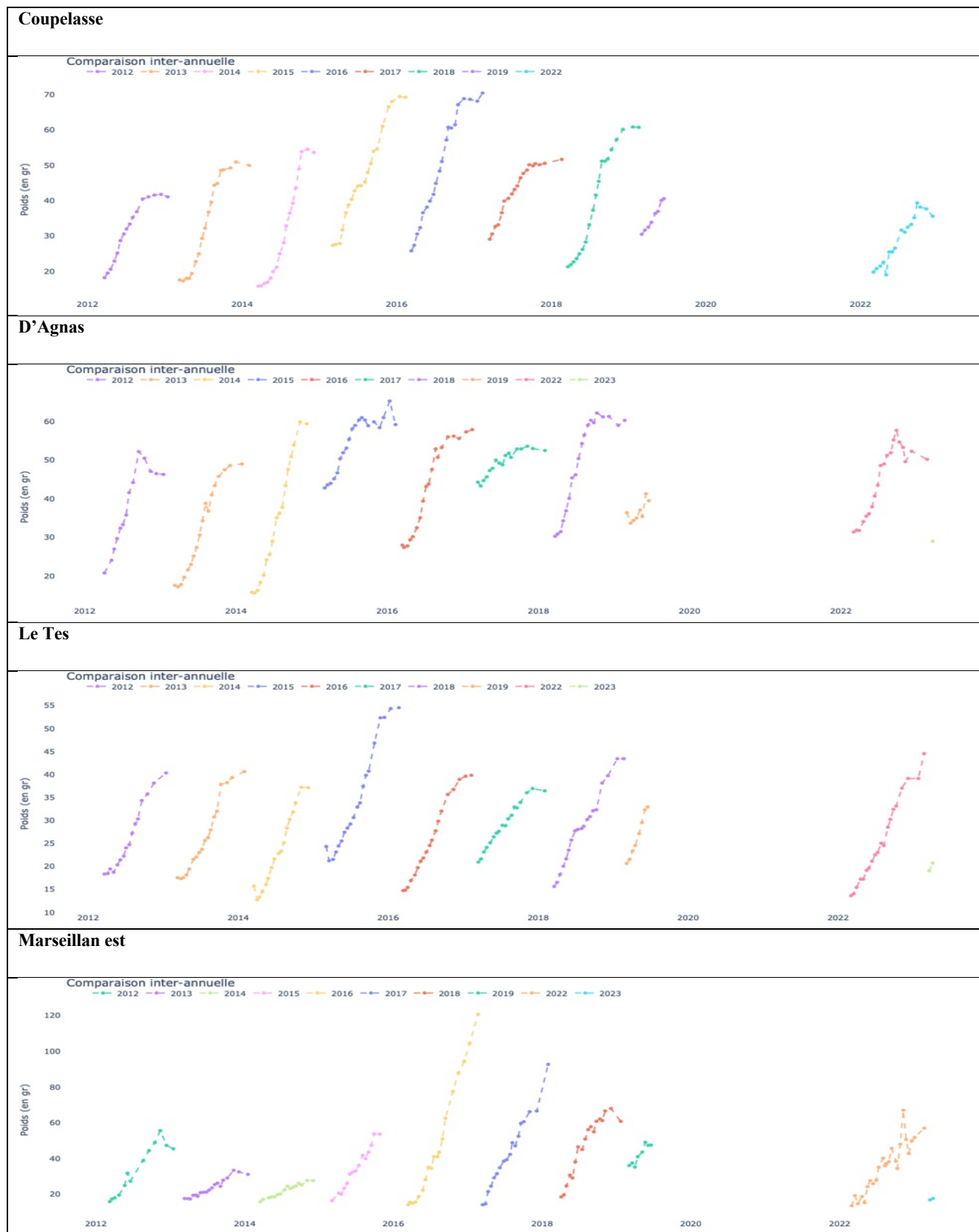


Figure 25 : Comparaison interannuelles des courbes de croissance observées sur les lots 18 mois (achetés chez un professionnel jusqu'en 2014, puis issu du maintien du NSI depuis 2015) (des différents sites ECOSCOPIA).

La comparaison des courbes de croissance pour les lots 18 mois est complexe car d'un part, il y a un changement de protocole en 2014 : à partir de l'année suivante, les lots 18 mois ne provenaient plus d'un lot issu d'un professionnel effectuant des transferts entre l'île d'Aix et Morlaix, mais de la conservation du lot de naissain déployé sur le site l'année précédente. De plus, comme pour le naissain, l'absence de données pour les années 2019 et 2020 fragilise la comparaison. Il faudra donc attendre des années de suivi supplémentaires pour voir si une tendance se dégage concrètement.

### 4.3 Analyse du lien entre survie et bathymétrie

#### 4.3.1 Réponses physiologiques et intracellulaires en fonction de la bathymétrie.

Au sein du suivi ECOSCOPA réalisé en rade de Brest, nous avons testé l'impact généré par la bathymétrie en positionnant du NSI sur **3 hauteurs d'estran** (bathymétrie : haut 5 m, milieu 3 m, **Figure 26**)

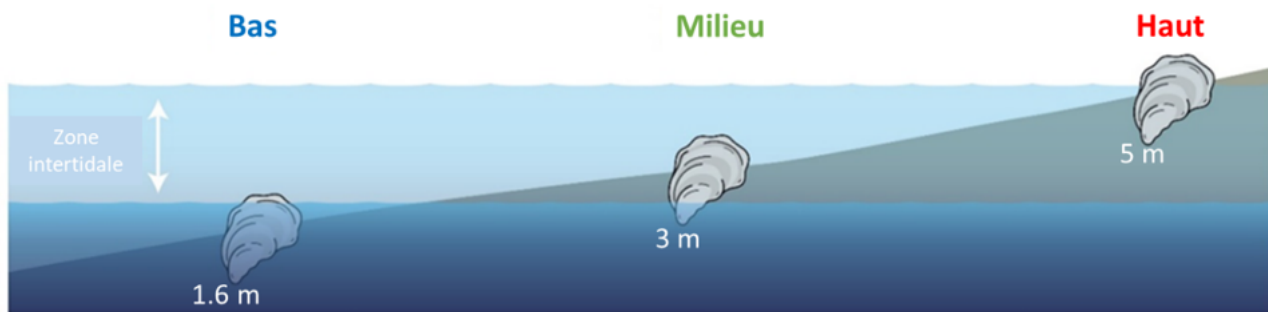


Figure 26 : Positionnement des lots NSI à 3 niveaux bathymétriques sur le site « Rade de Brest » du réseau ECOSCOPA.

Plus précisément, il a été démontré que la position intertidale (Haut et Milieu) rend les huîtres plus robustes car la bathymétrie modifie les réponses intracellulaires dans les organes de l'huître, en induisant des modifications de l'expression de certains signaux protéiques et métaboliques (gènes anti-viraux, métabolite anti-inflammatoire, gène anti-oxidant Cavortin, changements protéiques liés au métabolisme, à l'inflammation et à l'immunité) : ces résultats sont présentés en **Figure 27**.

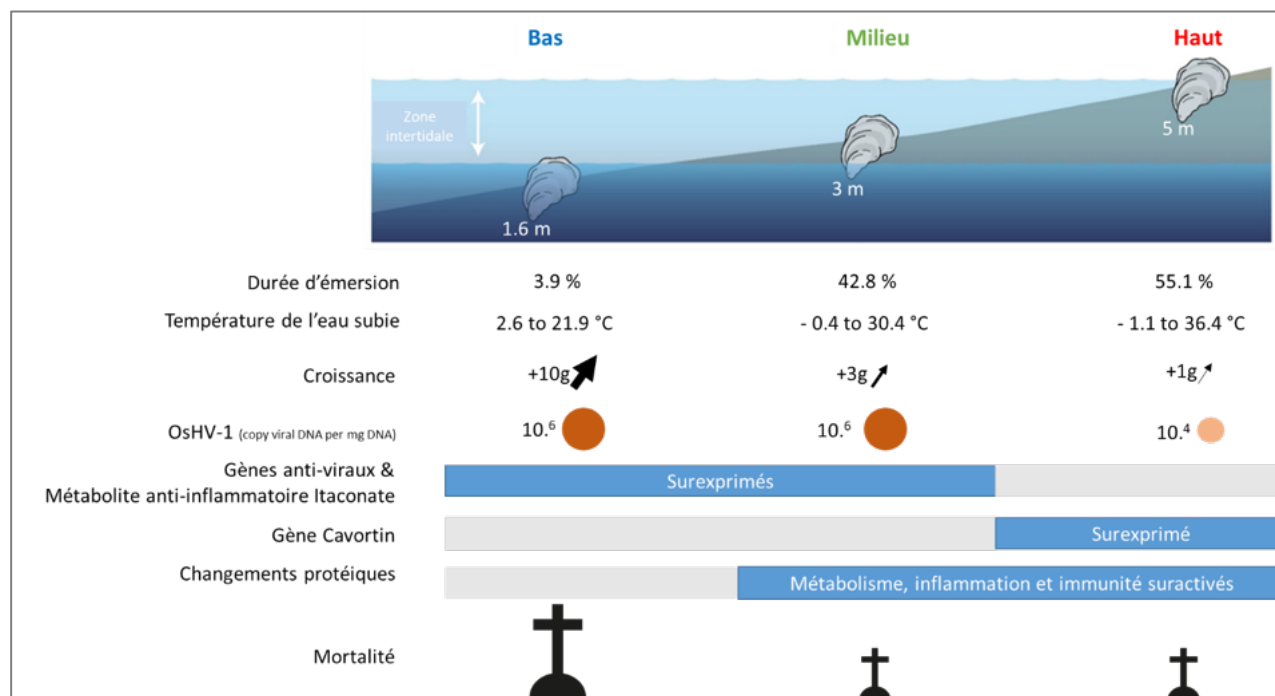


Figure 2715 : Comparaison des impacts induits par 3 niveaux bathymétriques (haut, milieu, bas) sur du NSI suivi sur le site ECOSCOPA de la Rade de Brest. Planche tirée de l'article Corporeau et al., 2022 <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105709>.

Dans cette zone intertidale, le naissain subit des variations très fluctuantes de son environnement, ce qui modifie la disponibilité en nourriture, en oxygène, la température interne et le pH interne des organes. Ces changements du microenvironnement induisent des réponses physiologiques importantes chez *C. gigas* qui s'adapte à ces conditions de multi-stress, qui grandissent moins mais qui résistent mieux aux maladies.

Il est donc confirmé que les performances conchycoliques sont liées à la bathymétrie (croissance, survie), mais ces résultats montrent aussi que des huîtres élevées en haut d'estran sont en meilleure santé, plus robustes face aux pathogènes, avec une croissance faible. Ces résultats laissent présager d'un risque probable encouru sur la santé des cheptels si les élevages ostréicoles se positionnent de plus en plus bas sur estran en conditions subtidales, afin d'accélérer la croissance des naissains au détriment de sa physiologie.

#### 4.3.2 Réponses phénotypiques en fonction de la bathymétrie.

Lors de la campagne ECOSCOPA 2022, de nouvelles analyses ont été réalisées sur les animaux positionnés selon le design présenté ci-dessus en rade de Brest (Figure 26) afin d'étudier d'éventuels ajustements phénotypiques induits par ces conditions, et ce à différentes échelles biologiques.

A l'échelle de l'organisme, l'étude des taux physiologiques a permis de caractériser la dépendance à la température des taux de filtration et du métabolisme des huîtres. Ainsi, la Figure 28 démontre que les individus du haut de l'estran (en jaune) présentent en moyenne une norme de réaction métabolique plus pentue que les individus du milieu (en gris) et bas de l'estran (en bleu). Ce résultat implique que les huîtres exposées régulièrement à des conditions aérienne (haut) doivent optimiser les opportunités favorables pour l'activité physiologiques en s'ajustant ainsi.

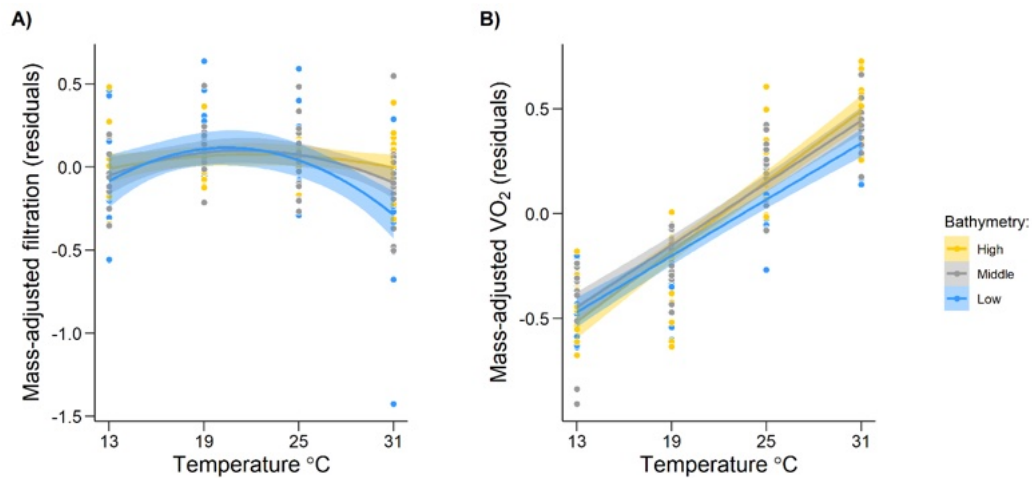


Figure 28 : Impact de la bathymétrie sur la dépendance des taux physiologiques à la température. A) Les comportements de filtration varient non-linéairement avec la température, indépendamment de la bathymétrie. B) Concernant le métabolisme, les huîtres maintenues en haut de l'estran présentent une sensibilité plus forte à la température.

En parallèle, à l'échelle cellulaire, ce résultat est soutenu par le constat les **NSI en haut de l'estran** semblent bénéficier de **mitochondries plus efficaces**, avec un contenu d'ATP similaire entre les 3 niveaux de l'estran malgré une densité mitochondriale faible.

Enfin, nous avons mis en évidence les **conséquences de ce gradient bathymétrique sur un marqueur du vieillissement** à l'échelle moléculaire : la longueur des télomères. Les télomères sont situés aux extrémités des chromosomes et servent à protéger la partie codante du génome. Ils vont s'éroder au cours du temps à mesure qu'un animal vieillit. Or, les analyses réalisées au cours de cette campagne 2022 indiquent que cette **érosion des télomères est ralentie pour les huîtres du haut d'estran**, en comparaison à des niveaux bathymétriques plus bas (**Figure 29**). Ce phénomène s'explique probablement grâce à un **métabolisme plus efficace** mais également un **niveau accru de défenses antioxydantes**.

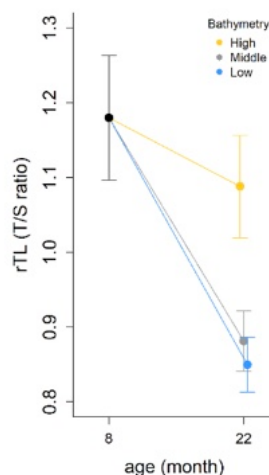


Figure 29 : Vieillesse cellulaire différentiel, ici mesuré par l'érosion des télomères qui diffère entre étage de l'estran.

## 5 Reproduction et recrutement de l'huître creuse (réseau VELYGER)

### 5.1 Maturation et indice de condition



Chez l'huître creuse, la gamétogenèse se déroule tout au long du printemps à la faveur du réchauffement printanier des eaux et des blooms de phytoplancton : on parle communément de maturation. Cette maturation conduit à un gain de chair ou engraissement (relativement à la croissance en coquille) qui se traduit par une augmentation de l'indice de condition, celui-ci devenant maximal juste avant la ponte (e.g. Thomas et al., 2016 ; Gourault et al., 2018).

La croissance printanière en chair et l'indice de condition sont des indicateurs ou proxies qui permettent de caractériser simplement la maturation et la fécondité potentielle d'une population d'huîtres pour une année et un site donnés. Ils présentent en outre l'avantage d'être aisés à obtenir par le biais de suivis réguliers sur des populations sentinelles ou d'échantillonnages aléatoires sur des populations naturelles.

Ensuite, en été, généralement à la faveur d'un choc thermique, l'huître émet ces gamètes lors du frai (appelé communément « ponte »). La quantité de gamètes émis par un géniteur (la fécondité), et notamment la quantité d'ovocytes, peut être un facteur déterminant dans l'abondance de jeunes larves et, dans les cas déficitaires, être à l'origine d'un faible recrutement pour un écosystème donné (e.g. Pouvreau et al., 2011 ; Maurer et al., 2011).

#### 5.1.1 Variabilité spatio-temporelle de la maturation : bilan décennal

La mise en place et le suivi régulier d'une population d'huîtres 'sentinelles', transplantée chaque année en fin d'hiver depuis 2008 dans chaque secteur conchylicole du réseau, a permis d'étudier la variabilité interannuelle et intersites de la croissance et de la reproduction et d'en déterminer ses principales causes (e.g. Thomas et al., 2016 ; Gourault et al., 2018). Tous les graphes de croissance (poids total, poids de coquille, poids de chair) et d'indice de condition, par site, par secteur et par année sont disponibles sur le site internet du réseau VELYGER : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : accès aux données.

La **Figure 30** ci-contre fournit aussi un récapitulatif de l'ensemble de ces suivis sur 10 années et 8 bassins ostréicoles. Chaque courbe se caractérise par une dynamique temporelle similaire : un gain de biomasse au cours du printemps, lié à la maturation (gamétogenèse), suivie d'une chute plus ou moins marquée au cours de l'été correspondant à la ponte (ou à une régression) et se terminant ou non par un engraissement automnal.

Sur le plan géographique, il ressort, indépendamment des années, que les sites de Baie des Veys, Rade de Brest et Pertuis Charentais présentent généralement les croissances (et les maturations) les plus fortes et à l'opposé les sites de Baie du Mont Saint Michel, Baie de Vilaine et Bassin d'Arcachon les croissances (et les maturations) les plus faibles. Par contre, aucune tendance temporelle significative ne se dégage sur les 10 années de suivis : certaines années présentent, indépendamment des sites, des valeurs systématiquement soient plutôt faibles (e.g. 2011, 2012, 2014) ou plutôt fortes (e.g. 2015, 2016) en relation avec la nature des blooms printaniers.

En outre, toutes ces courbes montrent, en cours d'été, un accident plus ou moins marqué et plus ou moins précoce ou tardif correspondant à l'émission principale des gamètes. Cet événement survient généralement en juillet sauf pour les sites les plus septentrionaux, pour lesquels il peut survenir en fin d'été ou bien être absent (année sans ponte).



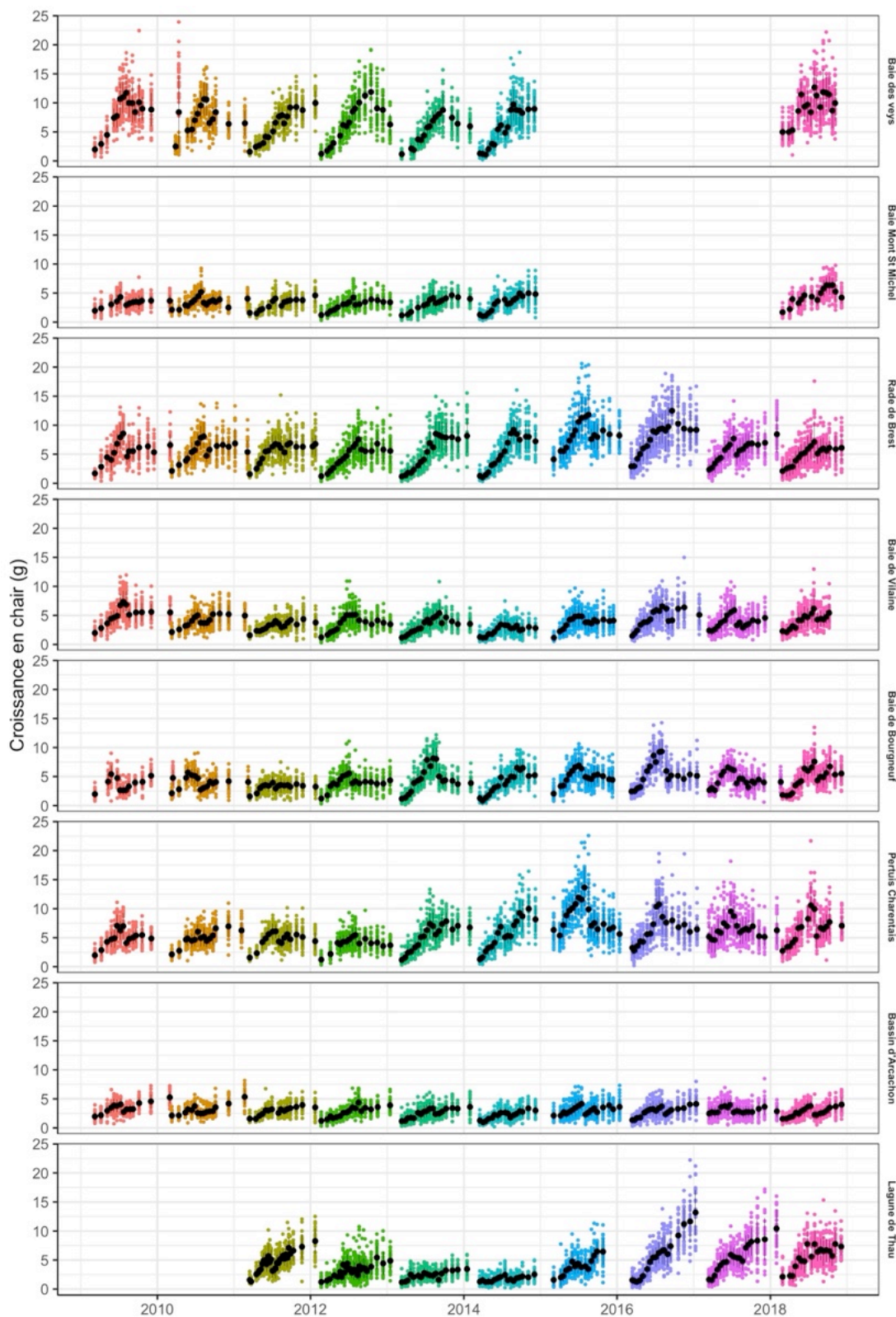


Figure 30 : Évolution et variabilité interannuelle et intersites de la croissance en chair, de la maturation et de la ponte d'une population d'huîtres sentinelles placée dans chaque secteur en début d'année. Les valeurs de croissance en chair avant ponte constituent un proxy de la fécondité potentielle de l'huître creuse. Cette planche fournit un récapitulatif sur 10 années de suivi.

## 5.2 Date de ponte



En début d'été, une fois la gamétogenèse achevée, l'émission des gamètes, communément appelée ponte (ou frai), survient généralement en réponse à des stimuli extérieurs. L'étude de l'effet des facteurs environnementaux stimulant l'émission des gamètes a fait l'objet de travaux assez anciens (His, 1976), ré-analysés récemment par Bernard et al. (2016). Il en ressort que les fortes amplitudes thermiques journalières associées aux marées de vives eaux apparaissent comme deux conditions favorisant des pontes massives et synchrones sur un même secteur. A l'inverse, des conditions thermiques moins contrastées entraînent généralement un retard de ponte, associé parfois à des phénomènes de pontes asynchrones et/ou partielles (tous les individus d'un

même banc ne pondent pas en même temps et certains n'émettent que partiellement leurs gamètes). En termes prévisionnels, les températures moyennes de l'eau de mer en début d'été constituent un bon proxy de la date de ponte (e.g. Auby et Maurer, 2004 ; Pouvreau et al., 2011). Dans la perspective du changement climatique, nombres de phénomènes périodiques risquent d'être perturbés dans le monde du vivant : l'étude de ces phénomènes périodiques s'appelle la phénologie. La date de ponte est un évènement phénologique d'intérêt car il va conditionner la période d'apparition des larves et donc leurs conditions de vie, ce qui peut impacter le succès du recrutement. Le suivi de la date de ponte fait donc l'objet d'une analyse toute particulière dans le cadre du réseau VELYGER. Elle est obtenue assez précisément par l'observation des premiers pics importants de larves dans la colonne d'eau.

Les deux figures ci-dessous montrent la relation, actualisée pour 2022, entre la température moyenne de l'eau de mer en Juin et le jour d'observation de la ponte principale. Les valeurs pour l'année se positionnent dans la partie basse du nuage de points pour chaque secteur et de façon logique corrélativement à la température. Ainsi, les pontes ont été pour l'ensemble des secteurs plutôt précoces en lien avec les valeurs thermiques excédentaires à cette période. En outre, depuis le début du réseau, on constate pour chaque secteur étudié, les résultats suivants :

- La Lagune de Thau présente toujours les pontes les plus précoces généralement en juin.
- A l'opposé, la Rade de Brest présente les pontes les plus tardives parfois fin août.
- La Baie de Bourgneuf, les Pertuis Charentais, le Bassin d'Arcachon occupent des positions intermédiaires avec une variabilité interannuelle importante expliquée en partie seulement par la température.

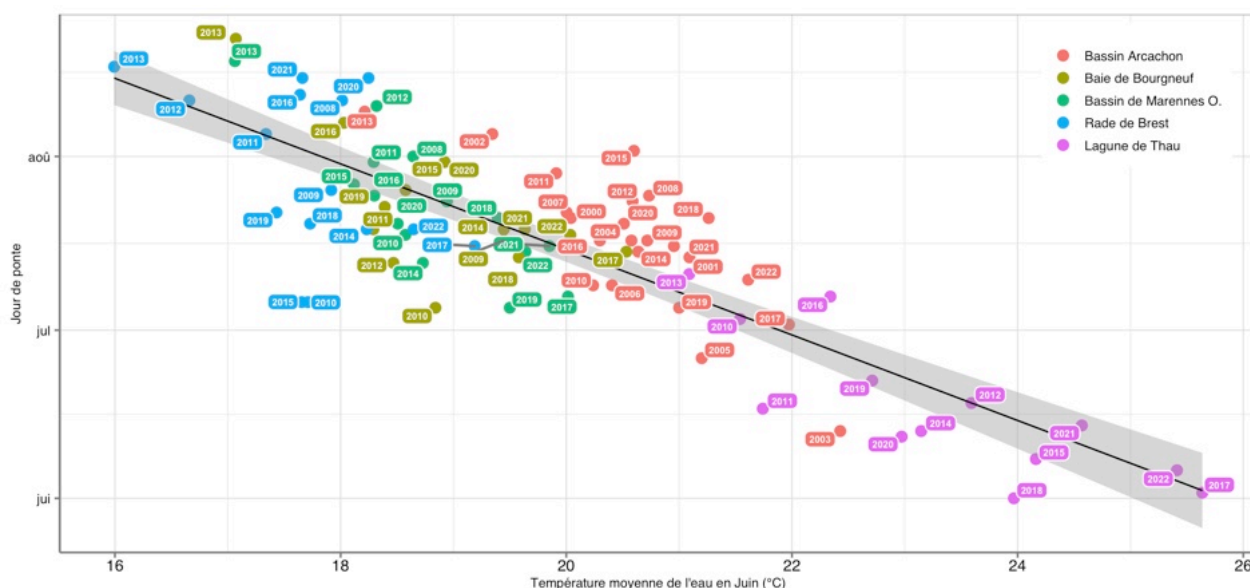
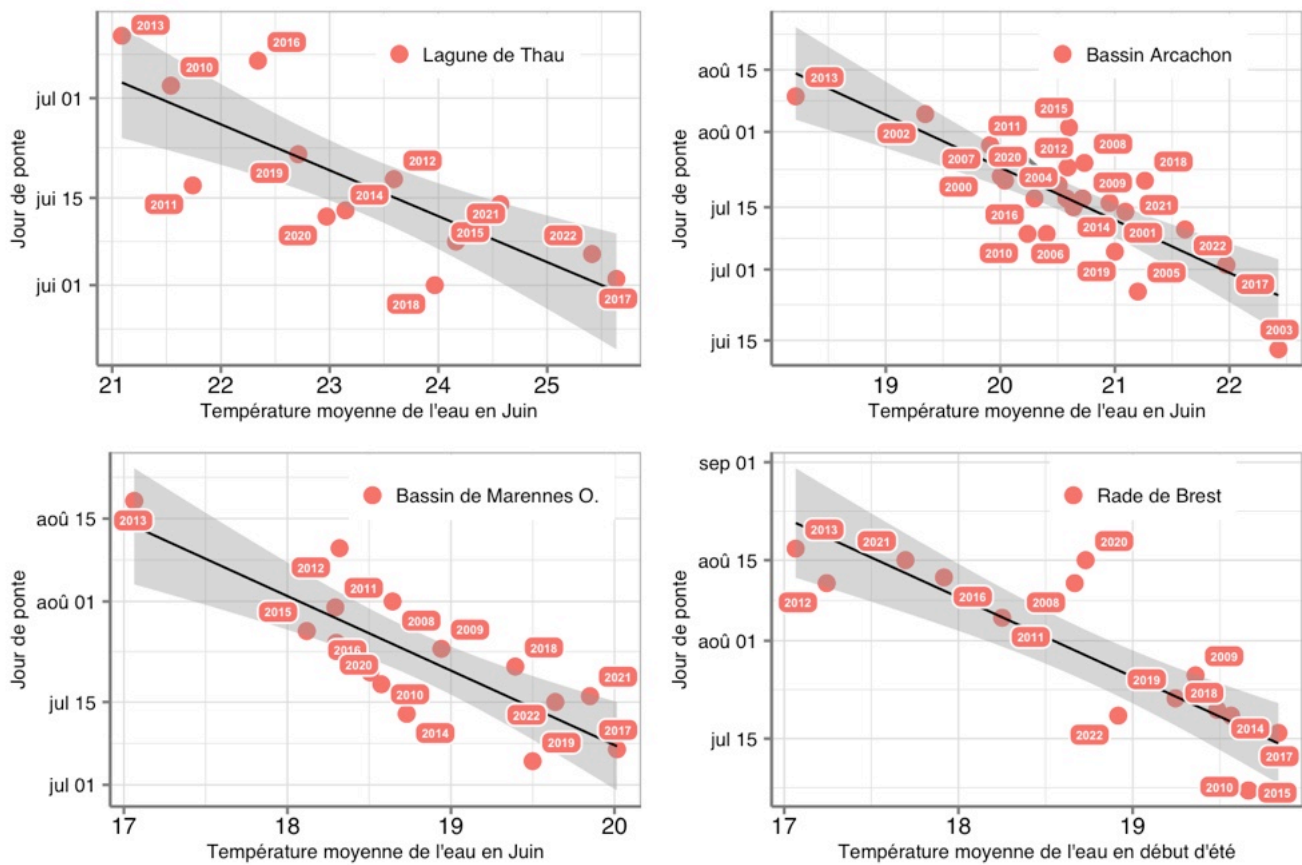


Figure 31 : Relation entre la température de l'eau au moins de juin (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence) et la date d'émission principale des gamètes, tous sites et années confondus. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir des suivis d'abondances de larves (notamment l'apparition du premier pic de larves).



**Figure 32 : Relation détaillée entre la température moyenne de l'eau au moins de juin (moyenne issue des données journalières de sonde haute fréquence) et la date d'émission principale des gamètes, par secteur et toutes années confondues. La date d'émission des gamètes est obtenue à partir des suivis d'abondances de larves (notamment l'apparition du premier pic important de larves). Notez que pour le site le plus septentrional, on utilise dans cette figure la température de début d'été (20 juin - 10 juillet).**

## 5.3 Abondance, développement et survie des larves



Après l'émission des gamètes et la fécondation, les larves se développent dans la colonne d'eau et leur concentration diminue de façon exponentielle tout au long de la vie larvaire en fonction de deux facteurs majeurs : (1) la durée du développement larvaire, communément appelée « PLD » (Pelagic Larval Duration), liée à la température de l'eau et aux conditions nutritives (cf précédents rapports); (2) la « survie » générale des larves sur l'été, calculée de façon approchée par le rendement entre l'abondance de larves grosses et celle de larves petites. Ce paramètre est lié à la température moyenne de l'eau au cours du développement larvaire, aux conditions hydrodynamiques (forcées par les coefficients de marée et les régimes de vent régnant sur le secteur), aux conditions trophiques (en liaison avec la compétition) et enfin à la prédation, la présence de pathogènes et/ou de contaminants (e.g., Auby et Maurer, 2004 ; Pouvreau et al., 2011). Nous nous intéressons ici aux seuls effets des facteurs hydrologiques, notamment celui de la température, considéré comme dominant et important dans le contexte du réchauffement climatique.

### 5.3.1 Variabilité spatio-temporelle de l'abondance larvaire

L'ensemble des graphes d'abondance larvaire, par stade, par site, par bassin, par année est disponible depuis 2008 sur le site Internet de VELYGER : <http://www.ifremer.fr/velyger>, dans la rubrique : **accès aux données**. Nous ne présentons, dans cette partie, que des graphes de synthèse permettant (1) de comparer aisément l'année en cours par rapport aux années antérieures et (2) de présenter l'évolution des abondances sur le moyen terme afin d'identifier d'éventuelles tendances temporelles. En fin de paragraphe, une figure traite de la relation entre le stade 'larves évoluées' et le stade 'larves grosses'. Pour cette relation, on privilégie les données de larves au stade 'évoluées' plutôt qu'au stade 'petites' (ce dernier présente parfois un biais d'échantillonnage liés à la dynamique spatio-temporelle très rapide d'apparition de ce stade).

#### ○ Abondance larvaire de l'année écoulée et comparaison avec les années antérieures

Dans un premier temps, la **Figure 33** permet d'analyser les concentrations larvaires moyennes observées sur l'été par rapport à celles des années antérieures sur chacun des secteurs et pour chaque stade d'évolution larvaire. Il ressort que :

- Pour le premier stade (« **larves petites** »), les secteurs présentent des **valeurs plutôt élevées** cette année : soit un peu au-dessus des normales (Marennes), soit franchement dans les quartiles supérieurs (Rade de Brest, Arcachon, Bourgneuf, Thou).
- Au cours du **développement larvaire**, cette répartition peut évoluer en fonction des conditions environnementales rencontrées. En 2022, on note **rapidement une diminution marquée des quantités de larves en baie de Bourgneuf** comme en 2021, une **relative stabilité dans les autres secteurs**, conférant une bonne abondance de larves au stade moyenne.
- En **fin de développement larvaire**, les concentrations en larves grosses sont donc **plutôt élevées à Brest et à Arcachon**, proches de 100 larves grosses/1,5m<sup>3</sup>. Pour les autres secteurs, **les valeurs sont plutôt faibles (rade de Brest et bassin d'Arcachon) voire nulles pour la Baie de Bourgneuf**, ce qui positionne l'année 2022 comme l'une des plus basses années pour ce secteur.

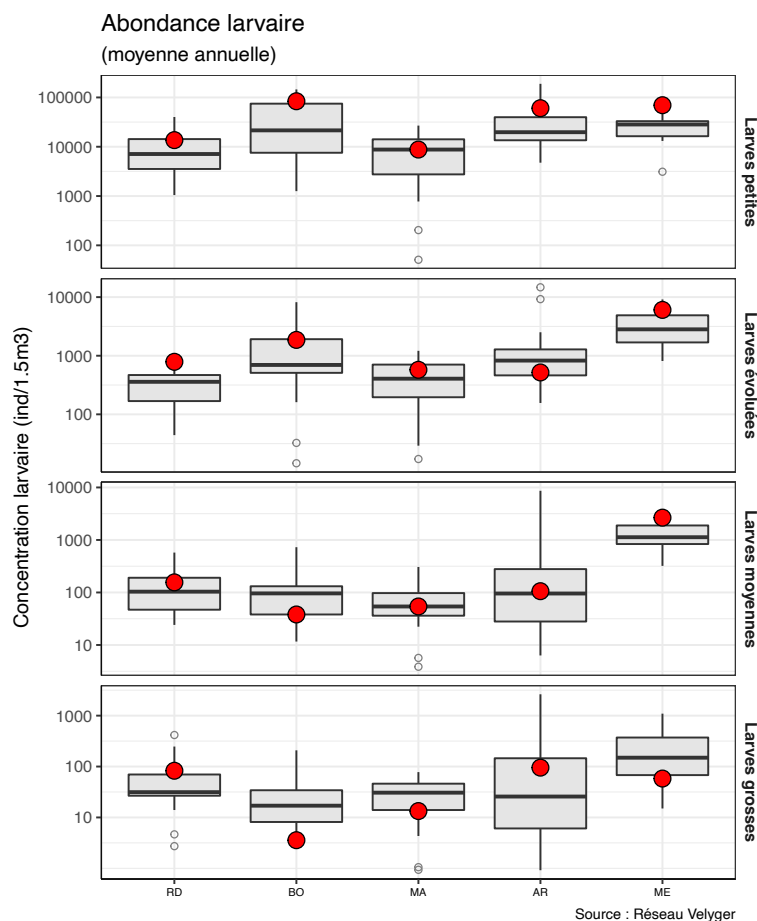
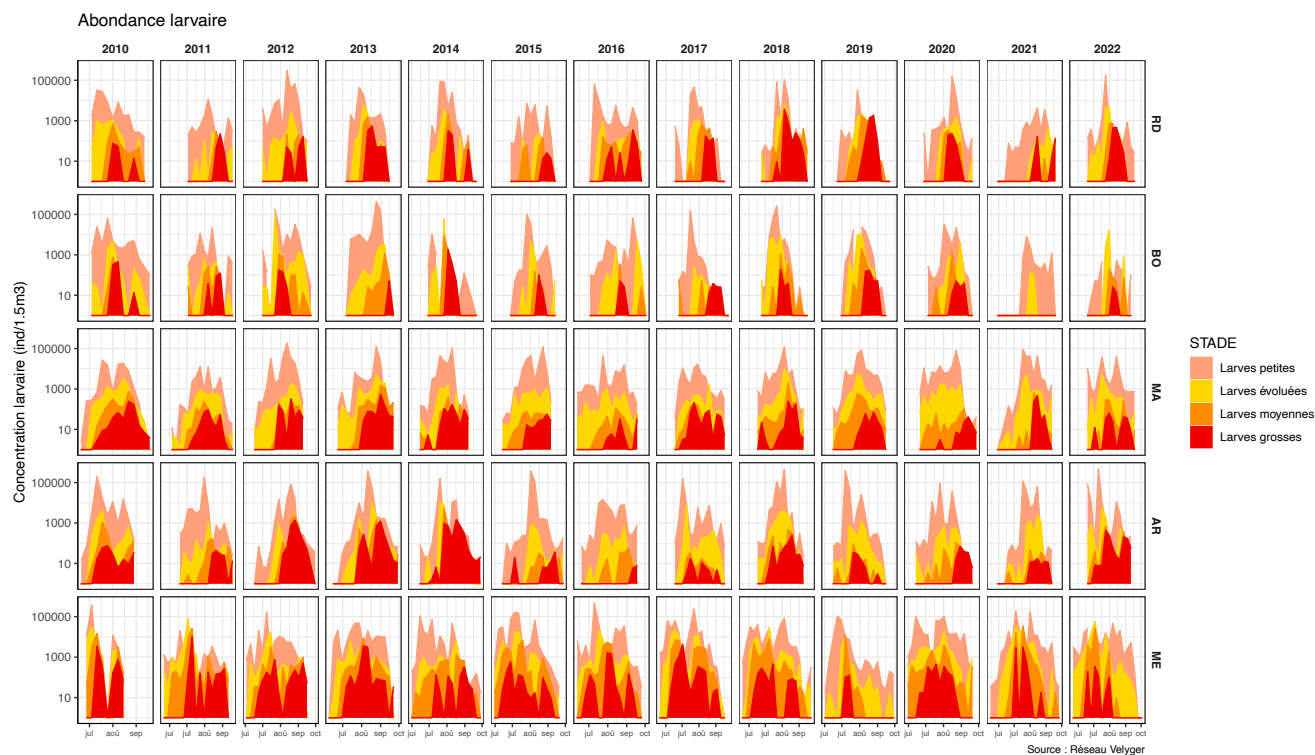


Figure 33 : Abondance larvaire (Nb larves évoluées/1,5 m<sup>3</sup>) observée au cours de l'année 2022 et comparaison avec les années antérieures. Graphe supérieur : distribution temporelle des valeurs observées pour chaque année, pour chaque secteur et pour chaque stade d'évolution larvaire. Graphe inférieur : boîte à moustaches présentant la distribution des valeurs moyennes pour chaque secteur et chaque stade d'évolution larvaire (l'année en cours est symbolisée par le point rouge).

○ Tendance temporelle sur le long terme

En complément, les deux figures suivantes montrent l'évolution sur le long terme des abondances larvaires moyennes, pour chaque stade de développement et chaque secteur. Il ressort de l'analyse de cette figure :

- **L'absence de tendance décennale marquée pour les stades "larves petites" et "larves évoluées"** : les concentrations larvaires présentent des distributions assez stables dans le temps indépendamment du secteur d'étude ;
- Une **plus grande variabilité interannuelle est observée pour les stades "larves moyennes" et "larves grosses"**, mais là aussi aucune tendance sur le long terme. Il convient cependant de noter que depuis 5 années consécutives, les concentrations en larves grosses sont plutôt faibles en Baie de Bourgneuf.
- La **Rade de Brest, le Bassin de Marennes-Oléron et la lagune de Thau présentent des variations un peu plus cycliques dans les abondances de larves évoluées, moyennes et grosses**, les valeurs de ces dernières années sont plutôt plus élevées.

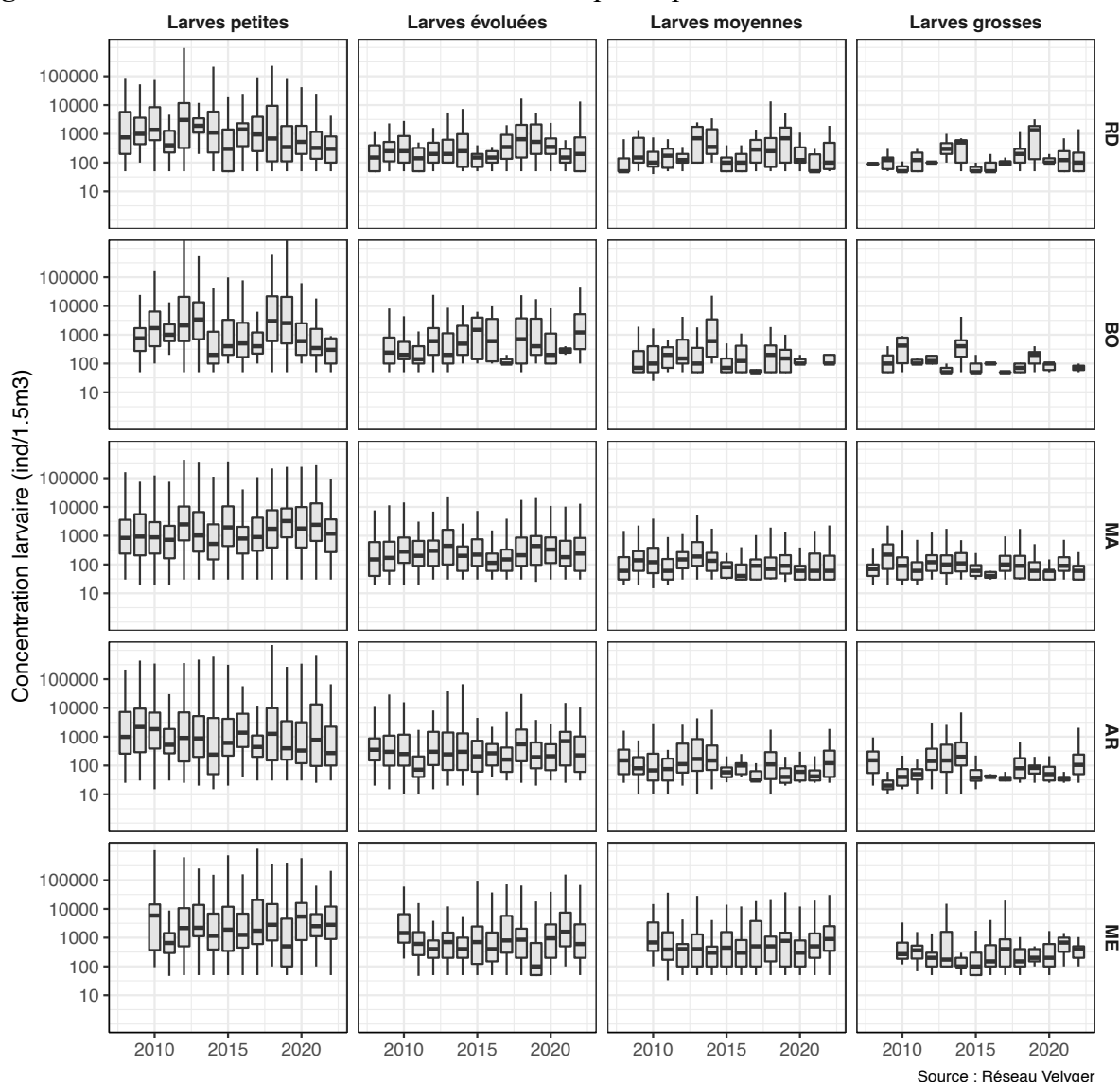
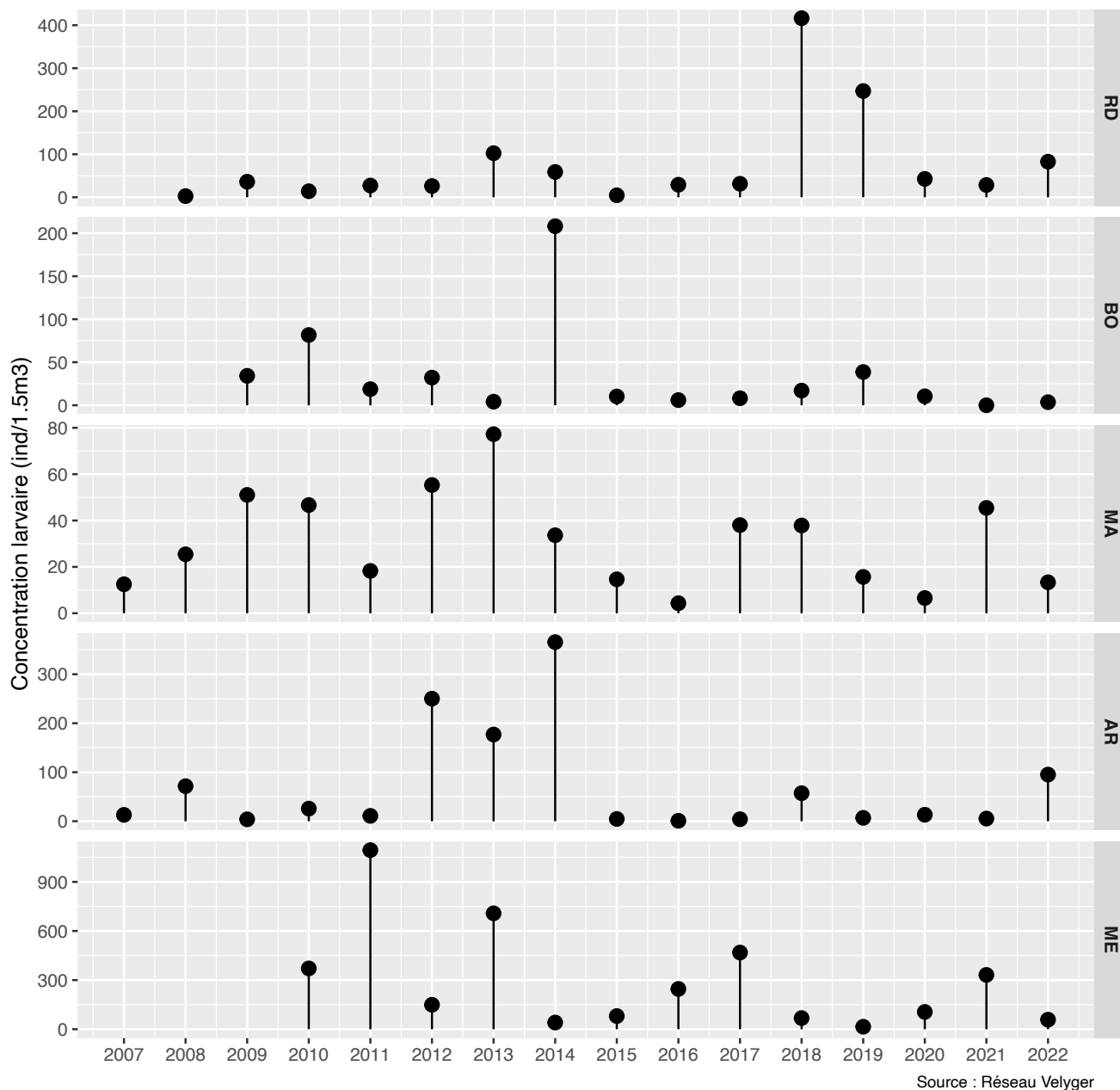


Figure 34 : Évolution des abondances moyennes de larves sur l'été pour chaque stade et pour chaque secteur depuis la mise en place du réseau national en 2008.

### Abondance moyenne de larves grosses



Source : Réseau Velyger

**Figure 35 : Évolution décennale des abondances moyennes de larves au stade "Grosse" sur l'été pour chaque secteur. Noter la faible concentration en larves grosses sur le Bassin d'Arcachon ainsi qu'en Baie de Bourgneuf ces dernières années, ainsi que l'évolution plus cyclique pour les autres secteurs.**

## 5.4 Estimation du recrutement annuel



Le recrutement est l'étape ultime du cycle de reproduction d'une espèce, il conditionne le renouvellement d'une population. La complexité du recrutement réside dans le nombre important et cumulatif de chaque processus impliqué : (1) la fécondité et la période de ponte des adultes (2) l'abondance, le transport et la survie larvaire, (3) les facteurs contrôlant l'installation ou la fixation. De plus, ces processus sont non-linéaires, interagissent plus ou moins (chaîne de facteur) et opèrent à différents niveaux d'échelle spatiale et temporelle (e.g., Pineda et al., 2008). Si le recrutement échoue plusieurs fois de suite, la population décline et peut disparaître surtout si d'autres facteurs défavorables s'additionnent, par exemple, des facteurs liés aux pressions anthropiques multiples et variées (e.g. Sale, 1991). Par contre, dès que les conditions redeviennent favorables à la vie larvaire, la forte fécondité individuelle caractéristique fréquente chez les invertébrés marins suffit à reconstituer rapidement de nouvelles populations (e.g. Hugues et al., 2000). Derrière toutes ces notions fondamentales, se cache une vraie discipline de l'écologie marine : la 'supply-side ecology' (e.g. Grosberg & Levitan, 1992, Underwood & Fairweather, 1989) communément reprise dans la thématique du déterminisme du recrutement. Les travaux montrent progressivement qu'une partie importante de la variabilité du recrutement est liée à l'influence des facteurs de l'environnement sur les premiers stades de développement (e.g. Blenckner

& Hillebrand, 2002 ; Stenseth et al., 2003 ; Lehodey et al., 2006 ; Menge et al., 2009). Compte tenu du contexte du changement global, l'intérêt pour l'étude du déterminisme environnemental du recrutement est, on ne peut plus, d'actualité. Dans le monde ostréicole, ce processus biologique est appelé "Captage" et il est le résultat du recrutement cumulé obtenu sur des collecteurs posés au cours de l'été. Chaque année, des campagnes d'échantillonnage sont effectuées, en période automnale (octobre-novembre) dans chaque bassin afin d'estimer l'intensité du captage obtenu. La méthodologie utilisée sur chaque site est adaptée de Maurer et al. (2009b). Pour le suivi en milieu naturel, là où il n'y a pas de parcs de captage (Côte Ouest Cotentin), la méthode est celle présentée par Pien et al (2016). Elle permet d'évaluer le recrutement obtenu sur les rochers.

### 5.4.1 Relations entre l'abondance de larves grosses et l'intensité du captage

La **Figure 36** présente les **relations entre la concentration moyenne en larves au stade « Grosses » obtenue au cours de l'été pour un secteur donné et l'intensité du recrutement cumulé (sur coupelle) estimé à l'automne sur ce même secteur** (nombre total de naissain incluant individus morts et vivants). Elle permet aussi d'établir, dès la fin de l'été, une prévision du captage à l'automne. Il convient de noter que cette figure ne présente que les relations pour lesquelles nous disposons de série de données de larves et de recrutement assez longues.

De façon schématique et simplifié, cette figure générale permet d'extraire un schéma général, dépendant du secteur étudié. Pour la rade de Brest et la baie de Bourgneuf, les relations sont assez claires et les cas de figures très contrastés. En général, on distingue trois possibilités :

- Une abondance de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, inférieure ou proche de 10 larves/1,5m<sup>3</sup> entraîne un recrutement faible avec un captage généralement inférieur ou proche de 10 naissains par coupelle (nombre total incluant les naissains morts et vivants). C'était notamment le cas pour le secteur de Bourgneuf en 2020 et 2021, et la situation s'est empirée en 2022.
- Une abondance moyenne de larves grosses entre 10 et 100 larves/1,5m<sup>3</sup> fournit généralement un recrutement modéré avec un captage compris entre 10 à 100 naissains par coupelle.
- Une abondance de larves grosses au-delà de 100 larves/1,5m<sup>3</sup> soutient un recrutement fort et un captage supérieur à 100 naissains par coupelle, qualifié d'excellent voire d'exceptionnel pour ces secteurs. C'est le cas pour le secteur Rade de Brest en 2022.

Pour les bassins d'Arcachon et de Marennes, les relations entre ces deux proxys sont moins directes, même si une relation globale existe malgré tout. Cette relation est cependant peu significative pour le bassin de Marennes, puisque la gamme de variations des concentrations larvaires plus faible entraîne



une plus faible variabilité dans les valeurs de captage. Néanmoins, on peut retenir ces **trois cas de figures** :

- Une **abondance de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, inférieure ou proche de 10 larves/1,5m<sup>3</sup>** entraîne un **recrutement faible à modéré** se traduisant par un **captage généralement compris entre 10 et 100 naissains par coupelle** (nombre total incluant les naissains morts et vivants). Dans certains cas, on peut observer des valeurs très faibles proches de 1 larve/1,5m<sup>3</sup>, et dans ce cas, le captage sera faible.
- A l'inverse, une **abondance de larves grosses, sur l'ensemble de l'été, supérieure à 100 larves/1,5m<sup>3</sup>** entraîne un **recrutement modéré à fort et un captage généralement supérieur à 100 naissains par coupelle** (nombre total incluant les naissains morts et vivants). C'est notamment **le cas pour le bassin d'Arcachon cette année**. Dans certains **cas exceptionnels**, on peut observer **des valeurs très fortes largement supérieures à 100 larves/1,5m<sup>3</sup>** en moyenne sur tout l'été. Dans ces conditions, **le captage devient pléthorique** et peut passer la barre des 1000 naissains par coupelle.
- Et **entre ces deux situations extrêmes**, lorsque **les concentrations de larves sur l'ensemble de l'été sont comprises entre 10 et 100 larves/1,5m<sup>3</sup>**, le **captage est modéré autour d'une centaine de naissains par coupelle**. C'est le cas cette année 2022 pour le secteur Charente.

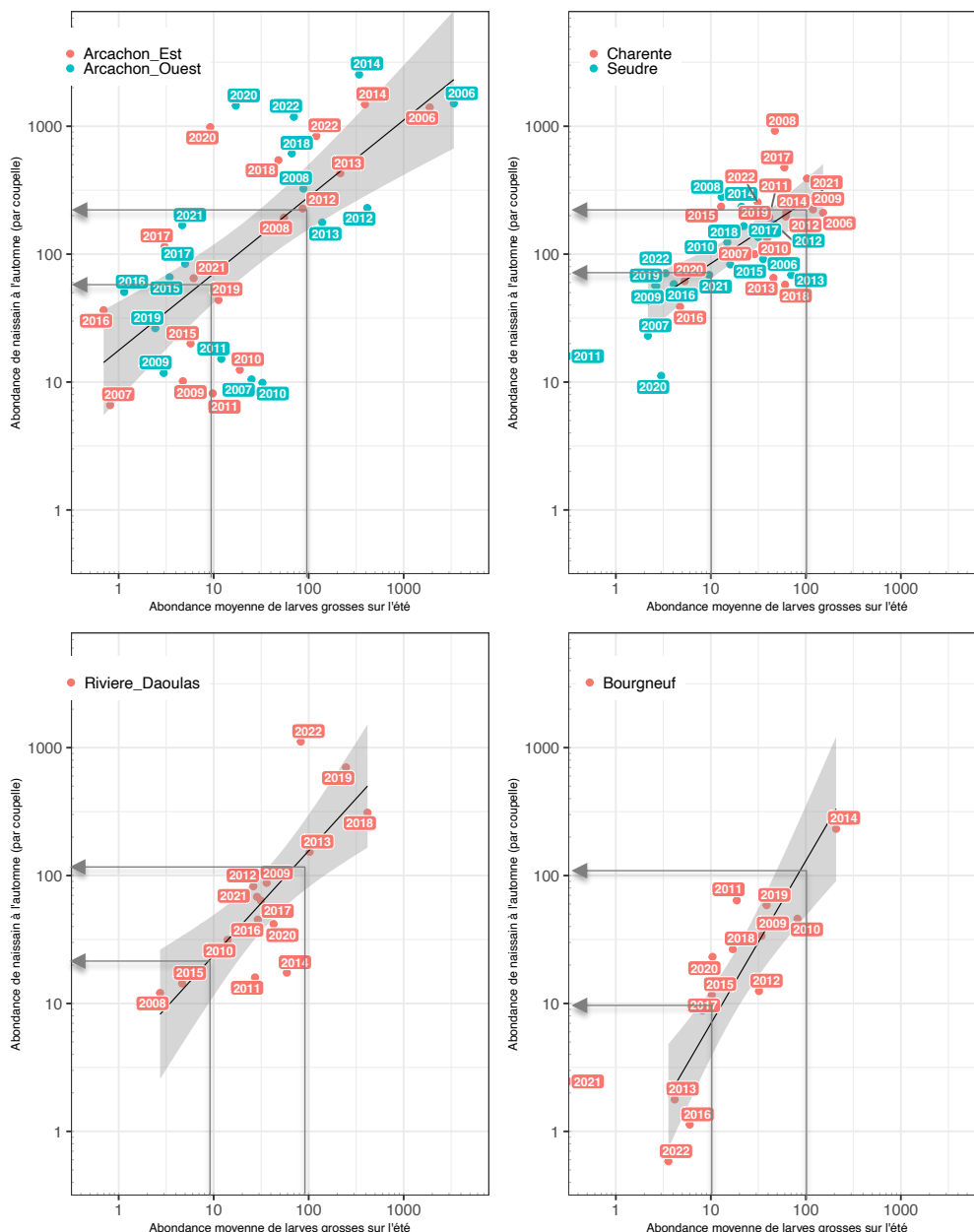


Figure 36 : Relation entre l'abondance moyenne de larves grosses au cours de l'été (pour 1.5 m3) et l'intensité du captage estimé à l'automne (nombre total de naissain exprimé en équivalent coupelle) pour chaque principal secteur du réseau VELYGER. Les valeurs pour la Lagune de Thau et la côte Ouest Cotentin ne sont pas représentées ici pour les raisons suivantes : sur la lagune de Thau, la variabilité du recrutement est très variable et reste encore liée à la pratique du captage par les professionnels (technique et calendrier de pose des collecteurs, méthode d'exondation, durée d'immersion totale), pour la côte Ouest cotentin et la baie de Vilaine, les abondances larvaires ne sont pas suivies pour l'instant.

## 5.4.2 Comparaison à l'échelle nationale et tendance temporelle

La Figure 37 synthétise, pour chaque secteur, les résultats du recrutement sur l'année écoulée et la série temporelle associée obtenue depuis le début du réseau VELYGER. Il ressort pour cette année que :

- La Rade de Brest se caractérise par **un recrutement fort**, avec des valeurs moyennes de captage record comprises selon les secteurs 1116 et 1955 naissains par coupelle. Sur ce secteur, la dernière

décennie ne compte plus d'année sans recrutement comme c'était encore le cas au début du siècle. Le secteur de l'Aulne très particulier présente systématiquement des valeurs supérieures (cette année plus de 1000 naissains par coupelle).

- Les données du recrutement 2022 sur la côte Ouest Cotentin ne sont pas totalement fiabilisées et nécessite une contre visite au printemps, mais il est probable, au regard des premières visites sur estran, que le **recrutement modéré**, là aussi la dernière décennie présente des valeurs souvent significatives, alors que ce secteur ne recrutait pas les décennies précédentes.
- La Baie de Vilaine a été suivie pour la 7<sup>ième</sup> année consécutive par le bureau d'étude Cochet-environnement. Sur ce secteur, le recrutement y est, cette année, **modéré** avec en moyenne 53 naissains par coupelle. Tout comme la rade de Brest, il semble que ce secteur soit plutôt favorable au recrutement de l'espèce et à la pratique du captage, mais avec des irrégularités entre les années avec des performances intermédiaires entre la baie de Bourgneuf et la rade de Brest.
- La Baie de Bourgneuf présente, cette année, **un recrutement très faible** avec des valeurs de 1 naissains par coupelle. Ces résultats font partis des valeurs les plus faibles observées sur ce site, qui continue de se caractériser par une très grande variabilité.
- Les Pertuis Charentais sont caractérisés cette année, par **un recrutement modéré**, avec des valeurs moyennes, selon les secteurs, comprises entre 71 et 255 naissains par coupelle. Ce secteur est généralement caractérisé par une relative stabilité du recrutement (au moins le secteur Charentes).
- Le Bassin d'Arcachon est caractérisé cette année par **un recrutement fort**, avec des valeurs moyennes comprises entre 838 à 1184 naissains par coupelle selon les secteurs. Ces valeurs sont beaucoup plus fortes que l'an dernier et font parties des valeurs les plus fortes, ce qui confirme le caractère très contrasté de ce bassin vis à vis du captage, avec une alternance de bonnes et mauvaises années.
- La Lagune de Thau est souvent caractérisée par **un recrutement très variable** tant sur le plan spatial que temporel. Certaines années et sur certains sites les valeurs peuvent être élevées, e.g. 2017 et 2018 sur Bouzigues. En 2019, le recrutement avait été inexistant pour toute la lagune en lien à un épisode caniculaire particulièrement intense. L'année 2022, de façon similaire à 2021, revient vers des conditions plus normales avec un captage variable de 28 naissains par coupelle. Progressivement, **les techniques de captage se stabilisent sur ce site particulier émergent**, sur lequel quelques ostréiculteurs pratiquent l'activité de captage.

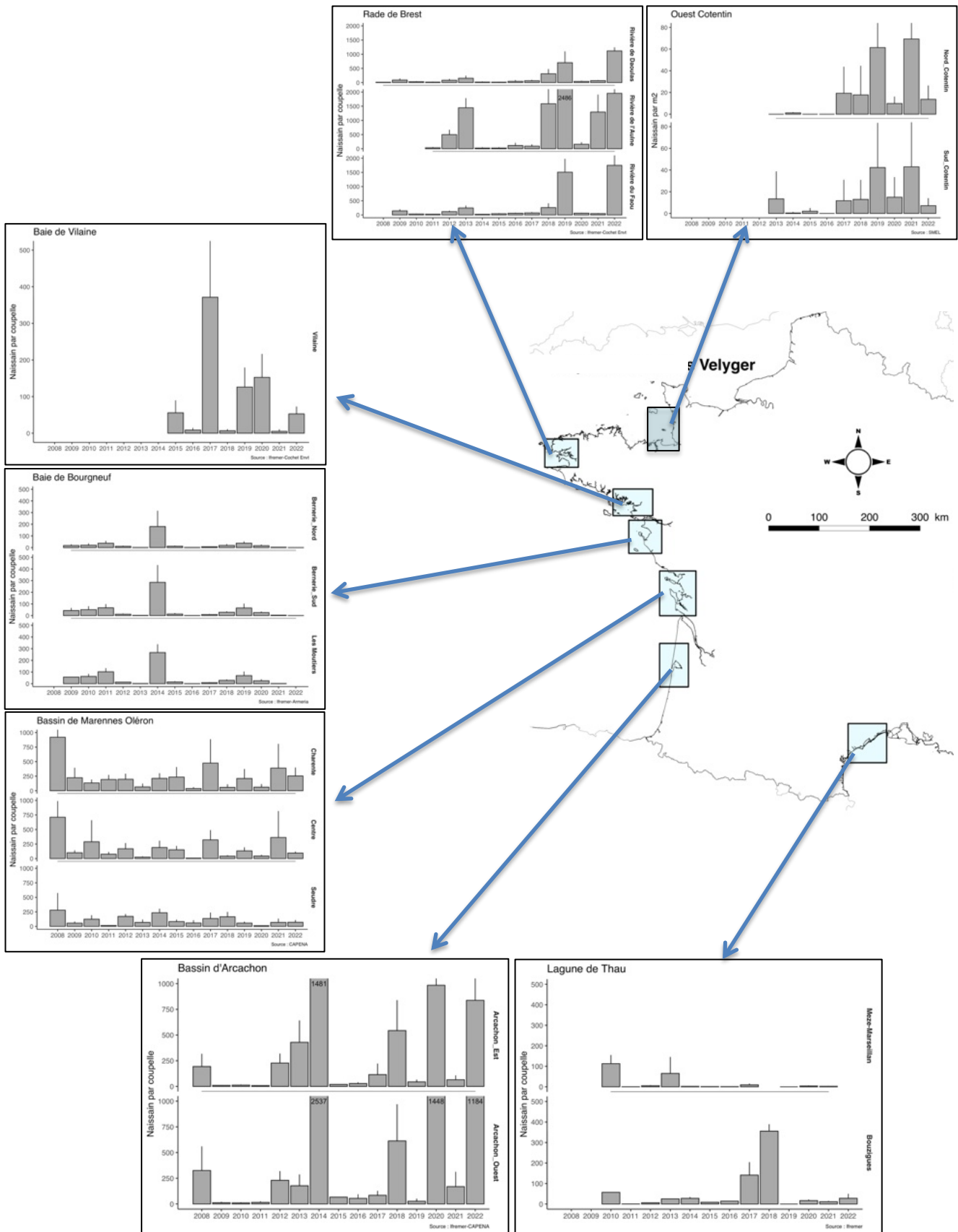


Figure 37 : Abondance moyenne du recrutement en 2022 en France par secteur (naissain total par coupelle ou m<sup>2</sup>) et comparaison aux années antérieures. Sources des données : Ifremer - CAPENA - SMEL - Cochet Envrt - Armeria.

### 5.4.3 Structuration géographique du recrutement

Au sein de chaque bassin, le recrutement est plus ou moins corrélé entre les sites étudiés. La **Figure 38** fournit les corrélations géographiques les plus significatives qui se dégagent au fur et à mesure des suivis obtenus par le réseau VELYGER.

- En Rade de Brest, le recrutement obtenu dans la rivière du Faou est toujours très corrélé au recrutement obtenu en rivière de Daoulas ( $R^2=0.98$ ) en y étant systématiquement supérieur. L'année 2022 avec ses valeurs très fortes confirment parfaitement cette relation.
- En Baie de Bourgneuf, le recrutement est corrélé entre les différents sites suivis, avec un gradient croissant du nord vers le sud. La figure ci-dessous montre la corrélation ( $R^2=0.95$ ) entre le secteur le plus au nord (Bernerie Nord) et le secteur le plus au sud (Moutiers). En 2022, compte tenu du très faible captage, il n'y a pas eu de suivis sur le secteur des Moutiers.
- Dans les Pertuis Charentais, seuls les secteurs Charente et Centre sont corrélés ( $R^2=0.87$ ), la Seudre présente systématiquement un recrutement différent sans relation avec les deux autres secteurs du bassin. L'année 2022 confirme cette relation en se positionnant dans le cœur du nuage de points.
- Dans le Bassin d'Arcachon, les deux secteurs Ouest et Est présentent toujours des performances de recrutement corrélés ( $R^2=0.95$ ), avec des valeurs souvent supérieures sur la partie Ouest. L'année 2022 avec ses valeurs fortes confirment à nouveau cette relation.
- Enfin, aucune tendance ne se dégage dans la Lagune de Thau et sur la côte Ouest Cotentin, mais pour l'instant, le nombre d'années d'observation reste un peu juste pour ces secteurs.

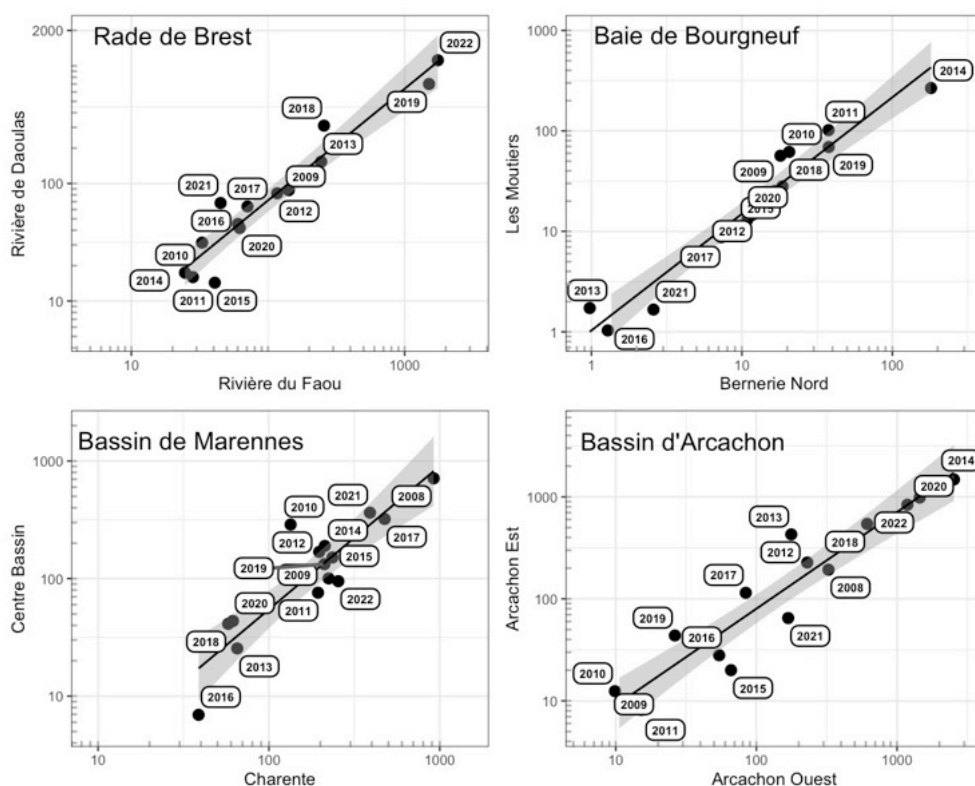


Figure 38 : Relation géographique entre les intensités de captage obtenues dans les différents sites au sein de chaque bassin suivi par le réseau VELYGER. Les sites présentant peu de corrélations spatiales entre eux (ou avec un nombre de données insuffisantes) n'ont pas été représentés : il s'agit de la Seudre dans les Pertuis Charentais et des différents sites suivis dans la Lagune de Thau ou sur la côte Ouest Cotentin.

## 5.5 Synthèse sur la reproduction et le recrutement 2022

### 5.5.1 Conditions hydroclimatiques générales de l'année

L'année 2022 s'inscrit dans la tendance générale du réchauffement climatique mais de façon encore plus marquée que les années précédentes. **A l'échelle de la France, la température moyenne a atteint 14.6°C, soit une anomalie est de +1,6°C, ce qui fait de l'année 2022 l'année la plus jamais enregistrée en France depuis le début du 20ème siècle (Figure 39).**

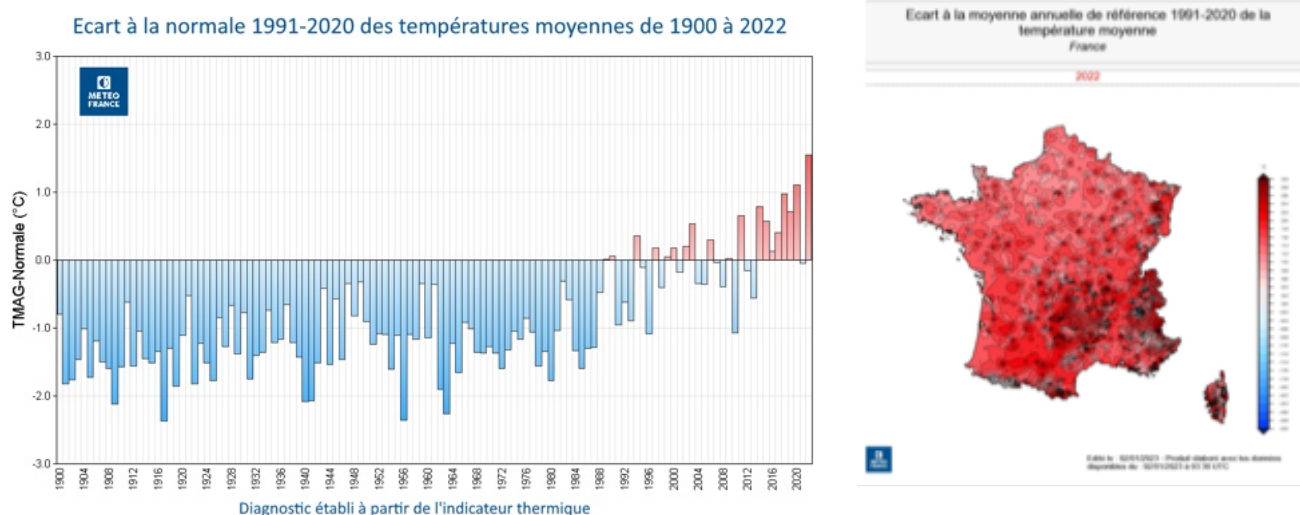


Figure 39 : Carte d'anomalie thermique moyenne de l'année 2022 à l'échelle de la France (attention nouvelle période de référence : 1991-2020) et série historique des écarts à la normale depuis 1900 (Source : Les bilans climatiques annuels de Météo France).

Au niveau de chacun des sites du réseau ECOSCOPIA, **les écarts thermiques sont plus marqués sur les sites les plus méridionaux (de la Baie de Bourgneuf à la Lagune de Thau) et un peu moins marqués au nord (e.g. Baie des Veys). A l'échelle saisonnière, cette année chaude résulte surtout d'une forte anomalie dès l'hiver.**

Ces conditions climatiques se sont traduites, au niveau côtier, par **des températures de l'eau particulièrement élevées tout au long de l'été : les anomalies thermiques des masses d'eau dépassent par endroit +2 à +3°C dès la fin du printemps et aucune anomalie négative n'est observée au cours de l'été sur la plupart des secteurs suivis par le réseau, à l'exception d'une courte période plus fraîche en milieu d'été sur la façade atlantique, liée à la mise en place d'un régime de vent de terre (Nord-est).**

Sur le **plan pluviométrique, l'année 2022 est très déficitaire** : le manque de pluie quasi généralisé sur le printemps et l'été combiné à des températures très élevées a généré une sécheresse des sols superficiels record sur l'ensemble du pays durant l'été. Cette année totalement unique se positionne ainsi en dehors du nuage de points Températures/Précipitations (Figure 40).

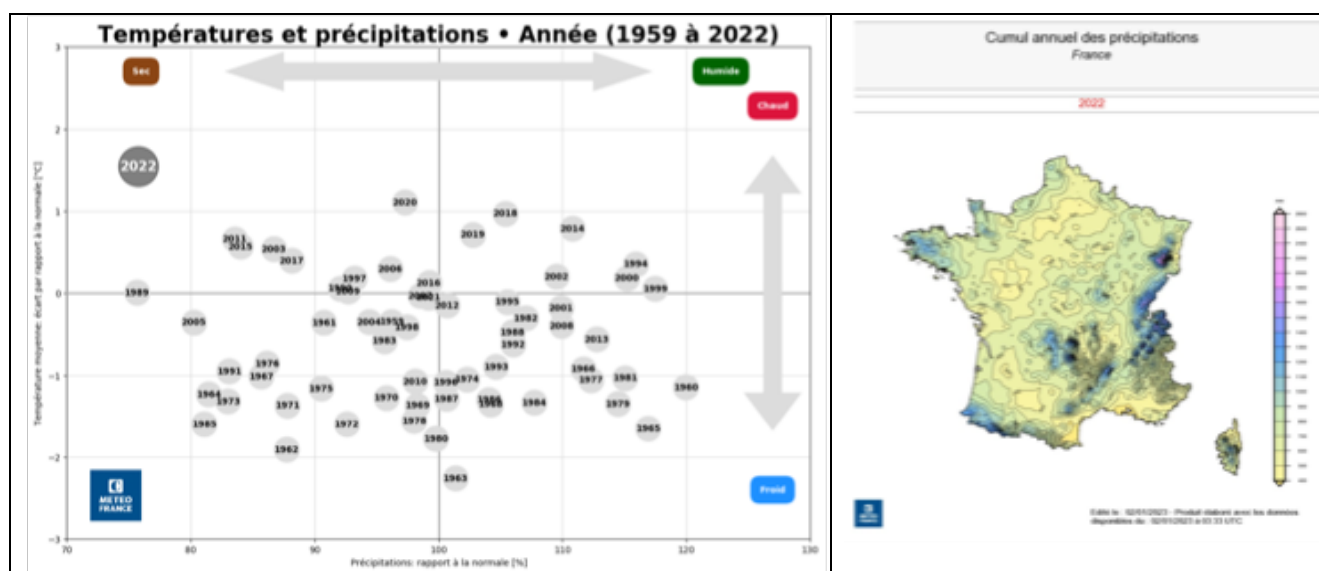


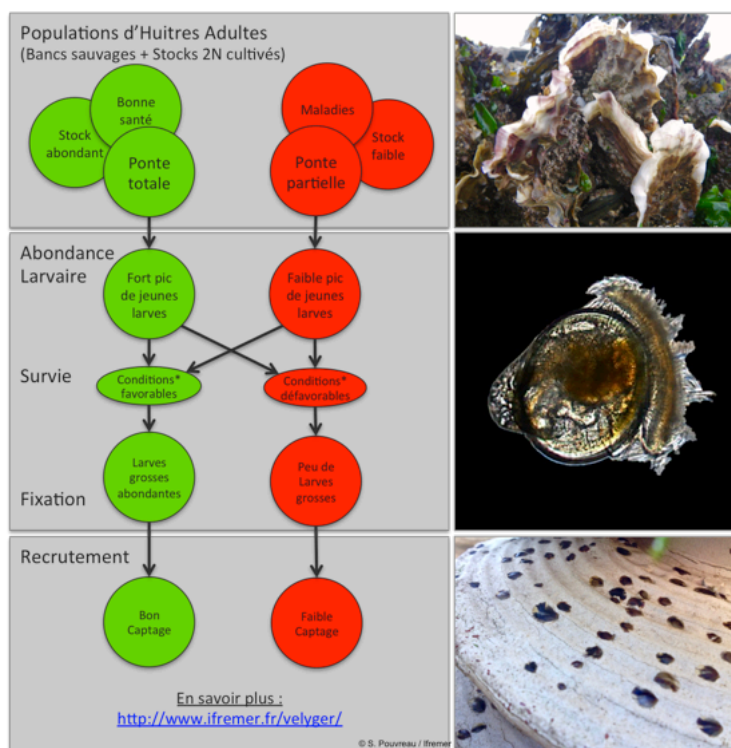
Figure 40 : Carte d'anomalie pluviométrique moyenne de l'année 2021 à l'échelle de la France (attention nouvelle période de référence : 1991-2020) et classement des années selon leur degré d'anomalies thermiques et pluviométriques depuis 1981 (Source : Les bilans climatiques annuels de Météo France).

### 5.5.2 Schéma général du cycle de reproduction de l'huître creuse

Sur la base des résultats antérieurs obtenus par le réseau VELYGER depuis sa création (*e.g.* Pouvreau et al., 2011) et des nouvelles données acquises au cours de l'année 2022 présentées tout au long de ce rapport, il nous est possible de proposer un **schéma général pour mieux expliquer la variabilité spatio-temporelle de la reproduction de l'huître creuse en France**. Ce schéma, que l'on peut construire comme une chaîne de facteurs, résumé sur la **Figure 41**, s'organise de la manière suivante :

- (1) **L'abondance printanière en phytoplancton agit quantitativement sur la maturation et détermine la fécondité en début d'été.** Cette abondance en phytoplancton est en partie sous la dépendance des apports d'eau douce hivernaux et printaniers. En 2022, sur le plan pluviométrique, l'hiver et surtout le printemps ont été déficitaires, en conséquence, **les concentrations en phytoplancton plus réduites ont été un peu défavorables à la croissance et à la gamétogénèse.**
- (2) La température moyenne de l'eau en début d'été détermine en partie la date de la ponte principale et son caractère synchrone. Sur la façade atlantique, en raison d'un début d'été chaud, les **pontes principales ont eu lieu de façon précoce** pour l'ensemble des secteurs, et ce en conformité avec le modèle thermique proposé depuis plusieurs années.
- (3) La quantité de jeunes larves présentes dans l'eau dépend de l'abondance et de la localisation des stocks d'huîtres adultes, de leur fécondité individuelle et du synchronisme de leur ponte, ce synchronisme étant favorisé par les forts contrastes thermiques (*e.g.* Bernard, 2011). En 2022, **les pontes ont été plutôt synchrones et les abondances de jeunes larves ont été dans les normales.** Nous rappelons l'importance de gérer les stocks sauvages d'huîtres creuses, principaux pourvoyeurs de larves compte-tenu de l'importance du stock d'huîtres triploïdes dans les élevages.

- (4) Une fois les larves émises, leur vitesse de développement et leur abondance à chaque stade (*i.e.* leur survie) dépendent directement de la température de l'eau lors du développement larvaire. Une température basse rallonge la durée de la vie larvaire (PLD), ce qui favorise une dispersion plus importante et une survie plus faible surtout lors des vives eaux ou lors de périodes ventées. Cette survie peut varier **d'un facteur 1000** (*i.e.* de 0,01 % à presque 10 %) selon les sites et la température de l'eau. La quantité de larves grosses dépend directement de l'abondance de jeunes larves (étape 3) et de la température pendant le développement larvaire des cohortes. **En 2022, globalement les températures estivales ont été plutôt favorables dans tous les secteurs.** Ainsi, cela aboutit en moyenne sur la façade atlantique à **des abondances de larves « grosses » plutôt dans les normes à l'exception de la baie de Bourgneuf et des Pertuis Charentais, sans qu'une explication puisse être fournie.**
- (5) Une relation de proportionnalité directe existe entre l'abondance moyenne de larves grosses (étape 4) au cours de l'été et le recrutement observé à l'automne sur les collecteurs. Cette relation permet une prédiction du captage dès la fin de l'été. **En 2022, le captage a donc été faible en baie de Bourgneuf, modéré dans les Pertuis et excellent en Rade de Brest et dans le bassin d'Arcachon (conformément aux abondances de larves grosses).** C'est donc une année particulièrement variable pour le recrutement de l'espèce en France.
- (6) Seule **exception à cette règle de proportionnalité : la Lagune de Thau** qui malgré des abondances de larves « grosses » plutôt élevées, chaque année, présente **un captage souvent faible ou très variable.** Cependant, petit à petit, la **pratique zootechnique** du captage s'adapte dans ce secteur sans marée (e.g. Lagarde 2018a), ce qui permet d'obtenir un **captage significatif, excepté lors des étés caniculaires** comme ce fut le cas en 2019.



**Figure 16 : Schéma récapitulatif expliquant les grands traits de la variabilité du recrutement et du captage de l'huître creuse sur les côtes françaises. Légende : \* la température estivale est le facteur majeur influençant la survie des larves, mais les facteurs contrôlant le temps de résidence des masses d'eau (hydrodynamique du secteur, coefficient de marée, régime de vent) ainsi que les conditions trophiques (petit phytoplancton) jouent aussi un rôle secondaire important.**



### 5.5.3 Les principaux verrous biologiques du cycle de reproduction

Depuis 2008, le réseau VELYGER suit le cycle de reproduction de l'huître creuse dans les différents écosystèmes côtiers de la Rade de Brest à la Lagune de Thau, sa variabilité en fonction des conditions environnementales, notamment dans le contexte du changement climatique. Ce réseau s'intéresse plus spécifiquement aux étapes suivantes : fécondité des adultes, phénologie de la ponte, abondance larvaire et intensité du recrutement annuel. Il ressort progressivement de ces suivis différents résultats clairement établis, qui sont synthétisés ci-dessous.

#### Fécondité des populations d'adultes

Chez l'huître creuse, la gamétogenèse se déroule tout au long du printemps à la faveur du réchauffement des eaux (e.g. Gourault et al., 2018) et des blooms de phytoplancton (Gangnery et Pouvreau, 2018). Cette étape conduit à un gain de chair (relativement à la croissance en coquille) qui se traduit par une augmentation progressive de l'indice de condition, celui-ci devenant maximal juste avant la ponte. Cet indice de condition maximal constitue un proxy pertinent de la fécondité potentielle d'une population d'huîtres. Suivi sur 10 années dans 8 écosystèmes contrastés il ressort que certaines populations d'huîtres présentent plutôt des fécondités fortes (Baie des Veys, Rade de Brest, Pertuis Charentais), d'autres des fécondités plutôt faibles (Bassin d'Arcachon, Baie du Mont St Michel et dans une moindre mesure Baie de Vilaine). La Baie de Bourgneuf présente quant à elle une situation intermédiaire avec des indices assez variables selon les années.

Ensuite, en été, généralement à la faveur d'un choc thermique, l'huître émet ces gamètes lors du frai, appelé communément « ponte » (e.g. Bernard et al., 2016). Bien sûr, pour un secteur donné, tous les bancs d'huîtres n'émettent pas forcément leurs gamètes de façon synchrone, la localisation géographique de ces différents bancs de reproducteurs au sein de chaque bassin constitue donc aussi un élément important dans l'approvisionnement en jeunes larves. Ces stocks notamment leur nature (localisation, sauvages, cultivés, 2N/3N, niveau bathymétrique) restent très mal connus et on fait l'hypothèse arbitraire d'une relative stabilité d'une année à l'autre. Mais, sur le long terme, des tendances aux effets difficiles à évaluer sont probablement à l'œuvre : augmentation des densités de triploïdes dans les élevages, mortalités inconnues sur les stocks sauvages, restructuration du DPM. **Le réseau VELYGER recommande une évaluation décennale de ces stocks par bassin, ou à défaut préconise des politiques locales de gestion raisonnée et de conservation des récifs sauvages devenus maintenant quasiment patrimoniaux, certains récifs sauvages ayant plus de 50 ans (e.g. Beck et al., 2009).**

#### Phénologie de la ponte

Le deuxième point très important qui ressort du réseau concerne la date de la ponte principale dans chaque secteur. Cette étape très « fugace », qui se déroule sur quelques heures une ou deux fois par an à l'échelle individuelle, constitue une clé déterminante dans le cycle de reproduction (Bernard et al., 2016). Événement phénologique par excellence, il est aussi amené à évoluer avec le réchauffement climatique (Gourault et al., 2018). Avec 10 ans de suivis, le réseau met en évidence les résultats suivants.

Sur les secteurs en Manche (Baie du Mont Saint Michel et Baie des Veys) **la ponte est possible, mais quand elle survient, elle est souvent tardive** (généralement en août/septembre), c'est pourquoi le recrutement reste encore faible dans ces milieux septentrionaux.

En Rade de Brest, la ponte survient généralement en août (e.g. Gourault et al., 2018) et mais là aussi il peut y avoir des années pour lesquelles localement certaines « populations » d'huîtres ne pondent pas (on parle de ponte asynchrone). Les années à ponte tardive et asynchrone entraînent généralement un

mauvais recrutement. *A contrario*, un été chaud permet généralement des pontes synchrones, de fortes abondances de jeunes larves, une survie élevée et un recrutement modéré parfois élevé. **C'est exactement le cas des années récentes pour la Rade de Brest. Et l'été particulièrement chaud s'est traduit par un captage record en 2022. Depuis la mise en place du réseau en 2008, il semble que les étés soient désormais systématiquement favorables à la reproduction et au recrutement de l'espèce.**

En Baie de Vilaine ainsi qu'en Baie de Bourgneuf, **la ponte est systématique mais reste très variable sur le plan temporel d'une année à l'autre**. A titre d'exemple, sur la Baie de Bourgneuf, la date de ponte principale **peut varier entre le début juillet et la fin août** selon les années. Une ponte précoce sera généralement suivie d'un recrutement significatif, une ponte tardive d'un recrutement faible. La configuration de la baie de Vilaine semble cependant plus favorable que le nord de la baie de Bourgneuf en termes de rétention larvaire, ce qui se traduit par un captage souvent plus favorable dans ce secteur, c'est le cas en 2022.

Sur le secteur des Pertuis Charentais, la date de ponte principale semble assez stable et a lieu généralement **dans la deuxième quinzaine de juillet** (éventuellement début août). Cette relative stabilité entraîne généralement un recrutement (au moins pour le secteur Charente) toujours significatif. Depuis 2008, le recrutement sur ce secteur présente, en effet, la plus faible variation interannuelle de tous les sites suivis par le réseau. **Le suivi des stocks sauvages en amont du secteur reste cependant à surveiller.**

Sur le secteur du Bassin d'Arcachon, la date de ponte se révèle **très variable : elle peut survenir début juillet et certaines années au-delà du 15 août**. Ce décalage phénologique de plus d'un mois a des conséquences directes : quand les jeunes larves apparaissent lors des vives eaux du mois d'août, le risque de dispersion hors du bassin est plus élevé, alors que les mortes eaux et les faibles vives eaux de juillet leur sont plus favorables. Cette tendance pourrait expliquer en partie l'augmentation de la variabilité interannuelle du captage observée depuis les années 2000. Cela dit, ce risque est réduit lors des étés particulièrement chauds comme c'est le cas depuis plusieurs années. Le retour d'un été frais aurait des répercussions directes sur le captage dans ce secteur.

Enfin pour la Lagune de Thau, les pontes y sont **généralement très précoces** mais aussi asynchrones. Elles ont lieu systématiquement avant les autres secteurs de la façade atlantique, généralement en juin. Et on peut désormais affirmer que les déficits de recrutement sur ce secteur ne sont vraisemblablement pas liés à cette étape de la reproduction.

#### **Abondance, survie des larves et recrutement**

La ponte principale sur un secteur se traduit généralement par un pic massif de jeunes larves dans les jours qui suivent. L'intensité, la dynamique et l'évolution de ces pics constituent des descripteurs très fins pour évaluer l'abondance, le développement et la survie des jeunes larves émises. Ces proxys sont généralement des clés essentielles pour comprendre le recrutement ultérieur. **La durée du développement des larves ainsi que leur survie sont extrêmement variables d'un site à l'autre, d'une année à l'autre** car elles dépendent de nombreux facteurs : température de l'eau, conditions hydrodynamiques (forcées par les coefficients de marée et les régimes de vent), conditions trophiques (en liaison avec la compétition), présence de prédateurs, pathogènes et/ou de polluants. Depuis 2008, le réseau VELYGER suit ces abondances larvaires tout au long de l'été et sur l'ensemble des secteurs du réseau dans le cadre de différentes collaborations et contrat d'études. Cette base de données est unique

et est désormais accessible à la communauté au travers du serveur Seanoe (Pouvreau *et al.*, 2019). Il ressort de cet observatoire pluriannuel les points remarquables suivants.

Tout d’abord, l’abondance en jeunes larves est complètement sous la dépendance de la nature des pontes : les pontes totales et synchrones se traduisent par des pics élevés de jeunes larves ( $> 100\,000$  larves/ $1.5\text{ m}^3$ ) alors que des pontes peu synchrones se traduisent par des faibles pics de jeunes larves ( $< 10\,000$  larves/ $1.5\text{ m}^3$ ). Une fois les larves émises, la température et le temps de résidence des masses d’eau sur chaque secteur au moment du développement larvaire constituent vraisemblablement les autres clés du recrutement, au moins pour les secteurs de la façade atlantique. Or, chaque secteur de recrutement présente des caractéristiques physiques, notamment hydrodynamiques, qui lui sont propres.

La partie Est de la Rade de Brest présente probablement **les temps de résidence les plus longs** (e.g. Petton *et al.*, 2020) des secteurs suivis par le réseau VELYGER (à l’exception de la Lagune de Thau). Il s’agit aussi d’un site pour lequel les durées de vie larvaire sont généralement longues (20-25 jours), compte tenu des températures toujours un peu plus faibles dans ce bassin septentrional. Dans ces conditions, si les températures de l’eau sont favorables, le recrutement y est généralement bon. Les larves sur ce secteur sont présentes généralement en août et on montre effectivement que le recrutement y est particulièrement corrélé à la température des masses d’eau au mois d’août (**Figure 42**). Les observations 2022 confortent avec une parfaite adéquation cette relation.

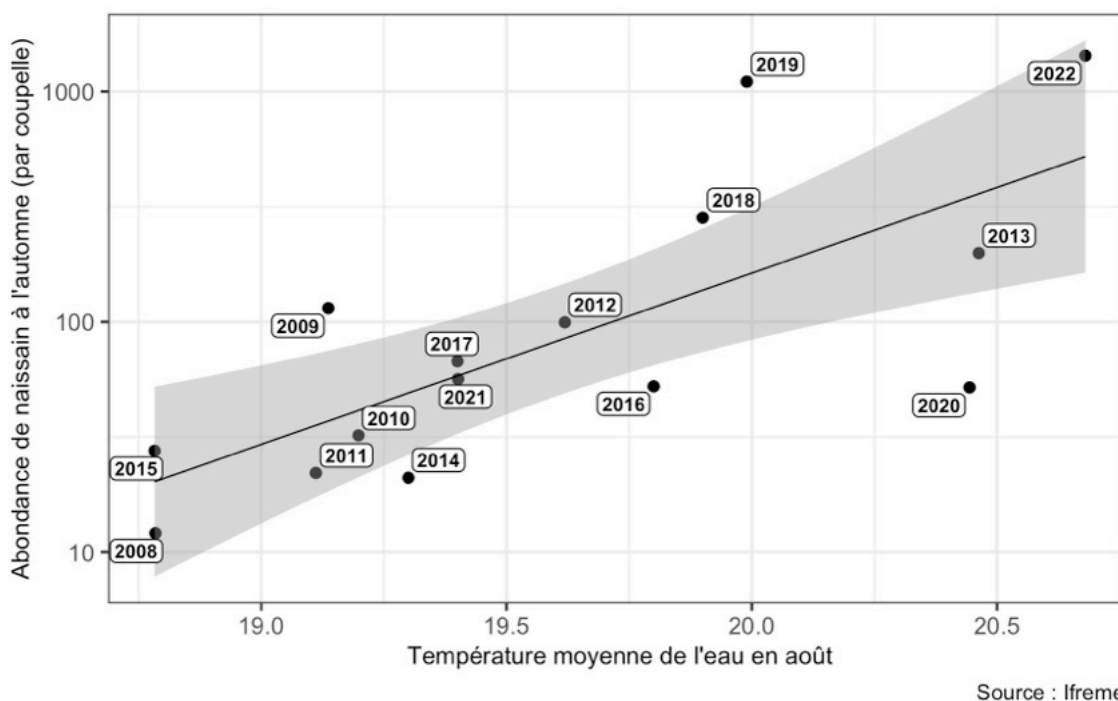


Figure 42 : Relation entre la température moyenne de l’eau au mois d’août et le recrutement moyen à l’automne dans les rivières de Daoulas et du Faou (Rade de Brest).

Sur le secteur de la Baie de Bourgneuf, beaucoup d’éléments acquis depuis le début du réseau laissent penser que **la circulation hydrodynamique de ce système relativement ouvert pourrait être un facteur défavorable à la survie larvaire** surtout lors d’étés frais ou tout juste dans les normes. Cela a été le cas en 2021 mais également en 2022. La mise en œuvre d’un modèle hydrodynamique reste une étape à envisager dans les années à venir si l’on souhaite mieux comprendre la dynamique du

recrutement dans ce secteur particulier. Il ressort en tout cas que la survie larvaire y est très variable d'une année à l'autre et cela décide ensuite de l'efficacité du recrutement.

Pour les Pertuis Charentais, il ressort de l'ensemble des suivis, **une grande complexité dans la distribution spatiale et la dynamique des larves** sur l'ensemble du bassin (Bernard, 2011) comme l'illustre la **Figure 43**. En effet, pour tous les autres écosystèmes étudiés dans le réseau national, il y a toujours une corrélation intra-bassin assez élevée entre l'abondance en larves (stade « grosses ») et le recrutement ultérieur, mais cette relation est peu significative pour ce secteur. Il en est de même pour le suivi des cohortes larvaires. Dans la plupart des écosystèmes, l'identification des cohortes est évidente, alors que pour ce secteur elle est systématiquement délicate à réaliser : les larves « petites » disparaissent assez rapidement sans forcément présenter d'évolution et l'arrivée sporadique de larves « grosses » reste difficile à interpréter.

Cette complexité est à relier à la circulation hydrodynamique ouverte de cet écosystème proposé par Bernard *et al.*, (2010). Ces travaux montrent que selon les conditions hydro-climatiques de l'été, les secteurs au nord (Charente) peuvent bénéficier d'apports allochtones de larves et les secteurs au sud (Seudre) présentent un risque accru d'export de larves. **Dans ce contexte, la préservation des stocks sauvages de reproducteurs en amont de ces zones constitue, sans aucun doute, une garantie d'avenir pour la pérennité du captage dans les Pertuis Charentais.**



Figure 43 : Carte simplifiée des liens privilégiés entre les bancs potentiels d'émission de larves et les zones de captage dans les Pertuis Charentais, d'après Bernard (2011)

Pour le **Bassin d'Arcachon**, il ressort que la température de l'eau lors du développement des cohortes est un critère décisif pour la survie : pour des températures inférieures à 22°C, la survie larvaire devient très basse (< 0,01%) et le recrutement irrémédiablement faible. Par contre, en cas d'été favorable (> 24°C), les températures élevées garantissent une bonne survie (> 1%) et assurent généralement un **captage satisfaisant voire excellent, comme ce fut le cas en 2022**. Entre ces deux conditions extrêmes, il est vraisemblable que la survenue des larves en période de vives-eaux ou de mortes-eaux jouent alors un rôle significatif.

Enfin, en ce qui concerne **la Lagune de Thau**, les températures de l'eau sont toujours très élevées lors du développement larvaire (> 25°C) et par conséquent les durées de vie larvaire sont les plus courtes des sites suivis par le réseau (PLD ~12 j) et les survies toujours favorables (> 1 %). Dans ces conditions, les concentrations moyennes de larves 'grosses' sont souvent modérées à fortes et constituent généralement les meilleurs scores sur le plan national. C'est un peu moins le cas pour l'année 2022, même si les valeurs restaient encore élevées. En 2019, pour la première fois les survies larvaires avaient été mauvaises (0,11%) en lien avec un épisode caniculaire observé dans la lagune entraînant un fonctionnement trophique non favorable pour le recrutement des huîtres. **Les températures particulièrement élevées en 2022 ont probablement à nouveau été un peu défavorable au recrutement.**

## 7 Conclusion

Construit sur la base d'un réseau national de site atelier et de stations d'étude, l'observatoire ECOSCOPA vise à produire des descripteurs pertinents du cycle de vie de l'huître creuse (Stade larvaire - Recrutement - Reproduction - Croissance - Survie), tout en assurant la pérennité des séries temporelles de référence acquises depuis plusieurs années. Cet observatoire s'inscrit dans le contexte du changement climatique et propose de fournir des éléments objectifs permettant de mieux anticiper les éventuelles crises à venir.

Ce contexte de changement nécessite en effet **des moyens d'observation pertinents à l'échelle nationale** permettant de mesurer objectivement au travers de différents proxys l'état général de santé des populations d'huîtres cultivées et sauvages, et ce pour les différentes phases sensibles de leur cycle de vie. Ces outils doivent permettre de mieux évaluer, sur le long terme, les risques biologiques encourus par la filière mais aussi par les écosystèmes, notamment sous la contrainte croissante des changements climatique et anthropique. De plus, parce que l'huître creuse est devenue une espèce majeure sur nos côtes, elle joue parmi les invertébrés marins **le rôle d'espèce sentinelle** (bio-indicateur) de la qualité des milieux, au même titre que l'abeille pour les insectes en milieu terrestre.

Les enjeux associés à ce réseau sont donc multiples :

- Acquérir de séries biologiques uniques permettant **d'analyser l'effet de l'environnement hydro-climatique sur la biologie d'une espèce modèle en milieu marin** / amélioration des connaissances en écologie marine
- Maintenir **un socle opérationnel et réactif** de suivis standardisés sur lequel des études ponctuelles nécessitant des **analyses particulières *in situ* peuvent se greffer aisément**.
- Obtenir de **données physiologiques inédites** pour décrire la tolérance et les capacités d'adaptation de l'animal dans son milieu naturel, selon un gradient latitudinal

Les données générées par ce réseau permettent donc de :

- Mettre à disposition les **données technico-scientifiques complètes et fiables sur le milieu et le cycle de vie de l'huître creuse**
- D'identifier des **facteurs environnementaux susceptibles de moduler la sensibilité de l'huître aux maladies infectieuses** et leur résistance aux **contraintes du changement climatique**.
- de disposer d'un **outil pour l'optimisation des stratégies de pose de collecteurs**, une meilleure **appréhension de la variabilité environnementale** ainsi qu'à une **aide à la gestion sobre & durable des ressources environnementales**.

Concernant les faits marquants pour cette campagne, **l'année 2022 s'inscrit dans la tendance générale du réchauffement climatique mais de façon encore plus marquée que les années précédentes**. A l'échelle de la France, la température moyenne a atteint 14.6°C, soit une anomalie est de +1,6°C, ce qui fait de **l'année 2022 l'année la plus jamais enregistrée en France depuis le début du 20ème siècle**. Au niveau de chacun des sites du réseau ECOSCOPA, les écarts thermiques sont plus marqués sur les sites les plus méridionaux (de la Baie de Bourgneuf à la Lagune de Thau) et un peu moins marqués au nord (e.g. Baie des Veys). A l'échelle saisonnière, cette année chaude résulte surtout d'une forte anomalie dès l'hiver.

Ces conditions climatiques se sont traduites, au niveau côtier, par des températures de l'eau particulièrement élevées tout au long de l'été : **les anomalies thermiques des masses d'eau dépassent par endroit +2 à +3°C dès la fin du printemps et aucune anomalie négative n'est observée au cours de l'été sur la plupart des secteurs suivis par le réseau**, à l'exception d'une courte période plus

fraîche en milieu d'été sur la façade atlantique, liée à la mise en place d'un régime de vent de terre (Nord-est).

Pour les nouvelles mesurées de pH haute fréquence réalisées sur certains sites, on retiendra qu'en 2022, **les valeurs moyennes annuelles du pH sont en deçà de 8.00 assez régulièrement que ce soit en Rade de Brest ou dans le Bassin d'Arcachon**. Bien sûr, ces valeurs moyennes restent toujours supérieures au seuil de 7.6 ; valeur considérée comme problématique pour la vie larvaire de l'huître creuse.

Sur le **plan pluviométrique, l'année 2022 est très déficitaire** : le manque de pluie quasi généralisé sur le printemps et l'été combiné à des températures très élevées a généré **une sécheresse des sols superficiels record sur l'ensemble du pays durant l'été**.

L'abondance printanière en phytoplancton agit quantitativement sur la maturation et détermine la fécondité en début d'été. Cette abondance en phytoplancton est en partie sous la dépendance des apports d'eau douce hivernaux et printaniers. En 2022, sur le plan pluviométrique, l'hiver et surtout le printemps ont été déficitaires, en conséquence, **les concentrations en phytoplancton plus réduites ont été un peu défavorables à la croissance et à la gamétogénèse**.

Sachant que la température moyenne de l'eau en début d'été détermine en partie la date de la ponte, sur la façade atlantique, en raison d'un début d'été chaud, les pontes principales ont eu lieu de façon précoce pour l'ensemble des secteurs, et ce en conformité avec le modèle thermique proposé depuis plusieurs années. Les abondances de jeunes larves ont été dans les normales, mais rappellent l'importance de gérer les stocks sauvages, principaux pourvoyeurs de larves compte-tenu de l'importance du stock d'huîtres triploïdes dans les élevages.

**En ce qui les concentrations larvaires, les suivis démontrent une plus grande variabilité interannuelle pour les stades "larves moyennes" et "larves grosses"**, mais sans réelle tendance sur le long terme, si ce n'est que depuis 5 années consécutives, les concentrations en larves grosses sont plutôt faibles en Baie de Bourgneuf.

Pour le recrutement, nous retiendrons que la Rade de Brest s'est caractérisée par **un recrutement fort**, avec des valeurs moyennes de captage record. Sur ce secteur, la dernière décennie ne compte plus d'année sans recrutement comme c'était encore le cas au début du siècle. A l'opposée, la Baie de Bourgneuf présente, cette année, **un recrutement très faible** avec des valeurs de 1 naissains par coupelle. Ces résultats font partis des **valeurs les plus faibles observées sur ce site**, qui continue de se caractériser par une très grande variabilité. Pour le Bassin d'Arcachon, il y a eu cette année **un recrutement fort**, avec des valeurs faisant parties des valeurs les plus fortes, ce qui confirme le caractère très contrasté de ce bassin vis à vis du captage, avec une alternance de bonnes et mauvaises années.

Enfin, retenons que la Lagune de Thau continue d'être caractérisée par **un recrutement très variable** tant sur le plan spatial que temporel. En 2019, le recrutement avait été inexistant pour toute la lagune en lien à un épisode caniculaire particulièrement intense. L'année 2022, de façon similaire à 2021, revient vers des conditions plus normales avec un captage variable de 28 naissains par coupelle. Progressivement, **les techniques de captage se stabilisent sur ce site particulier émergent**, sur lequel quelques ostréiculteurs pratiquent l'activité de captage.

Toujours en lien avec ces conditions climatiques et météorologiques spécifiques à 2022, on observe toujours de **mortalités importantes de naissains d'huîtres** (environ 63%), et ce de façon **plus précoce au Sud qu'au Nord** (vers début Mai pour les sites Sud, contre fin juin début Juillet pour les sites au Nord). De plus, sur chacun des sites, **la mortalité de 2022 a eu tendance à débiter plus précocement que les autres années** : ce phénomène est en relation directe avec les anomalies de températures de l'eau de mer positives observées sur la totalité des sites. Notons enfin qu'il y a eu **moins de variabilité inter-sites pour ces taux de mortalité de naissain**, l'étang de Thau ayant atteint des taux de mortalité comparables aux autres sites (contre une valeur anormalement faible pour ce site de 7.9% obtenue en 2021).

Pour la classe d'âge 18 mois, issue de la conservation du lot NSI 2021 sur chacun des sites, les mortalités constatées sont bien inférieures à celles obtenues sur la classe d'âge naissain, (environ 15%). Cependant, on constate des **mortalités très hétérogènes** tels que pour les sites Géfosse (53%), Marseillan (15%) et la Rade de Brest (16%), alors que d'autres sites ne sont quasiment pas impactés. En ce qui concerne la croissance, elle apparaît très hétérogène selon les sites, avec un **poids moyen passant du simple à plus du triple entre Cancale et Géfosse**. Ces différences doivent être liées à des apports nutritifs différents entre ces sites, et des analyses plus approfondies seront nécessaires pour justifier ce phénomène.

Cette année encore, ECOSCOPA a joué son rôle d'observatoire long terme, en conservant son échelle nationale, son maillage territorial, afin de permettre d'apporter un appui aux politiques publiques, et de maintenir les relations avec la profession et les centres techniques, apportant des résultats complémentaires. Des réflexions pourront être engagées afin d'aller plus loin dans le développement d'un outil permettant de mesurer l'impact du changement climatique via des suivis plus intégrateurs (tels que l'exposome, le suivi d'eDNA, des contaminants ... etc) afin de mesurer l'état écologique de ces écosystèmes ostréicoles et renforcer notre soutien d'APP en termes de proposition de solutions.

## 8 Références bibliographiques

- Anonyme (2011)** ICES status report on climate change in the North Atlantic. ICES cooperative Research Report, n°310, September 2011, 182 p.
- Auby I, Maurer D (2004)** Étude de la reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon. Rapport Final de Contrat. Rapport Interne Ifremer DEL/AR 04-05.203 p + annexes.
- Auby I, Maurer D, Connes C, Barbier C, Rumebe M, Rigouin L, Tournaire MP, Simmonnet B, Navarro R (2012)** Reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon. Année 2012.
- Auby I, Maurer D, Valvason ML, Guegen C, Guillard F (2002)** Mise au point d'une nouvelle méthode de suivi de la reproduction de l'huître creuse. Comparaison avec la méthode traditionnelle. Rapport Interne RST.DEL/02.01/ARCACHON, 22 p.
- Bagusche F, Long S, Trueman C, Pouvreau S, Le Souchu P, Hauton C (2012)** Impacts of ocean acidification and temperature on gene expression and biomineralisation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* Thunberg, 1793 (Ostreoidae). European Geoscience Union 2012, General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22-27 April 2012. - Poster-
- Barranger A, Akcha F, Rouxel J, Brizard R, Maurouard E, Pallud M, Menard D, Tapie N, Budzinski H, Burgeot T, Benabdelmouna A (2014)** Study of genetic damage in the Japanese oyster induced by an environmentally-relevant exposure to diuron: evidence of vertical transmission of DNA damage. *Aquat. Toxicol.* : 146, 93–104.
- Beck MW, Brumbaugh DR, Airoidi L, Carranza A, Coen LD, Crawford C, Zhang, G (2009)** Shellfish reefs at risk: a global analysis of problems and solutions. The Nature Conservancy, Arlington VA.
- Benabdelmouna A, Guyader T, Ledu C, Laporte P, Degremont L (2011)** Etude de la CINétique et Diffusion de la MORTalité (CINDIMOR) chez les juvéniles de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Contrat de projets Etat-Région Poitou-Charentes 2007-2013 - Convention n°08/PRC-A-29 du 19 mai 2008 - Projet "Développement durable des Pertuis charentais". <https://archimer.ifremer.fr/doc/00063/17405/>
- Benabdelmouna A, Hemissi I (2011)** CARTAMO : CARTographie des Anomalies génomiques dans les gisements naturels d'huîtres creuses du bassin de Marennes Oléron.
- Benabdelmouna A, Ledu C (2016)** The mass mortality of blue mussels (*Mytilus spp*) from the Atlantic coast of France is associated with heavy genomic abnormalities as evidenced by flow cytometry. *J. Inverteb. Pathol.* : 138, 30-38.
- Benabdelmouna A, Maurouard E, D'Amico F, Seugnet JL, Grizon J (2014)** Niveau de ploïdie des naissains d'huître creuse captés dans les pertuis charentais, le bassin d'Arcachon et la baie de Bourgneuf. Réseau Biovigilance, campagne 2012.
- Benabdelmouna A, Saunier A, Ledu C, Travers MA, Morga B (2018)** Genomic abnormalities affecting mussels (*Mytilus edulis-galloprovincialis*) in France are related to ongoing neoplastic processes, evidenced by dual flow cytometry and cell monolayer analyses. *J. Inverteb. Pathol.* : 157, 45-52.
- Bernard I (2011)** Ecologie de la reproduction de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, sur les côtes françaises : vers une explication de la variabilité du captage. Th. Univ. La Rochelle 193 p.
- Bernard I, Allain G, Auby I, Plus M, Drean T, Gasmi S, David V, Pouvreau S, Maurer D (2014)** Étude de la fécondité de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon en 2013 en lien avec la qualité de l'eau. Compte-rendu final du programme FeLiBA.
- Bernard I, Le Moine O, Stanisière JY, Pouvreau S, Gouletquer P, Dumas F (2010)** Site selection for stock replenishment using a hydrodynamic model: Example of the pacific oyster *Crassostrea gigas* culture in the Pertuis Charentais. ICES CM2010/A:18, 12p.



**Bernard I, Massabuau J-C, Ciret P, Sow M, Sottolichio A, Pouvreau S, Tran D (2016)** In situ spawning in a marine broadcast spawner, the Pacific oyster *Crassostrea gigas* : Timing and environmental triggers. *Limnology and Oceanography*, 61, 635-647.

**Chapman RW, Mancina A, Beal M, Veloso A, Rathburn C, Blair A, Holland AF, Warr GW, Didinato G, Sokolova IM & Wirth EF (2011)** The transcriptomic responses of the eastern oyster, *Crassostrea virginica*, to environmental conditions. *Molecular Ecology*, 20(7), 1431-1449.

**Daniel A (2009)** Document de méthode hydrologie : Consignes pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de mesures hydrologiques. Rapport DYNECO/PELAGOS/09.01, 19 p

**Delisle L, Petton B, Burguin JF, Morga B, Corporeau C, Pernet F (2018)** Temperature modulate disease susceptibility of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and virulence of the Ostreid herpesvirus type 1. *Fish Shellfish Immunol.* 2018 Sep;80:71-79. doi: 10.1016/j.fsi.2018.05.056. Epub 2018 May 3

**Delisle L, Pauletto M, Vidal-Dupiol J, Petton B, Bargelloni L, Montagnani C, Pernet F, Corporeau C, Fleury E (2020).** High temperature induces transcriptomic changes in *Crassostrea gigas* that hinder progress of ostreid herpesvirus (OsHV-1) and promote survival . *Journal Of Experimental Biology* , 223(20), jeb226233 (11p.) . <https://doi.org/10.1242/jeb>.

**Dickson AG, Sabine CL, Christian, JR (2007)** Guide to Best Practices for Ocean CO2 Measurements. PICES Special Publication 3, 191 pp.

**Fleury E, Normand J, Lamoureux A, Bouget JF, Lupo C, Cochenec-Laureau N, Petton S, Petton B, Pouvreau S (2019)** RESCO REMORA Database : National monitoring network of mortality and growth rates of the sentinel oyster *Crassostrea gigas*. SEANOE.

**Geay A, Bouquet AL (2009)** Suivi du recrutement de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en Charente-maritime en 2009 : Rapport de synthèse. Rapport de contrat Creaa-SRC Poitou Charentes, 32 p + annexes.

**Grossel H (2006)** Manuel d'observation et de dénombrement du phytoplancton marin. Département Environnement, Microbiologie et Phycotoxines. Document de méthode REPHY. 40 p

**Helmuth B (1998)** Intertidal mussel microclimates: predicting the body temperature of a sessile invertebrate. *Ecological Monographs*. 68 (1), 51-74

**His E (1976)** Contribution à l'étude biologique de l'Huître dans le Bassin d'Arcachon, activité valvaire de *Crassostrea angulata* et de *Crassostrea gigas* ; application à l'étude de la reproduction de l'Huître japonaise. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.

**His E (1991)** Biologie et écotoxicologie des véligères de *Crassostrea Gigas* (Thunberg) dans le Bassin d'Arcachon. PhD Thesis, Université Bordeaux I.

**Lagarde F, Richard M, Bec B, Roques C, Mortreux S, Bernard I, Chiantella C, Messiaen G, Nadalini J-B, Hori M, Hamaguchi M, Pouvreau S, Roque d'Orbcastel E, Tremblay R (2018b)** Trophic environments influence size at metamorphosis and recruitment performance of the Pacific oyster. *Mar Ecol Prog Ser* 602:135–153.

**Lagarde F (2018a)** Écologie de la reproduction de l'huître *Crassostrea gigas* en lagune méditerranéenne. Th. Sorbonne Univ. 201 p.

**Lagarde F, Roque d'orbcastel E, Ubertini M, Mortreux S, Bernard I, Fiandrino A, Chiantella C, Bec B, Roques C, Bonnet D, Miron G, Richard M, Pouvreau S, Lett C (2017)** Recruitment of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in a shellfish-exploited Mediterranean lagoon: discovery, driving factors and a favorable environmental window. *Marine Ecology Progress Series*, 578, 1-17.

**Le Roux, F, Wegner KM, Polz MF (2016)** Oysters and vibrios as a model for disease dynamics in wild animals. *Trends in microbiology*, 24(7), 568-580.

**Martz TK, McLaughlin SB, Weisberg (2015)** Best Practices for autonomous measurement of seawater pH with the Honeywell Durafet pH sensor. California Current Acidification Network (C-CAN).

**Maurer D, Auby I, Barbier C, Schirr Bonnans I, Tournaire MP, Rumèbe M, Cantin C, Debort H, Cariou T, Navarro R, Simonnet B, Mayer M (2009a)** Reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon : Année 2009. RST/LER/AR/09-009, 47 p.

**Maurer D, Auby I, Moran A, Barbier C, Rumèbe M, Tournaire MP, Navarro R, Simonnet B, Navarro R (2011)** Reproduction de l'huître creuse dans le Bassin d'Arcachon : Année 2011. RST/LER/AR/11-009, 61 p.

**Maurer D, Defenouillère P, Auby I (2009b)** Estimation du captage de naissains dans le Bassin d'Arcachon en 2008 : première approche d'une méthodologie nationale dans le cadre du projet Velyger. Rapport Interne Ifremer RST/LER/AR09-004, 25 p.

**OMM.** Directives de L'OMM Pour le Calcul Des Normales Climatiques ; OMM, Édition 2017 ; OMM: Genève, Suisse, 2017; ISBN 978-92-63-21203-0.

**Pernet F, Barret J, Le Gall P, Corporeau C, Degremont L, Lagarde F, Pepin JF, Keck N (2012)** Mass mortalities of Pacific oysters *Crassostrea gigas* reflect infectious diseases and vary with farming practices in the Mediterranean Thau lagoon, France. *Aquaculture Environment Interactions*, 2, 215-237.

**Pernet F, Gachelin S, Stanisière JY, Petton B, Fleury E, Mazurié J (2019)** Farmer monitoring reveals the effect of tidal height on mortality risk of oysters during a herpesvirus outbreak. *Ices Journal Of Marine Science*, 76, 1816-1824.

**Petton B, Boudry P, Alunno-Bruscia M, Pernet F (2015)** Factors influencing disease-induced mortality of Pacific oysters *Crassostrea gigas*. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 205-222

**Petton, B, Pernet, F, Robert, R, & Boudry, P (2013)** Temperature influence on pathogen transmission and subsequent mortalities in juvenile Pacific oysters *Crassostrea gigas*. *Aquaculture environment interactions*, 3, 257-273.

**Petton S, Pouvreau S, Fleury E (2023)** ECOSCOPA network : high frequency environmental database. SEANOE. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/86131>

**Pouvreau S, Bernard I, Le Souchu P, Huvet A, Talarmain E, Auby I, Maurer D, Barbier C, Tournaire MP, D'Amico F, Rumebe M, Neaud-Masson N, Bedier E, Martin AG, Claude S, Langlade A, Bouget JF, Hitier B, Stanisière JY, Breerette S, Robert S, Guilpain P, Seugnet JL, Guesdon S, Soletchnik P, Le Moine O, Dumas F, Quemener L, Barbot S, Repecaud M, Mille D, Geay A, Bouquet AL (2011)** Projet Velyger (2008-2010) : Observer, Analyser et Gérer la variabilité du recrutement de l'huître creuse en France.

**Pouvreau S, Maurer D, Auby I, Lagarde F, Le Gall P, Cochet H, Bouquet AL, Geay A, Mille D (2019)** VELYGER Database: The Oyster Larvae Monitoring French Project. SEANOE.

**Pouvreau S, Petton S, Queau I, Haurie A, Le Souchu P, Alunno-Bruscia M, Palvadeau H, Auby I, Maurer D, D'Amico F, Passoni S, Barbier C, Tournaire MP, Rigouin L, Rumebe M, Fleury E, Foullaron P, Bouget JF, Robert S, Pepin JF, Grizon J, Seugnet JL, Chabirand JM, Le Moine O, Guesdon S, Lagarde F, Mortreux S, Le Gall P, Messiaen G, Roque D'Orbcastel E, Quemener L, Repecaud M, Mille D, Geay A, Bouquet AL (2015)** Observer, Analyser et Gérer la variabilité de la reproduction et du recrutement de l'huître creuse en France : Le Réseau Velyger. Rapport annuel 2014.

**Renault T, Bouquet AL, Maurice JT, Lupo C, Blachier P (2014).** Ostreid herpesvirus 1 infection among Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat: relevance of water temperature to virus replication and circulation prior to the onset of mortality. *Applied and environmental microbiology*, 80(17), 5419-5426.

**Rico-Villa B, Bernard I, Robert R, Pouvreau S (2010)** A Dynamic Energy Budget (DEB) growth model for Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 305, 84-94.

**Thomas Y, Pouvreau S, Alunno-Bruscia M, Barillé L, Gohin F, Bryère P, Gernez P (2016)** Global change and climate-driven invasion of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) along European coasts: a bioenergetics modelling approach. *Journal of Biogeography*, 43, 568-579.

**Zhu, S, Nyarko, E K, Hadzima-Nyarko, M (2018).** Modelling daily water temperature from air temperature for the Missouri River. *PeerJ*, 6, e4894.