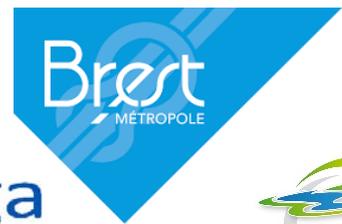




Laboratoire public
Conseil, Expertise et Analyse en Bretagne

SANTÉ
ALIMENTAIRE
SERVICES
EAU & ENVIRONNEMENT

Département du Finistère (29)



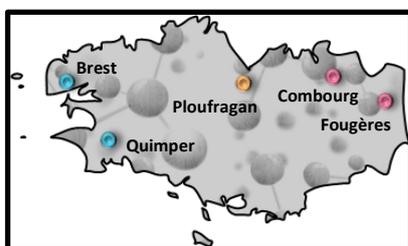
Rapport

Contrat de rade de Brest – Diagnostic Environnemental

J. Le Goff, T. Patris, C. Cotten

Avec la collaboration de (entre autres) : M. Auffret, P. Bailly du Bois, X. Bade, S. Ballu, L. Bosseboeuf, P. J. Bouvet, G. Calvar, P.Y. Clavier, S. Crozatier, N. Das Neves Bicho, J. Dengreville, G. Durand, F. Dumas, P. Durand, A. Gastrin, J. Grall, N., Le Gac, S. Le Guennec, L. Goardon, J. Goguer, J. Goslin, M. Gourmelon, M. Hanzo, S. Isoard, J. L. Jung, L. Labbé, A. Le Joncour, C. Liret, P. Luneau, A. Marrec, J. Martin, F. Moussu, M. Olivier, Y.M. Paulet, A. Penaud, L. Péron, C. Pauchet, A. Pibot, M. Plus, P. Pouline, M. Raimonet, N. Rey, L. Rioual, J. E. Rougier, F. Senechal, E. Stefan, A. Uguen, M. Waeles, etc.

Février 2023



Finistère

Site de Brest : 120 avenue A. De Rochon
29280 PLOUZANE

Site de Quimper : 22 av. de la Plage des
Gueux 29334 QUIMPER

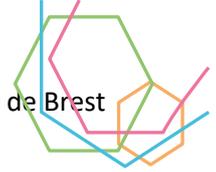
Côtes d'Armor

Siège Social - Site de Ploufragan
Zoopôle – 7 rue du Sabot - CS 30054
22440 PLOUFRAGAN
Standard LABOCEA 02 96 69 02 10

Ille-et-Vilaine

Site de Combourg – La Magdeleine
35270 COMBOURG

Site de Fougères – 10 rue Claude Bourgelat
35306 FOUGERES



FICHE D'IDENTIFICATION DE L'ÉTUDE

CLIENT

| | | | |
|----------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| Noms | Brest Métropole | Syndicat de bassin de l'Elorn | Etablissement Public d'Aménagement et Gestion du bassin versant de l'Aulne |
| Raison sociale | Communauté Urbaine | Syndicat mixte | Syndicat mixte |
| Coordonnées | 24 rue Coat ar Gueven – 29200 BREST | Guern Ar Piquet – 29460 DAOULAS | Penmez – 29150 CHATEAULIN |

PRESTATAIRE

| | |
|----------------|--|
| Nom | LABOCEA – Service Bureau d'Etudes |
| Raison sociale | GIP à caractère sanitaire et social – SIREN 130 002 082 SIRET Site de Brest : 130 002 082 00027 |
| Coordonnées | Technopôle Brest-Iroise 120 av. Alexis de Rochon - CS 10052 - 29 280 Plouzané ✉ contact@labocea.fr - http://www.labocea.fr |
| Contact | ☎ 02 98 34 11 16 - Fax: 02 98 34 11 01 |

LOCALISATION DE L'ÉTUDE

| | |
|--------------------|--|
| Nom | La rade de Brest et ses bassins versants |
| Type d'étude | Diagnostic environnemental |
| Secteur d'activité | Environnement |

RAPPORT

| | |
|------------------------|---|
| Date rendu pour examen | 26/09/2022 |
| Date de rendu COSTRAT | 01/12/2022 |
| Date rendu COPIL | 15/02/2023 |
| Responsable d'étude | Johan LE GOFF - joan.legoff@labocea.fr Thierry PATRIS - thierry.patris@labocea.fr |

| | | Nom | Fonction | Date |
|------|--------------------------|----------------|-----------|------------|
| Rôle | Rédaction & Vérification | Johan LE GOFF | Ingénieur | 15/02/2023 |
| | Rédaction & Vérification | Thierry PATRIS | Ingénieur | 15/02/2023 |



PREAMBULE

Le présent **diagnostic environnemental** de la rade de Brest est impulsé par une communication de Monsieur P. Lelarge, alors Préfet du Finistère (Lelarge, 2018). Adressée aux présidents des commissions locales de l'eau des SAGE Aulne et Elorn, cette lettre souligne une préoccupation portée sur la *qualité du milieu marin* (sic) en rade de Brest, où se côtoient de nombreuses activités économiques, industrielles, portuaires, halieutiques, de pêches et de cultures marines, dépendantes d'un environnement de qualité. Par conséquent, l'évaluation de la qualité de l'eau et des usages en rade de Brest doit faire l'objet d'un *programme de travail partagé (...), en matière d'animation, de connaissance et d'action concrète (...)* pour recouvrer une qualité du milieu marin. Le présent diagnostic représente le volet '*connaissance*' du programme de travail. Mis en place sous la gouvernance de Brest Métropole en collaboration avec les deux syndicats de Bassin Versant (EPAGA – Etablissement Public d'Aménagement et de Gestion du bassin versant de l'Aulne, et SBE – Syndicat de Bassin de l'Elorn), ce rapport a été rédigé par LABOCEA, avec l'appui d'un comité scientifique et de nombreux acteurs du territoire. Ce rapport s'appuie sur des données objectives extraites d'articles scientifiques, de rapports d'institutions publiques et privées, de bases de données gouvernementales et des services de l'Etat.

La diversité des thématiques abordées dans ce rapport force à une organisation claire qui puisse permettre à la fois une lecture logique et une recherche rapide d'un sujet en particulier. Le rapport est structuré en cinq parties (Figure 1) pointant l'incidence des pressions anthropiques sur le milieu naturel et leurs répercussions sur les activités humaines :

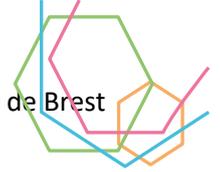
La première partie, **Milieu physique et écosystèmes**, introduit la zone d'étude selon un continuum 'Terre-Mer', et dresse un inventaire des contraintes naturelles de la rade de Brest et de ses bassins versants (géologie, hydrologie, bathymétrie et hydrodynamisme). La diversité des écosystèmes terrestre et marin de la rade et de ses bassins versants est ensuite abordée, toujours selon le continuum 'Terre-Mer'. Le développement de cette première partie s'accompagne d'un liseret bleu.

La seconde partie, **Usages et pressions au fil de l'eau**, s'intéresse à l'appropriation par l'Homme de son territoire, aux usages de l'eau, à la quantification des rejets au milieu (ex : pesticides) et aux modifications anthropiques (ex : évolution des surfaces). Par la diversité des pressions anthropiques qui affecte les milieux, cette partie est de loin la plus conséquente. Le développement de cette seconde partie s'accompagne d'un liseret jaune.

La troisième partie, **Effets sur les milieux et les écosystèmes**, s'applique à décrire les effets directs et indirects connus des activités anthropiques sur le vivant. Ces effets sont traduits aux travers d'indicateurs environnementaux sur la rade de Brest et ses bassins versants. Le développement de cette troisième partie s'accompagne d'un liseret beige.

La quatrième partie, **Répercussions sur les usages et l'économie**, se concentre sur la manière dont la dégradation des milieux affecte en retour les usages et activités humaines (ex : interdiction de pêche). Le développement de cette quatrième partie est marqué d'un liseret rouge.

La cinquième partie, **Gouvernance de la rade et de ses bassins versants**, s'attache à rappeler brièvement les différents acteurs de la rade, à mettre en valeur certains programmes existants de conservation et de restauration, et à analyser les aides financières en faveur de l'environnement reçues sur le territoire. En outre, les résultats des ateliers participatifs organisés dans le cadre de ce diagnostic sont mis en valeur et analysés. Le développement de cette cinquième partie est marqué d'un liseret noir.



I. MILIEU PHYSIQUE ET BIODIVERSITE

Huîtres plates et maërl



II. USAGES ET PRESSIONS AU FIL DE L'EAU

Exutoire de réseau



III. EFFETS SUR LES ECOSYSTEMES

Phénomène de chambrage d'une huître



IV. REPERCUSSIONS SUR LES USAGES ET L'ECONOMIE

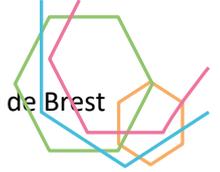
Bateau de pêche à l'abandon



V. LA GOUVERNANCE DE LA RADE

Exemple de gouvernance

Figure 1 : Structure du diagnostic. Crédits photographiques (de haut en bas) : S. Pouvreau (Ifremer), C. Cotten (Labocéa), J. Droit (Cerema), C. Cotten (Labocéa), Banque d'images internet



SOMMAIRE

I. MILIEU PHYSIQUE ET ECOSYSTEMES 21

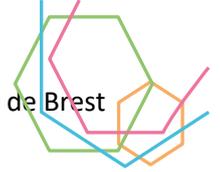
- I.1. Le milieu physique de la Terre à la Mer 21
 - I.1.1. Géologie 21
 - I.1.2. Hydrologie et hydrogéologie 23
 - I.1.3. Topographie et bathymétrie 26
 - I.1.4. Hydrodynamisme et sédimentologie 28
- I.2. Biotopes et biocénose 34
 - I.2.1. La forêt 35
 - I.2.2. Les landes 35
 - I.2.3. Le bocage et les zones humides 36
 - I.2.4. Le milieu littoral 36
 - I.2.5. Le milieu sous-marin 41

II. USAGES ET PRESSIONS AU FIL DE L'EAU 58

- II.1. Quels usages ? 58
 - II.1.1. Le continuum Terre-Mer 58
 - II.1.2. Usages tributaires de la qualité de l'eau ? 59
 - II.1.3. Usages dégradant la qualité de l'eau 68
- II.2. Quelles pressions ? 107
 - II.2.1. Macro et micropolluants 108
 - II.2.2. Bactéries et virus d'origine fécale 137
 - II.2.3. Radioactivité 140
 - II.2.4. Pollution sonore 147
 - II.2.5. Exploitation de la ressource 149
 - II.2.6. Evolution de l'occupation des sols 151
 - II.2.7. Dynamique climatique et niveau marin 154

III. EFFETS SUR LES ECOSYSTEMES 166

- III.1. La qualité du milieu traduite par les indicateurs 166
 - III.1.1. Etat des lieux DCE et DCSMM 167
 - III.1.2. Indicateurs benthiques 171
 - III.1.3. Indicateurs biodiversité 180
 - III.1.4. Indicateurs de pression 182
- III.2. Développement d'espèces invasives ou toxiques 189
 - III.2.1. Les microalgues toxiques 189
 - III.2.2. Planctons, bivalves, gastéropodes et annélides 192
 - III.2.3. Les algues vertes et phénomènes d'eutrophisation 196
 - III.2.4. Autres phénomènes d'eutrophisation 199
- III.3. Autres effets des polluants et aménagements 202
 - III.3.1. Les macro et micropolluants 202



III.3.2. Les aménagements 207

IV. REPERCUSSIONS SUR LES USAGES ET L'ECONOMIE 212

IV.1. Répercussions sur la pêche professionnelle 212

IV.1.1. Pêche embarquée 213

IV.1.2. Conchyliculture 214

IV.1.3. Pêche à pied professionnelle 215

IV.2. Répercussions sur les activités de loisir 216

IV.2.1. La qualité des eaux de baignade 216

IV.2.2. Pêche à pied 217

V. GOUVERNANCE et ACTIONS DE RESTAURATION 220

V.1. Les acteurs de la rade et de ses bassins versants 220

V.2. Programmes de conservation – restauration 222

V.2.1. Côté Terre 222

V.2.2. Côté Mer 225

VI. ANNEXES 239

VI.1. Aides financières 240

VI.1.1. A l'échelle Européenne 240

VI.1.2. A l'échelle du bassin versant Loire-Bretagne 242

VI.2. Ateliers participatifs 250

VI.2.1. Première session 250

VI.2.2. Seconde session 265



LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Structure du diagnostic. Crédits photographiques (de haut en bas) : S. Pouvreau (Ifremer), C. Cotten (Labocéa), J. Droit (Cerema), C. Cotten (Labocéa), Banque d'images internet..... | 4 |
| Figure 2 : Localisation du bassin versant de la rade de Brest et son emprise sur les formations géologiques sous-jacentes (Infoterre). Les lithologies représentées de couleur rouge ou orange sont des roches intrusives (granitoïdes), les lithologies représentées en vert et marron correspondent aux roches sédimentaires du bassin de Châteaulin. Le bassin versant de la rade de Brest est délimité par le trait pointillé..... | 22 |
| Figure 3 : Géologie et bathymétrie de la rade de Brest et de la Mer d'Iroise. La faille de l'Elorn correspond au contact entre les séries paléozoïque et briovériennes (Gregoire et al., 2016). | 22 |
| Figure 4 : Découpage hydrologique suivant les principaux cours d'eau sur le bassin versant de la rade de Brest (Trodec et al., 1997). | 23 |
| Figure 5 : Coupe lithostratigraphique du massif Armoricaïn et paramètres hydrodynamiques correspondant (Lucassou et al., 2020). Transmissivité, capacité à mobiliser l'eau ; Emmagasinement, quantité d'eau libérée par variation unitaire de charge hydraulique (quantité d'eau 'mobilisable). L'encart bleu cible les formations géologiques présentes sur les bassins versant de la rade de Brest (Gneiss de Brest, Schistes et grès du bassin de Châteaulin, granitoïdes). | 25 |
| Figure 6 : Topographie et toponymie sur les bassins versants de la Rade de Brest. Exagération verticale x12. ... | 27 |
| Figure 7 : Morphologie sous-marine de la rade de Brest et de l'organisation en 'terrasses' de part et d'autre des chenaux principaux de l'Aulne et de l'Elorn (Grégoire et al., 2016). | 28 |
| Figure 8 : Carte bathymétrique de la rade de Brest et marnage exceptionnel lors d'une marée d'équinoxe comparé aux autres sections du littoral finistérien (Olivier et al., 2021). T1, T2, T3 sont les terrasses sédimentaires décrites en Figure 7..... | 28 |
| Figure 9 : Courants tidiaux en rade de Brest (coefficient 95). Circulation durant le flot (marée montante) et durant le jusant (marée descendante). Guérin, 2004, d'après SHOM, 1994..... | 29 |
| Figure 10 : Vitesse moyenne et direction des courants tidiaux durant une marée d'équinoxe de printemps. Simulation numérique d'après Olivier et al., 2021 | 30 |
| Figure 11 : Coefficient de diffusion (en m ² /s) moyen pour une marée de coefficient 70 (Petton et al., 2020)... | 31 |
| Figure 12 : Identification de trois domaines faciologiques de la rade de Brest. Zone verte, faciès boueux mélangés à des éléments coquilliers (crépides, maërl) ; zone rouge, sable coquillier et graviers ; zone bleue au-delà de la rade, sable fin à grossier, sables coquilliers et graviers localisés sur des surfaces d'érosion (Gregoire et al., 2016). | 32 |
| Figure 13 : Carte sédimentaire de la rade de Brest et emplacement des principaux bancs de maërl et crépides (Gregoire, 2016). | 32 |
| Figure 14 : Taux de transport sédimentaire maximal au cours du cycle de marée moyenne (a) en suspension et (b) en charriage (Beudin, 2014) | 33 |
| Figure 15 : Délimitation du bassin versant de la rade de Brest et localisation des zones humides, massifs à tourbières et ZNIEFF de type 1 et 2 (SIG réseau Zones humides)..... | 35 |
| Figure 16 : A gauche, Prés salés, Anse du Bourg à Logonna Daoulas (PNRA, com. pers.) ; A droite Limonium humile (PNRA, com. pers.) | 38 |
| Figure 17 : Exemple de carte d'habitats benthiques en zone intertidale pour l'estuaire de l'Aulne (Larzillière et al., 2008 ; Larzillière et al., 2009). | 39 |
| Figure 18 : A droite, infographie Life Marha sur les champs de blocs | 40 |
| Figure 19 : A gauche, Infographie sur les vasières (Life Marha, OFB) ; A droite, photo de vasière (Agathe Larzillière, PNRA) | 42 |
| Figure 20 : Herbier de zostères naines (Thibaut de Bettignies UMS PatriNat) | 43 |
| Figure 21 : Evolution des herbiers de zostères entre 2007, 2009, 2015, et 2021 (OFB, 2022)..... | 44 |
| Figure 22 : Localisation des bancs de maërl en Rade de Brest (encart, extrait du navigateur Life-Marha) et photo sous-marine d'un banc de maërl au large de Lomergat (A. Pibot), l'espèce Lithophyllum fasciculatum est visible au premier plan sous forme globulaire violacée..... | 45 |
| Figure 23 : (A) Banc d'huîtres plates (Ostrea edulis) sur du maërl en Baie de Roscanvel. Sont visibles également des pétoncles, des algues rouges, des éponges et de petits gastéropodes (Duchêne et al. 2015, photo S. Pouvreau) ; (B) Oursins violets Paracentrotus lividus (Diméet, 2006) ; (C) Mollusque bivalve Pseudopythina macandrewi (Photo W. Bay-Nouailhat) ; (D) L'annélide Hesione sicula (Photo B. Guichard)..... | 46 |

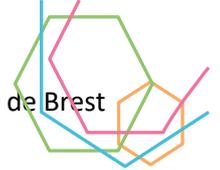


Figure 24 : Echouages de capsules d’œufs vides de raies bouclées (à gauche) et localisation des observations en plongée et des captures de raies brunettes (à droite ; Stéphan, 2017)..... 48

Figure 25 : (A) Raie bouclée (photo W. Bay-Nouailhat à Landévennec, 2015); (B) Œuf de grande roussette (photo B. Guichard à Pennou Pell, 2015); (C) Grande roussette (photo B. Guichard à l’Île Ronde, 2015); (D) Petite roussette (photo B. Guichard aux Ducs d’Albe, 2016) Extraits de Stephan, 2017. 48

Figure 26 : (a) Dauphin de Risso (*Grampus griseus*) ; (b) Dauphin commun (*Delphinus delphis*) ; (c) Globicéphale noir (*Globicephala melas*) ; (d) Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) Photos Océanopolis..... 49

Figure 27 : Affiche du programme de sciences participatives dédié aux mammifères marins en rade de Brest . 50

Figure 28 : Trois phoques gris observés en rade de Brest à marée descendante - Photo UBO 51

Figure 29 : Répartition des 17 points de collecte en rade de Brest du programme de science participative Objectif Plancton. 52

Figure 30 : (A et B) Salinité de surface en rade de Brest, (A) le 14/09/2019 et (B) le 19/09/2020, à l’heure de prélèvement. Sources : simulations issues du modèle MARS-3D (Ifremer). Les valeurs de salinité aux points « Objectif Plancton » ont été calculées en effectuant une interprétation bi-linéaire des valeurs simulées aux 4 points de grille du modèle MARS-3D qui encadraient chaque point « Objectif Plancton » ; (C et D) Température de surface en rade de Brest, (C) le 14/09/2019 et (D) le 19/09/2020. Sources : simulations issues du modèle MARS-3D (Ifremer ; Guillou et al., 2022). 53

Figure 31 : Représentation graphique des 3 grandes classes de phytoplancton, de la gauche vers la droite, diatomée, nanophytoplancton et dinoflagellé (Photos Alexandre Bourdon)..... 53

Figure 32 : Représentation des pourcentages de diatomées, dinoflagellés et nanophytoplanctons dans points de contrôle du programme Objectif plancton en rade de Brest (A) 27/09/2014 ; (B) 14/09/2019; (C) 19/09/2020. 54

Figure 33 : Larve de dorade grise..... 54

Figure 34 : Représentation de certains usages tributaires de la qualité de l’eau en bleu, vue de la rade (dans le sens horaire : piscicultures, alimentation en eau potable, agriculture, conchyliculture, pêche en mer, pompage Océanopolis, baignade). Les échanges avec la Mer d’Iroise sont symbolisés par des flèches bleues. 59

Figure 35 : Semis de juvéniles de pétoncles noirs en rade de Brest. 60

Figure 36 : Pêche de mollusques bivalves (sauf amandes, vénus et vernis) dans le secteur de Brest Camaret (Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins de Bretagne, 2017). 61

Figure 37 : Zones de pratique pour les métiers de la pêche à la drague (Le Guyader, 2012)..... 61

Figure 38 : Zones de pratique pour les métiers de la pêche au filet (Le Guyader, 2012). 62

Figure 39 : Zones de pratique pour les métiers de la pêche au casier (Le Guyader, 2012). 62

Figure 40 : Carte de situation des installations et concessions conchylicoles en rade de Brest (Diagnostic des filières pêche et aquaculture en Pays de Brest, 2016)..... 63

Figure 41 : Fréquentation de la rade de Brest par les pêcheurs à pied de loisir du 23 au 25 août 2021 (OFB, 2022). 65

Figure 42 : Sites de plongée sous-marine de loisir dans la rade de Brest 66

Figure 43 : Activités nautiques en rade de Brest (ADEUPA)..... 66

Figure 44 : Plan de situation de la criée et localisation du pompage d’eau..... 67

Figure 45 : Position de la prise d’eau du centre Océanopolis..... 67

Figure 46 : Représentation schématique de certains usages identifiés sur le bassin versant de la rade de Brest qui par leurs rejets dégradent la qualité de l’eau. Dans le sens horaire depuis le bas de l’image, les activités agricoles, les activités piscicoles, les activités minières, les activités de carénage et de stationnement des navires, les usages domestiques et leurs rejets, le stockage de déchets, les serres, les usages industriels, et les rejets de substances médicamenteuses. 69

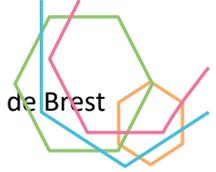
Figure 47 : Localisation des exutoires des déversoirs d’orage dans la rade (Document de travail Eau du Ponant). 71

Figure 48 : Communes littorales de la rade et leur nombre d’assainissement non-collectifs non-conformes et polluants (données SEA 29) 73

Figure 49 : (A) Carte et (B) répartition de l’occupation du sol sur les bassins versants de la rade de Brest. Les chiffres clés sont indiqués dans le tableau (C). 74

Figure 50 : Nombre d’exploitations agricoles sur les bassins versant de la rade en 2020, et part des exploitations biologiques, statistiques par commune (données Agreste et Observatoire des Territoires, 2020). Les données sont localisées à la commune où se situe le lieu principal de production de chaque exploitation. Une exploitation pouvant exercer son activité sur plusieurs communes, ou plusieurs départements voire plusieurs régions. 75

Figure 51 : (A) Surface Agricole Utile (SAU) en hectares (Ha) pour chaque commune des bassins versants de la rade de Brest et part de cette SAU par rapport à la superficie de la commune (données Agreste, 2020). La SAU est indicative car localisée à la commune où se situe le lieu principal de chaque exploitation. Une exploitation



peut exercer son activité sur plusieurs communes, plusieurs départements ou plusieurs régions. (B) Evolution de la SAU entre 2010 et 2020 sur les bassins versants de la rade de Brest..... 76

Figure 52 : Proportions des types de production agricole sur chacun des sous-bassins versants du territoire (Registres parcellaires graphiques de 2010 et 2020)..... 78

Figure 53 : Spécialisation dominante des exploitations sur les communes des bassins versants de la rade de Brest (Agreste, 2020)..... 79

Figure 54 : Représentation du cheptel par commune (Agreste, 2020)..... 80

Figure 55 : Système de fonctionnement d’une serre industrielle..... 81

Figure 56 : Superficie des serres chauffées en hectares en France (Reporterre.net d’après une enquête du Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes - Ctifl, 2016) 82

Figure 57 : Irrigation, localisation des serres (en rouge) et des cultures de plein champ (en vert) sur les bassins hydrographiques du Nord Finistère (DREAL Bretagne 2020)..... 83

Figure 58 : Localisation des piscicultures et leur production associée en tonnes (données DREAL, 2016) et DDTM, 2022) 84

Figure 59 : Colonisation progressive (ou fouling) de la coque d’un bateau par les organismes marins (Droit et Besançon, 2018)..... 85

Figure 60 : Composition chimique des peintures antifouling (Droit et Besançon, 2018) 87

Figure 61 : Déchets dangereux issus de l’activité de carénage (Droit et Besançon, 2018)..... 88

Figure 62 : Salissures marines issues du carénage (Droit et Besançon, 2018)..... 88

Figure 63 : Filière de traitement de base préconisée par l’AELB (Droit et Besançon, 2008, modifié) 90

Figure 64 : Localisation des aires et cales de carénage en rade de Brest. 92

Figure 65 : Localisation de la cale de carénage (Nord) et de l’aire de carénage (Sud) au port de plaisance du Moulin Blanc (Brest). 93

Figure 66 : Equipement de traitement de l’eau issue des opérations de carénage sur les deux sites du Port de Moulin Blanc (compilé d’après HYDRO Environnement, 2015, 2018a, b ; ADH2OC, 2018) 93

Figure 67 : Synthèse de la filière de traitement de la station de carénage du Port du Château à Brest (Kerlan Industrie, sd) 94

Figure 68 : Schéma de la station de dépollution utilisée à Plougastel-Daoulas (Morvan, 2014 dans Duvail et Moreau-Haug, 2017, modifié)..... 95

Figure 69 : Coupe longitudinale de fonctionnement de l’aire de carénage de Térénez à Rosnoën. Les effluents à traiter proviennent de la partie gauche de la coupe, et le rejet au milieu s’effectue sur la droite de la coupe. . 96

Figure 70 : Descriptif et localisation des formes de radoub dans le port de commerce (CCI, 2009)..... 97

Figure 71 : Localisation de la station de déballastage de Brest et son point de rejet en rade de Brest 100

Figure 72 : Synoptique de la station de déballastage (CCI, 2006)..... 101

Figure 73 : Cartographie des bassins quais et épis pour porte-avions le long de la Penfeld et dans la rade abri. 102

Figure 74 : Evolution des surfaces de carènes traitées par le service Peinture de DCN Services Brest sur la période 1993-2005 (LASEM/LCA, 2005). 103

Figure 75 : Voies maritimes dans la rade de Brest et en Mer d’Iroise (en haut, rapport Brest Pêche 2016) et cartographie des usages en rade de Brest (Adeupa). 105

Figure 76 : Intensités de transport (A) de cargos ; (B) de bateaux de pêche ; (C) de Yachts ; (D) de tankers ; (E) de passagers ; et (F) de tous les navires confondus. Données issues du système d’identification automatique (AIS) transmises par les navires sous forme de point puis ventilées dans un carroyage de 1 minute (longitude) sur une minute (latitude). Les chiffres indiqués correspondent au nombre de navires par an (données Géolittoral, le portail de la mer et du littoral)..... 106

Figure 77 : Flux de phosphore total en tonne/an pour les stations d’épurations des bassins versants de la rade de Brest. Les flux les plus faibles (0 – 0.2 T/an) apparaissent en jaune (Données du Service Eau potable et Assainissement 29) 108

Figure 78 : Rendement épuratoire pour le Phosphore total pour les stations d’épurations dont la capacité excède 10 000 équivalents habitants. Erratum (STEU > 10 000 EH) 109

Figure 79 : Evolution et répartition des surplus départementaux moyens (sur 10 ans ; Poisvert, 2018)..... 111

Figure 80 : Schéma d’évolution des postes de la balance azotée en France et mise en relation du contexte historique avec l’évolution de l’export d’azote pour les différents types de culture (Poisvert, 2018)..... 112

Figure 81 : Déclarations de flux d’azote (en kgN/ha de SAU) pour la Bretagne (Préfecture Région Bretagne, 2020) 113

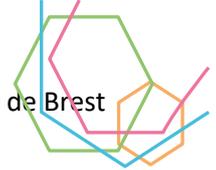


Figure 82 : (a) Flux d'azote normalisés (1976-2015) et (b) Surplus azotés (1955-2015) sur 16 bassins versants bretons (Dupas et al., 2020, modifié). Les rivières et fleuves du bassin versant de la rade sont individualisés sur la figure (a) (Elorn, Hyères, Aulne, Ellez)..... 114

Figure 83 : Schématisation des transferts de d'azote en surface et en subsurface (Durand, 2021). En rouge, la représentation des stocks d'azote et en vert les interactions sol-nappe. 115

Figure 84 : Evolution des concentrations en nitrates de 1995 à 2020 (moyennes et percentiles 90) sur quatre fleuves du bassin versant de la rade (source des données traitées : Observatoire de l'Environnement en Bretagne)..... 116

Figure 85 : Flux d'Azote global en tonnes/an pour les stations d'épuration des bassins versants de la rade de Brest (Labocéa)..... 117

Figure 86 : Indicateur de Fréquence des Traitements (IFT) correspondant aux doses de produits phytosanitaires appliqués par hectare pendant une campagne culturale. L'IFT communal correspond à la moyenne des IFT par culture. L'IFT total (hors biocontrôle) concerne tous les types de produits de synthèse (herbicides, insecticides, fongicides, traitements de semence, autres ; Solagro.org.) 119

Figure 87 : Quantités de substances actives et leurs ventes (tonnage, pourcentage) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Elorn (Bretagne-environnement.fr)..... 120

Figure 88 : Quantités de substances actives et leurs ventes (tonnage, pourcentage) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr)..... 120

Figure 89 : Evolution des ventes de deux pesticides (glyphosate et s-metolachlore) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Elorn (Bretagne-environnement.fr)..... 121

Figure 90 : Evolution des ventes de deux pesticides (glyphosate et s-metolachlore) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr)..... 121

Figure 91 : Substances quantifiées dans les analyses d'eau (dont la concentration est supérieure au seuil de détection) et fréquence de dépassement des seuils de pesticides sur le bassin versant de l'Elorn (Bretagne-environnement.fr)..... 122

Figure 92 : Substances quantifiées dans les analyses d'eau (dont la concentration est supérieure au seuil de détection) et fréquence de dépassement des seuils de pesticides sur le bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr)..... 123

Figure 93 : Illustration schématique de la distribution par les pesticides dans différentes matrices présentes dans (A) l'atmosphère, (B) le milieu terrestre, (C) les milieux aquatiques continentaux, et (D) marins (Leenhardt et al., 2022). 124

Figure 94 : Principaux biocides identifiés dans des pots de peinture antifouling en vente en 2011 dans le Pays de Brest (Droit et Besançon, 2018) 125

Figure 95 : Nombre de microplastiques (MP) comptabilisés lors de la campagne 2017 (MICROPLASTIC2, 2020). 126

Figure 96 : Campagne de collecte des déchets sur l'Elorn dans le cadre de la mission PPP (Preventing Plastic Pollution, SBE) 127

Figure 97 : Moyenne des concentrations de microplastiques et de type de microplastiques prélevés sur le bassin versant de la rade de Brest au cours de cinq campagnes de prélèvement (2020-2022). PE, Polyéthylène ; PET, Polyestère ; PP, Polypropylène ; PS, Polystyrène ; PA, Polyamide ; PU, Polyuréthane ; PVC, Polyvinyl Chloride ; PAN, Polyacrylonitrile ; EVA, Ethylène -Vinyl Acétate ; SBR, Styrène-butadiène (Labocéa, Projet Preventing Plastic Pollution, INTERREG FMA FEDER). 128

Figure 98 : Microplastiques flottants collectés en rade de Brest (Frère, 2017, photo par Hervé S.)..... 129

Figure 99 : Concentration en microplastiques (MP/m³) dans les eaux de surface de la rade de Brest au printemps et à l'automne 2014 (Frère, 2017). 129

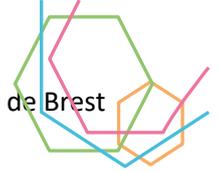
Figure 100 : Carte du bassin versant de la rade de Brest et localisation des sites d'échantillonnage (étoiles, chaque rivière est représentée par une couleur) et des activités présentes sur le territoire (Guérin, 2020). 130

Figure 101 : Concentrations en plomb dissous et particulaire (associé aux matières en suspension) sur chaque tronçon du réseau hydrographique investigué dans la partie Aulne amont (Guérin, 2020 ; Waeles, comm. pers.) 131

Figure 102 : Cartographie de la contamination en Cadmium, plomb, zinc et argent dans les sédiments de la rade de Brest (Chiffolleau et al., 2017). 133

Figure 103 : Synthèse des données de contamination chimique sédimentaire de la rade de Brest et comparaison avec les baies de Bretagne Nord. En rouge, concentrations dépassant les seuils 'hauts' selon l'OSPAR. En jaune, concentrations remarquablement élevées de la série (Chiffolleau et al., 2017). 134

Figure 104 : Teneurs en fluoranthène en dans la rade de Brest (Chiffolleau et al., 2017). 136



| | |
|--|-----|
| Figure 105 : Flux d'Escherichia Coli moyen et dépassé 10% du temps pour les STEP et les rivières autour de la rade (Labocéa) | 139 |
| Figure 106 : Approche Microbial Source Tracking : traceurs de sources microbiennes, les cibles pour identifier l'origine d'une contamination. Recherche de cibles permettant de différencier une origine humaine d'une origine animale et de discriminer la source animale. Marqueurs associés à l'hôte (Gourmelon et al., 2021)..... | 140 |
| Figure 107 : Mesures significatives et seuil de décision dans le cas de mesures de radioactivité (IRSN, mesures-radioactivite.fr) | 142 |
| Figure 108 : Points d'échantillonnage sédimentaire en rade de Brest | 143 |
| Figure 109 : Impact du bruit d'origine humaine sur la faune sous-marine (mer.gouv.fr) | 148 |
| Figure 110 : De haut en bas, (1) l'environnement acoustique avant l'ère industrielle largement composé de sons liés à la géologie (géophonie), à des sources biologiques (biophonie), et des contributions humaines mineures (anthropophonie), (2) l'Anthropocene (présent) avec une multiplication des sources anthropiques et une biophonie réduite compte-tenu de l'évolution décroissante des populations marines et des habitats marins sains. Deux issues de management de l'environnement marin sont projetés au regard de l'accroissement des activités humaines : (3) un scénario négatif pour l'environnement marin, de plus en plus affecté par les activités humaines, et (4) un management vertueux des émissions acoustiques sous-marines (Duarte et al., 2021) | 149 |
| Figure 111 : Carte des pressions de pêche cumulées pour la période 2015-2017 dans le cadre d'une étude sur les interactions entre les habitats benthiques et la pêche à l'aide des dragues à praires (Grall, 2018). L'échelle de couleur s'étend du jaune (pression faible) au violet (pression forte, et les polygones violets représentent l'emplacement des bancs de maërl. | 150 |
| Figure 112 : Photographie de trois types de dragues : (A) coquille Saint-Jacques ; (B) pétoncle blanc, et (c) palourde (photos : Comités des pêches du Finistère, publié par Tauran et al., 2020) | 151 |
| Figure 113 : Modification des paramètres hydrologiques dus à l'imperméabilisation des sols (Voisin, 2017) | 152 |
| Figure 114 : Comparaison entre deux photographies aériennes (1950-2011) montrant l'évolution du paysage bocager dans le Finistère (Lambert, 2017 d'après BD Orth historique, IGN, 2011)..... | 153 |
| Figure 115 : Evènements climatiques et périodes culturelles en Bretagne dans le contexte climatique global (Lambert, 2017)..... | 155 |
| Figure 116 : Evolution des température de l'air (2-m d'altitude) sur l'axe de gauche et changement estimé depuis l'ère pré-industrielle (axe de droite) suivant des modèles différents (GISTEMP, NASA ; JRA-55, JMA ; HadCRUT4, Met office Hadley Centre ; ERA5, Copernicus Climate, Change Service, C3S ; NOAA GlobalTemp, NOAA ; source, Copernicus Climate Change Service C3S/ECMWF) | 155 |
| Figure 117 : Reconstitution de la courbe régionale de remontée du niveau marin par la méthode des 'sea-level index points' (Goslin et al., 2015). | 156 |
| Figure 118 : Evolution observée de la température moyenne de l'air (sous abri) annuelle depuis 1959 (moyenne glissante sur 11 ans), Cauchy et al. 2019. | 157 |
| Figure 119 : Evolution du niveau marin à Brest depuis 1711, issu des travaux de N. Pouvreau (Shom)Un suivi de l'évolution du trait de côte et des paramètres d'élévation du niveau marin couplé avec les aléas climatiques (vent, hauteur de vague) est opéré par l'IUEM pour la rade de Brest..... | 158 |
| Figure 120 : Principaux sites d'observation et de suivi des alés érosion et submersion marines en Bretagne. . | 158 |
| Figure 121 : Les deux illustrations supérieures représentent la position de la surface de la mer par rapport au niveau moyen et la hauteur significative des vagues (avec leur direction), respectivement, le 29/10/21 à 10h dans des conditions d'agitation normales. Les deux illustrations inférieures représentent également la position de la mer par rapport au niveau moyen et la hauteur significative des vagues, cette fois-ci dans des conditions agitées, avec plus de 1,25 m de vague (extraits d'une présentation dans le cadre de European University of the Sea, Penaud et Rimmelin)..... | 160 |
| Figure 122 : Cartographie des zones basses des communes exposées au risque de submersion marine (Préfecture du Finistère, 2013). Zoom sur trois villes comportant des aléas moyens à fort, de droite à gauche et de haut en bas : Brest, Landerneau et Châteaulin. | 161 |
| Figure 123 : Schématisation du continuum Terre-Mer sur le bassin versant de la rade de Brest. La préservation des écosystèmes, depuis les milieux continentaux jusqu'au milieu marin, est symbolisée par la représentation d'espèces végétales et animales. Les usages tributaires de la qualité de l'eau sont cerclé d'un rond bleu. Les usages pouvant dégrader la qualité de l'eau sont cerclés en orange. Dans le sens horaire et en partant du bas de l'image, les cercles 'usages' représentent successivement : la pisciculture, les activités minières, la conchyliculture, la baignade, la pêche embarquée, la réparation navale, la prise d'eau d'Océanopolis, le ruissellement sur les surfaces urbanisées, les stations d'épuration, les décharges, la pisciculture, les serres, les industries, l'agriculture, les substances médicamenteuses, l'agriculture, et l'alimentation en eau potable..... | 166 |

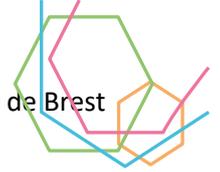


Figure 124 : Visualisation des masses d'eau et des points de surveillance sur la côte Ouest du Finistère (Ifremer.fr, envlit) 167

Figure 125 : L'état écologique en rade de Brest (ENVLIT, IFREMER). Voir grille de lecture sur le Tableau 26.... 168

Figure 126 : L'état chimique en rade de Brest (ENVLIT, IFREMER). Voir grille de lecture sur le Tableau 26 168

Figure 127 : Distribution des VDSI (Vas Deferens Sequence Index ou Imposex) dans la sous-région marine Manche – Mer du Nord. Le VDSI varie de 0 (absence de masculinisation des femelles de *Nucella lapillus*) à 6 (stérilité des femelles, Knoery, 2012 d'après Ifremer, 2011) 171

Figure 128 : Indicateurs benthiques en rade de Brest..... 173

Figure 129 : Localisation des stations de prélèvements (In vivo, 2012)..... 174

Figure 130 : Site d'expérimentation et station de transplantation des huîtres au Port de Brest (Auffret, 2022, projet MOULOBS)..... 175

Figure 131 : Méthode de suivi des populations d'huîtres (Auffret, 2022, projet MOULOBS) 175

Figure 132 : Stations de suivi ROCCH matière vivante en rade de Brest (Chiffolleau, 2017)..... 178

Figure 133 : Tributylétain (TBT) dans les huîtres du point Le Passage dans l'estuaire de l'Elorn (Chiffolleau, 2017). 180

Figure 134 : Distribution actuelle des teneurs en Tributylétain (TBT) dans les moules et les huîtres sur le littoral Loire-Bretagne (Chiffolleau, 2017)..... 180

Figure 135 : Résultats des comptages sur les SAGE Aulne et Elorn pour l'anguille Européenne, la Truite, et le Saumon Atlantique depuis 1980. Le nombre d'individus comptés (ind.), les comptages (compt.) et le stations (st.) sont indiqués pour chaque graphique (Données Bretagne-environnement.fr). 181

Figure 136 : La moule perlière ou margaritifera margaritifera, moule d'eau douce (Photo R. Ronné) 182

Figure 137 : Détail de la somme des concentrations en Chlorophylle-A et Phéopigments (en µg/l) sur des stations représentatives de la Penfeld, de l'Elorn et de la Mignonne (Bretagne-environnement.fr). Les périodes de mesure et l'échelle verticale est différente pour chaque station..... 183

Figure 138 : Détail de la somme des concentrations en Chlorophylle-A et Phéopigments (en µg/l) sur des stations représentatives de l'Hyères, du Canal de Nantes à Brest et de l'Elle en amont du bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr). Les périodes de mesure et l'échelle verticale sont différentes pour chaque station. 184

Figure 139 : Détail de la somme des concentrations en Chlorophylle-A et Phéopigments (en µg/l) sur des stations représentatives de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr). Les périodes de mesure et l'échelle verticale sont différentes pour chaque station. 185

Figure 140 : (a) localisation de la rade de Brest ; (b) Intensités de dragage (pression) calculée sur 5 ans (2012-2017) pour une zone d'étude constituée de mailles de 50*50 m et localisation des bancs de maërl (polygones gris). Les étoiles noires représentent les stations échantillonnées en SPI (Sediment Profile Imagery system) et les étoiles blanches sont les stations échantillonnées à la fois en SPI et en carottage manuel (Bernard et al., 2019). 186

Figure 141 : Photographies sous-marines en section obtenues avec le système SPI (Sediment Profile Imagery) sur trois stations de dragage respectivement (a) contrôlée, (b) modérée, et (c) intense, et leur images analysées correspondantes (d-f). Les lignes rouges correspondent à l'interface maërl-eau, les remplissages jaune et bleu correspondent au maërl vivant et mort, respectivement (Bernard et al., 2019). 187

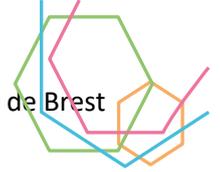
Figure 142 : Habitats sous-marins soumis à différentes pressions de pêche photographiés au travers d'un quadrat de 0.1 m² dans deux zones situées au large de Plougastel-Daoulas (Pointe de Rozegat) et à la Pointe de Logonna-Daoulas (Bendy). Des différences notables résident dans la structure de l'habitat, la présence ou l'absence de maërl vivant et de megafaune (oursins, gastéropodes etc. ; Ragueneau et al., 2018). 188

Figure 143 : En haut, observations des micro-organismes toxiques ; en bas, Dépassements de seuils pour Dinophysis, Alexandrium et Pseudo-nitzschia sur la période 2000-2019. 189

Figure 144 : A gauche, cartographie des abondances d'*Alexandrium minutum* en rade de Brest entre 2010 et 2015 (Chapelle et al., 2017, Sources RePHY, Région-Bretagne Daoulex, AELB-Phytorisk) ; A droite, abondances d'*Alexandrium minutum* en rade de Brest au regard de seuils sanitaire et d'alerte (Chapelle, 2017)..... 190

Figure 145 : Occurrences de copies de l'ADN (ITS1 rDNA) d'*Alexandrium minutum* par gramme de sédiment estimées dans l'enregistrement sédimentaire dans les estuaires de Daoulas et de l'Elorn. L'histogramme représente la quantification et les étoiles rouges à une présence sans que la quantification soit possible. Les enregistrements sédimentaires sont établis de 1873 à 2013 et de 1939 à 2011 pour l'estuaire de Daoulas et de l'Elorn, respectivement (Klouch et al., 2016a) 191

Figure 146 : Corrélation entre plusieurs variables le long d'un enregistrement sédimentaire prélevé en rade de Brest (Baie de Daoulas). L'évolution de gauche à droite : le rapport Titane/Calcium représente le rapport « signal terrestre/signal marin », son augmentation révèle un accroissement des apports terrigènes en provenance du



continent. Les % correspondent à l'abondance de micro-organismes (kystes de dinoflagellés) fossiles, les abondances d'*A. minutum* (analyses ADN) sont encadrées en rouge, l'évolution des concentrations en nitrates (SAGE Elorn et ECOFLUX) sont représentés depuis 1970 pour l'Elorn, l'évolution des températures atmosphériques (stations météorologiques de Brest et Rennes) est également représentée à droite de la figure (Lambert et al., 2018)..... 191

Figure 147 : Photo de cténophores (*Mnemiopsis leidyi*), Océanopolis, J. Froc..... 193

Figure 148 : photo sous-marine d'un fond recouvert de chaînes de crépidules (exemple de 'banalisation' des fonds marins (Beudin, 2014, photo Y. Fontana, Station Biologique de Roscoff))..... 194

Figure 149 : Spécimen vivant de *Gibbula albida*, barre d'échelle 1 cm (Le Duff et al., 2018)..... 195

Figure 150 : (A) Stations où le *Chaetozone corona* à été identifié (3 – rade de Brest) ; (B) et (C) Vues dorso-latérale et postérieure d'un spécimen collecté dans un banc de maërl de la rade de Brest, respectivement ; Abréviations : dC, dorsal Crest, pyg, pygidium (Le Garrec et al., 2016) 195

Figure 151 : Processus responsables de la prolifération des algues vertes (Pillard, 2016)..... 196

Figure 152 : Formes les plus communes d'algues vertes (en lames) sur le littoral breton (Ceva.fr, photo, T. Le Goff). 197

Figure 153 : Formes d'ulves dites filamenteuses, plus spécifiques des marées vertes sur vasières (cas de la rade de Brest) (Ceva.fr, photo A. Rio) 198

Figure 154 : Surfaces couvertes par les algues vertes sur plages et sur vasières au cours de trois inventaires sur la période 2007-2017 (CEVA et AELB)..... 200

Figure 155 : Sage associés à des masses d'eau déclassées par des marées vertes sur vasières (Projet de SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027). 201

Figure 156 : Processus biogéochimiques et physiques qui contrôlent la production des flux benthiques diffusifs et advectifs Louis et al. 2022, Synthèse IMPRO, 2022)..... 202

Figure 157 : Effets des produits phytosanitaires aux différents niveaux d'organisation biologique (Leenhardt et al., 2022) 203

Figure 158 : Phénomène de chambrage d'une huître (Droit et Besançon, 2018) 204

Figure 159 : Macro-déchets d'origine anthropique dans l'environnement sous-marin de la rade de Brest. (A) Chaussure colonisée par des pétoncles ; (B) Etiquette sur un lit de maërl ; (C) matériel indéterminé ; Etrille et masque chirurgical (photos ACDC Plougastel-Daoulas, A. Gastrin). 206

Figure 160 : Cycle de distribution, d'ingestion et de colonisation des écosystèmes marins par les microplastiques (Frère, 2017). 207

Figure 161 : Barrage sur la Penfeld. Au premier plan l'ancienne cale et le quai Riou-Kerhallet (Wiki-Brest, site collaboratif du patrimoine et du vivre ensemble à Brest) (Jaffrès et al., 2022)..... 207

Figure 162 : Distribution verticale de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous le long d'une section du réservoir de la Ria Penfeld en Juin 2021. Abréviations : gRPR, great Ria Penfeld reservoir (zone amont) et sRPR, small Ria Penfeld Reservoir (zone aval) (Jaffrès et al., 2022)..... 208

Figure 163 : Evolution du gisement rade de Brest – Camaret sur la période 2004-2019. Le tonnage de débarquement est représenté par les histogrammes verts, le nombre de licences de pêche est indiqué par la courbe bleue (Comité Départemental des pêches du Finistère, 2020). 213

Figure 164 : Carte de situation des sites de surveillance des zones de pêche à pied au 06/09/2022 sur pecheapied-responsable.fr. 217

Figure 165 : Etat des lieux 2018 sur l'utilisation de pesticides par les services communaux (SAGE de l'Elorn) . 222

Figure 166 : Territoires prioritaires Breizh Bocage 2 (2015/2020). Syndicat de Bassin de l'Elorn..... 224

Figure 167 : (A) et (B), préparation des solutions nutritives pour les coquilles Saint-Jacques ; (C) bac de croissance des juvéniles de coquilles Saint-Jacques ; (D) juvéniles de coquilles 226

Figure 168 : Préparation du système de filtration d'eau de mer à l'aide d'une pompe et d'un filet à plancton pour la pêche de larves d'huîtres plates (projet PERLE ; Duchêne et al., 2016)..... 230

Figure 169 : (A) Déploiement de récifs en béton coquilliers sur le banc du Roz en rade de Brest (Projet FOREVER, photo S. Lesbats, Ifremer) ; (B) Evaluation du taux de prédation sur des naissains d'huîtres plates sur le banc du Roz (Projet FOREVER, M. Hubert, Ifremer). 231

Figure 170 : Illustration de l'évolution de la colonisation sur le récif de la rade de Brest (Pouvreau et al., 2021) 232

Figure 171 : Evolution du diagramme de taille des populations de pétoncles noirs semés au Roz et à Roscanvel au cours du projet DIRAPEN (semis, mai 2015 ; 6 mois, octobre 2015 ; 18 mois, octobre 2016). Compte tenu du très faible taux de survie des pétoncles semés à Kerdrein, le secteur n'a pas pu faire l'objet d'un suivi de croissance Pouvreau et al., 2016). 233

Figure 172 : Origine des financements européen sur les bassins versants de la rade de Brest. 240

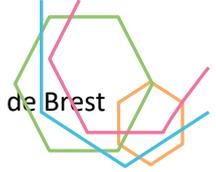


Figure 173 : Montant des allocations financières par thème recensées sur le bassin versant de la rade de Brest. En Bleu apparaissent les allocations se rapportant au milieu maritime, en Vert au milieu agricole, en marron à la filière bois, en jaune à la recherche et à l’observation scientifique (non spécifiée), en Gris au développement local, et en violet à l’écologie..... 241

Figure 174 : Part du financement par un des fonds européens (FEADER, FEAMP, FEDER) pour chaque thématique identifiée et proportion par rapport à l’entièreté des financements liés à l’environnement sur le territoire de la rade de Brest et de ses bassins versants. Le même code couleur est utilisé pour les figures X et Y. 242

Figure 175 : (A) Montant des financières environnementales accordées entre 1997 et 2022 à la ville de Brest et sur les communes des bassins versants de la rade de Brest ; (B) Montant des aides financières environnementales accordées entre 1997 et 2022 aux communes des bassins versants de la rade de Brest (excepté pour Brest) (Source AELB). 243

Figure 176 : Part des aides financières de l’AELB en faveur de l’environnement pour la ville de Brest sur les périodes 1997-2002, 2003-2007, 2008-2012, 2013-2017, 2018-2022 (Données AELB) 245

Figure 177 : Montant totale des aides par commune sur la période 1997-2002, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l’objet d’une représentation séparée ; données AELB) 246

Figure 178 : Montant totale des aides par commune sur la période 2003-2007, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l’objet d’une représentation séparée ; données AELB) 247

Figure 179 : Montant totale des aides par commune sur la période 2008-2012, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l’objet d’une représentation séparée ; données AELB) 248

Figure 180 : Montant totale des aides par commune sur la période 2013-2017, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l’objet d’une représentation séparée ; données AELB) 249

Figure 181 : Montant totale des aides par commune sur la période 2018-2022, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l’objet d’une représentation séparée ; données AELB) 250

Figure 182 : Réactions des professionnels de bassin versant au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 252

Figure 183 : Attentes et craintes exprimées par les professionnels de bassin versants vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 253

Figure 184 : Réactions des élus au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 254

Figure 185 : Attentes et craintes exprimées par les élus vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 255

Figure 186 : Réactions des usagers de la rade au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 256

Figure 187 : Attentes et craintes exprimées par les usagers de la rade vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 257

Figure 188 : Réactions des associations et usagers de l’eau au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 258

Figure 189 : Attentes et craintes exprimées par les associations et usagers de l’eau vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 259

Figure 190 : Réactions des scientifiques au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 260

Figure 191 : Attentes et craintes exprimées par les scientifiques vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées. 261

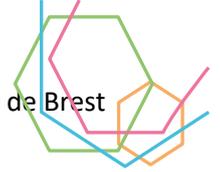
Figure 192 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie ‘un point important’ 262

Figure 193 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie ‘Ce qui manque’. 262

Figure 194 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie ‘Ce qui pose problème’. 263

Figure 195 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie ‘Les attentes’. 264

Figure 196 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie ‘Les craintes’ 265

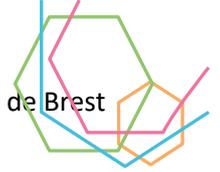


LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 : Nombre d'espèces recensées au cours du programme REBENT en rade de Brest et sur l'ensemble de la Bretagne pour les principaux embranchements d'organismes marins (Grall, 2019). Erratum 'Mollusques' ... | 41 |
| Tableau 2 : Liste des espèces de requins et de raies présentes en rade de Brest et dans le goulet. Statuts UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) : EN = En danger, CU = Vulnérable, NT = Quasi menacée, LC = Préoccupation mineure, DD = Données insuffisantes (Stephan, 2017). | 47 |
| Tableau 3 : Les stations d'épuration de plus de 10 000 équivalent-habitants sur le bassin versant. L'équivalent-habitant est une unité de mesure correspond à une charge quotidienne de 60 g de DB5 et de 120 litres d'eau usée. Abréviations : BAAP, boues activées à aération prolongée ; BF, Biofiltres. | 70 |
| Tableau 4 : Charges de pollution rejetées au milieu pour les stations d'épuration du Finistère..... | 70 |
| Tableau 5 : Charges de pollution émises par le système d'assainissement sur le territoire de Brest Métropole. | 71 |
| Tableau 6 : Contribution des différents types de rejet sur le territoire de Brest Métropole. | 72 |
| Tableau 7 : Nombre de dispositifs d'Assainissements Non-Collectifs (ANC) sur les communes littorales de la rade de Brest et sur Brest Métropole. | 72 |
| Tableau 8 : Flux annuels de pollutions déclarés par les industriels assujettis la redevance pollution d'origine non-domestique (compilation)..... | 74 |
| Tableau 9 : Répartition mensuelle des besoins d'irrigation pour les serres (Ballihaut et al., 2021)..... | 80 |
| Tableau 10 : Temps de demi-vie (temps mis par une substance pour perdre la moitié de son activité pharmacologique ou physiologique) pour certaines molécules biocides présentes dans les peintures antifouling (Droit et Besançon, 2008). | 86 |
| Tableau 11 : Valeurs guide de rejet dans le milieu récepteur pour les différents paramètres (Arrêté du 2 février 1998 dans l'annexe 3 des audits de chantiers de carénage de bateaux de plaisance – version 4 du 01/03/2012 – AELB) | 91 |
| Tableau 12 : Extrait des résultats d'analyses sur les effluents de carénage des formes n°2 et n°3 (CCI, 2009) ... | 99 |
| Tableau 13 : Extrait des résultats d'analyses obtenus directement à l'exutoire des caniveaux des formes de radoub n°1 et 2 | 100 |
| Tableau 14 : Charges rejetées en 2008 et 2009 par la station de déballastage. *analyse en continu (NFT 90 114) Pas de rejet si la concentration est supérieure à 8 mg/l..... | 101 |
| Tableau 15 : Seuils à respecter lors des opérations de carénage pour le rejet des eaux filtrées (Annexe II de la directive relative à la gestion des eaux issues des activités de carénage)..... | 104 |
| Tableau 16 : Estimation des charges de phosphore total rejetées en rade sur la période 2016-2019..... | 110 |
| Tableau 17 : Excédent cumulé d'azote (entrée de N), flux d'azote sortant (1976-2015) et centiles de distribution du temps de transit. Le mode (à droite du tableau) correspond à la valeur moyenne estimée du temps de transfert vers le réseau hydrographique (Dupas et al., 2020). | 115 |
| Tableau 18 : Concentrations médianes et charges en nitrates rejetées en rade de Brest par les principales rivières du territoire sur la période 2017-2019 tonnes par an. Une interprétation de la qualité de l'eau selon le classement de la directive cadre sur l'eau (Labocéa). | 116 |
| Tableau 19 : Flux (kg/j) de Pb, Cd, Zn, As et Cu total (dissous + particulaire) dans les principaux affluents de l'Aulne (Rivière d'Argent (A), Ruisseau de Poullaouen (C), Ellez (D), Hyères (F), Ster Goanez (J), Douffine (L) pendant l'hiver 2020 (Guérin, 2020). Sites d'échantillonnage à mettre en regard de la Figure 81. | 131 |
| Tableau 20 : Concentrations en contaminants chimiques mesurées dans les sédiments. Tous les résultats sont exprimés en µg/g (ou µg/kg) de matière sèche. ERL, Effect Low Range indique la concentration en dessous de laquelle les effets toxiques ne sont pas ou peu observés (Chiffolleau, 2017). | 135 |
| Tableau 21 : Concentrations en HAP (microgrammes/kg) (Labocéa, 2013) | 135 |
| Tableau 22 : Concentrations et charges en Escherichia coli à l'échelle des bassins versants de la rade (chroniques 2016-2019, Labocéa)..... | 138 |
| Tableau 23 : Inventaire des émissions de Tritium, synthèse sur la période 2016-2020, les valeurs sont exprimées en Becquerels par an (ASN, 2022)..... | 146 |
| Tableau 24 : Impact radiologique des rejets déclarés en Tritium de l'île Longue (Brest, ASN, 2022) | 146 |
| Tableau 25 : Grille de lecture des Figure 99 et Figure 100..... | 169 |
| Tableau 26 : Classement DCE des quatre masses d'eau. | 169 |
| Tableau 27 : Exemple de classification de la pollution à partir de H' dans les habitats sablo-vaseux. Grille de lecture pour la figure 33..... | 172 |



| | |
|--|-----|
| Tableau 28 : Equivalences entre les valeurs de l'AMBI et les différents états écologiques définis par la Directive Cadre Eau (d'après Borja et al., 2004)..... | 172 |
| Tableau 29 : Indices de quantité captées par famille de substances (Auffret, 2022, projet MOULOBS)..... | 176 |
| Tableau 30 : Données sur le développement gonadique et sur l'aptitude à l'activité reproductrice | 176 |
| Tableau 31 : Résultats des analyses effectuées par LC/MS-MS sur les substances hormonales dans les huîtres (Auffret, projet MOULOBS) | 177 |
| Tableau 32 : Seuils réglementaires pour les contaminants chimiques dans les mollusques..... | 179 |
| Tableau 33 : Effets du cuivre selon la concentration sur plusieurs espèces de bivalves, crustacés algues et plancton Effets du cuivre sur les organismes vivants en fonction de sa concentration (Droit et Besançon,2018) | 204 |
| Tableau 34 : Evaluation de la qualité des zones de production conchylicole, 2022. | 214 |
| Tableau 35 : Classement des eaux de baignade des plages de la rade de Brest pour les années 2017-2020, la légende de la classification est indiquée sous le tableau (extraits du site du Ministère de la Santé pour la qualité des eaux de baignade ; baignades.sante.gouv.fr)..... | 216 |
| Tableau 36 : Evolution de la qualité des eaux de baignades sur 12 plages de la rade de Brest de 2010 à 2020. | 217 |
| Tableau 37 : Structures et acteurs intervenant dans différentes sphères de la gestion de l'eau et des milieux naturels. L'échelle d'action pour chaque structure est indiqué par une couleur (de haut en bas : vert, Européen ; Bleu, National ; Jaune Inter-régional ; orange, Régional ; gris, inter-départemental ; bleu, départemental ; vert, local ; gris, autre)..... | 221 |

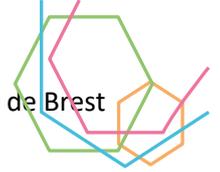


INTRODUCTION

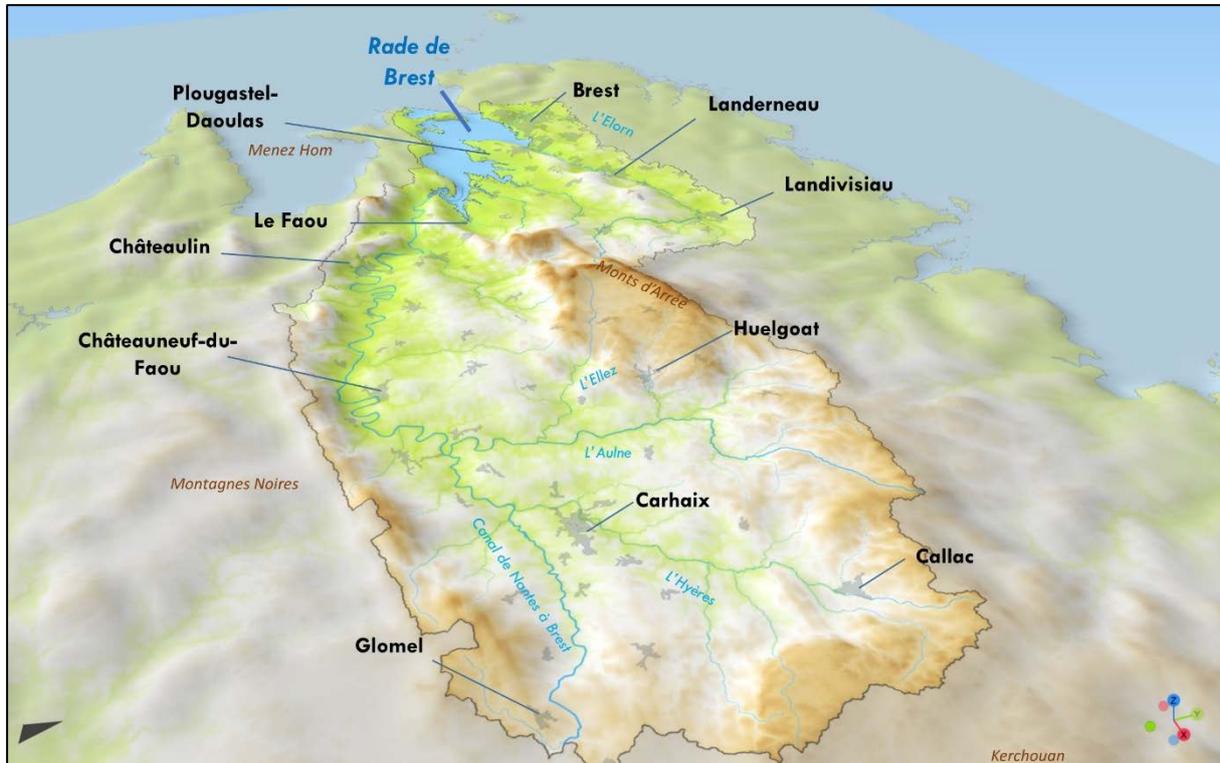
La coexistence durable des écosystèmes et des activités en rade et autour de la rade de Brest est-elle impossible ? C'est la question que posent des scientifiques brestoises dans un article de *Frontiers in Marine Sciences* (Ragueneau et al., 2018). Si ce titre est tant empreint de gravité, c'est que plusieurs décennies de recherche, de collaborations et d'actions n'ont pas permis d'endiguer les nombreuses perturbations environnementales (eutrophisation, blooms d'algues toxiques, etc.) qui affectent l'écosystème rade et les activités humaines qui en dépendent (pêche à la coquille, conchyliculture etc.) et mettent en péril un équilibre fragile de la rade, qui reste hypothétique. Ce constat d'urgence force à s'interroger sur plusieurs problématiques intimement liées qu'il convient de découpler : (1) Quels sont les symptômes et les maux de la rade ? (2) Quelles en sont les causes ? (3) Les actions développées dans le cadre du « Contrat de Baie » mis en œuvre durant les années quatre-vingt-dix, ont-elles permis ou non de réduire une partie de ces maux ?

Ce diagnostic environnemental du Contrat de rade de Brest synthétise dans une première partie un ensemble de travaux qui vise à mieux saisir le cadre physique et la richesse des écosystèmes de la zone d'étude. La rade de Brest est l'exutoire unique d'un vaste réseau hydrographique développé sur un territoire de 2 650 km². Ce territoire forme le bassin versant de la rade, lui-même constitué des bassins versants de l'Aulne (au Sud) et de l'Elorn (au Nord) et des petits fleuves côtiers de la Mignonne, du Camfrout, ou du Faou. Contraint par des limites physiques, des Montagnes Noires au Sud, aux Monts d'Arrée et à l'Elorn au Nord, le bassin versant de la rade de Brest fait fi des limites administratives départementales ou communales. Ainsi, sur les 137 communes du bassin versant, 107 sont situées dans le Finistère, 27 dans les Côtes d'Armor, et trois dans le Morbihan. Ce territoire révèle des écosystèmes variés de la terre à la mer. A titre d'exemple, les recensements réalisés permettent de montrer que près de 60 % des espèces marines de Bretagne sont présentes en rade de Brest.

De forts enjeux économiques sont attachés aux activités pratiquées sur ces bassins versants et dans la rade de Brest. Nous verrons que le lien Terre-Mer a des racines historiques profondes (apport de maërl et de goémon aux terres agricoles, notamment), et que ce 'continuum' souffre aujourd'hui d'une certaine imperméabilité entre communautés 'terrestre' et 'marine'. Aujourd'hui, certaines activités qui jalonnent ce continuum Terre-Mer sont responsables d'un apport de substances nutritives et/ou chimiques au milieu naturel qui se dispersent et s'accumulent dans l'environnement aquatique. Les apports sont multiples (azote, métaux lourds, pesticides etc.). Pour chacune des pressions, le diagnostic tente de présenter des éléments de quantification vis-à-vis des critères d'évaluation

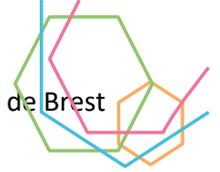


officiels. En outre, le diagnostic met en lumière des pressions moins localisées qui ont une influence majeure sur le transfert et/ou l'accumulation des substances nocives pour l'environnement (ex : évolution des surfaces, remembrement, changement climatique).



Les transferts et l'accumulation de substances nutritives ou polluantes en provenance du bassin versant modifient l'équilibre des écosystèmes et en altèrent la richesse ou la fonctionnalité. La raréfaction ou la disparition d'espèces, l'apparition de nouvelles espèces dites 'invasives', ou le développement d'organismes toxiques sont l'expression de ces déséquilibres, et sont traduits par des indicateurs de suivi (biologiques, chimiques et écologiques). Malgré une amélioration générale de la qualité des cours d'eau d'un point de vue des nutriments (azote, phosphore), certains déséquilibres récurrents continuent d'être observés dans la rade de Brest. Parmi ces déséquilibres, les proliférations de micro-algues toxiques avec des dépassements de seuils d'alerte annuels depuis 2009. Le développement d'algues vertes filamenteuses, le plus souvent réparties en couverture des fonds, favorise un étouffement des espèces vivant sur les fonds marins, comme le maërl (algue calcaire rouge). Considéré comme une nurserie pour la coquille Saint-Jacques ou l'huître plate, la présence et la santé du maërl dépend directement de l'intensité de la pêche à la drague.

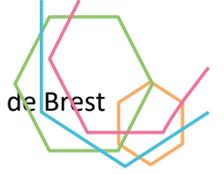
Si les activités humaines du continuum Terre-Mer ont un rôle indéniable sur les déséquilibres environnementaux observés en rade de Brest, certaines activités payent en retour un lourd tribut à

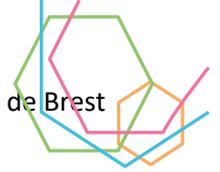


ces perturbations. Les micro-algues provoquent régulièrement des interdictions de pêche et de commercialisation de coquillages, avec des effets directs sur la flottille de pêche à la Coquille Saint-Jacques. En 20 ans le nombre de licences de pêches a été divisé par deux. En outre, des contaminations fécales récurrentes (liées principalement à des systèmes d'assainissement défaillants) entraînent des fermetures de sites de pêche à pied et des interdictions d'exploitation pour la profession conchylicole, avec les conséquences financières qui en découlent. La contamination des coquillages par des métaux lourds issus principalement de l'ancienne activité minière sur le bassin de l'Aulne a engendré plusieurs interdictions d'exploitation et a provoqué une chute de près de 60 % de la production mytilicole de la rade depuis 2013.

La rade de Brest a pourtant fait l'objet de près de 30 années de programmes de reconquête de la qualité des eaux sur ses bassins versants. Dans les années 90, la Communauté Urbaine de Brest (aujourd'hui Brest Métropole) a piloté un contrat de baie, dynamisant une multitude d'acteurs et de partenariats, en lien avec le Syndicat de bassin de l'Elorn lancé dans le programme Bretagne Eau Pure. Ces démarches ont finalement débouché sur l'élaboration des Schémas d'aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'Elorn et de l'Aulne, qui ont permis d'insuffler une dynamique et de diminuer les flux de pollution. La prise de conscience de l'insuffisance des résultats obtenus est aujourd'hui collectivement partagée dans différentes instances (Commissions Locales de l'Eau de l'Aulne et de l'Elorn, le Parc Naturel Régional d'Armorique) mais aussi au sein du monde économique maritime et littoral, des associations de protection de l'environnement, et des services de l'Etat.

Afin de poursuivre et d'amplifier les actions de reconquête de la qualité de ses eaux et écosystèmes, les acteurs de la rade ont conscience de la nécessité de s'organiser collectivement à l'échelle de la rade et de son bassin versant. Une approche différenciée et intégrée est nécessaire pour définir des objectifs communs et un programme d'actions innovant à la hauteur des enjeux du site. C'est pourquoi les Présidents de Brest Métropole, de l'Etablissement Public d'Aménagement et de Gestion du bassin versant de l'Aulne (EPAGA), et du Syndicat de Bassin de l'Elorn (SBE) proposent d'unir leurs moyens pour l'élaboration d'un contrat multi-partenarial, le « Contrat de rade ». Ce document fait figure de diagnostic préalable à la mise en place d'un plan d'actions portant sur la rade et son unité hydrogéographique cohérente, les bassins versants de l'Aulne et de l'Elorn. Il recense les éléments de connaissance les plus actualisés sur l'état de santé des milieux et les perturbations qui nuisent à la satisfaction des usages tributaires de la qualité des eaux sur la rade et ses bassins versants.





I. MILIEU PHYSIQUE ET ECOSYSTEMES

I.1. Le milieu physique de la Terre à la Mer

Le réseau hydrographique des bassins versants de l'Aulne et de l'Elorn représente environ 2000 km de cours d'eau dont l'exutoire unique est la rade de Brest. La configuration actuelle du réseau hydrographique est largement héritée de la structuration géologique et en particulier du bassin sédimentaire de Châteaulin. Ce bassin sédimentaire forme une large dépression dont la terminaison occidentale guide les cours d'eau vers l'Ouest. La bathymétrie de la rade de Brest est organisée en 'terrasses' sous-marines de part et d'autre des deux chenaux qui prolongent les exutoires de l'Elorn (au Nord) et de l'Aulne (au Sud). Ces 'terrasses' immergées marquent le ré-ennoisement progressif de la rade depuis 10 000 ans. La rade contient un volume d'eau oscillant entre 1,7 et 3 milliards de mètres cubes, mis en mouvement par les courants de marée montante et descendante (cycle tidal essentiellement semi-diurne). Ces courants commandent largement la granularité des sédiments sous-jacents. Le dépôt des sédiments fins de vaseuses (baie de Daoulas, estuaire du Camfrout, Anse de l'Aulne etc.) est favorisé par des courants faibles. A l'inverse, les courants les plus forts (axe des chenaux de l'Aulne, de l'Elorn, et du goulet) remanient les sédiments plus grossiers (sables, graviers, blocs).

I.1.1. Géologie

L'orientation Est-Ouest des bassins versants de l'Aulne et de l'Elorn est dictée par la géologie sous-jacente. Le bassin sédimentaire de Châteaulin forme une large dépression dont la terminaison occidentale, aussi appelée '*synclinorium* médio-armoricain' guide les cours d'eau vers l'Ouest. Au centre du bassin, les séries sédimentaires les plus 'jeunes' du carbonifère (300-360 Millions d'années - Ma) sont bordées par les terrains plus anciens du Briovérien (542-630 Ma). Ces terrains sont associés à des failles bordières héritées de la formation de chaînes de montagnes à présent arasées (chaînes Hercynienne et Cadomienne ; Figure 2, Troadec et al., 1997 ; Jonin, 2010).

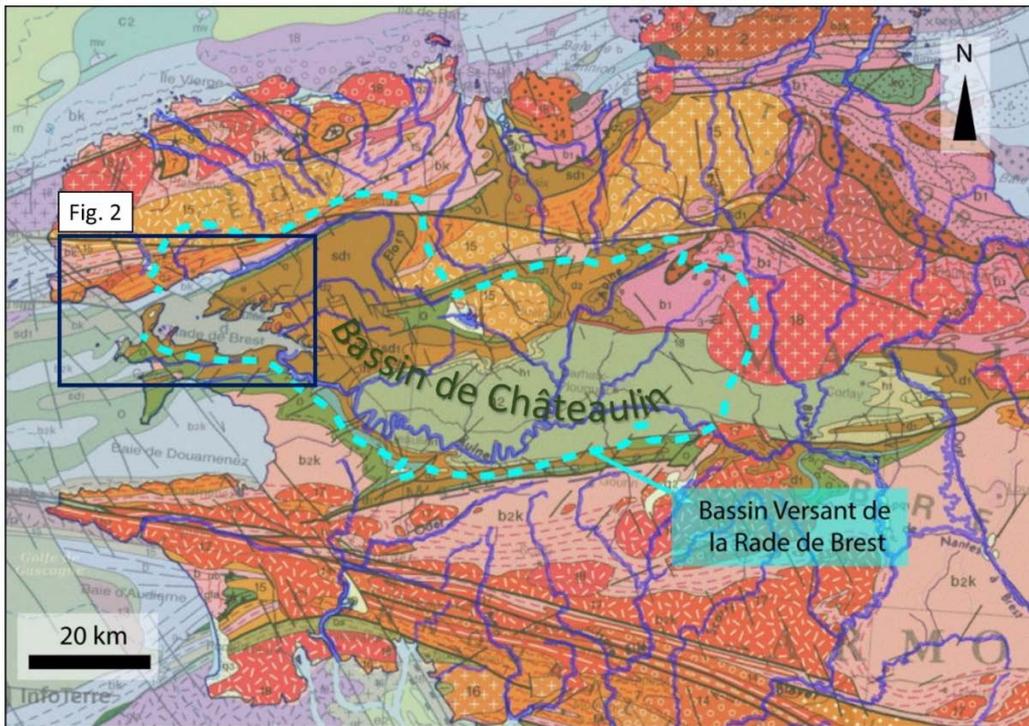
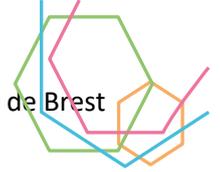


Figure 2 : Localisation du bassin versant de la rade de Brest et son emprise sur les formations géologiques sous-jacentes (Infoterre). Les lithologies représentées de couleur rouge ou orange sont des roches intrusives (granitoïdes), les lithologies représentées en vert et marron correspondent aux roches sédimentaires du bassin de Châteaulin. Le bassin versant de la rade de Brest est délimité par le trait pointillé.

L'héritage géologique est marqué par le cisaillement Nord Armorican (N°70) qui guide l'Elorn jusqu'en la rade (Figure 2 ; Figure 3). Le cisaillement se prolonge à travers le Goulet et jusqu'en Mer d'Iroise (Figure 3). L'Aulne, dans sa partie médiane et terminale, emprunte quant-à-lui une faille chevauchante du bassin de Châteaulin (Figure 2). Cette orientation Est-Ouest des deux principaux fleuves qui alimentent la rade de Brest (Aulne et l'Elorn) est à rebours de ceux implantés sur les côtes méridionale et septentrionale de Bretagne, largement orientés Nord-Sud (Jonin, 2010 ; Gregoire et al., 2016). Cette orientation Nord-Sud est celle de failles tardi-hercyniennes. De nombreux affluents de l'Aulne et de l'Elorn comme plusieurs petits cours d'eau côtiers se rejetant dans la rade épousent aussi le trajet de ces failles.

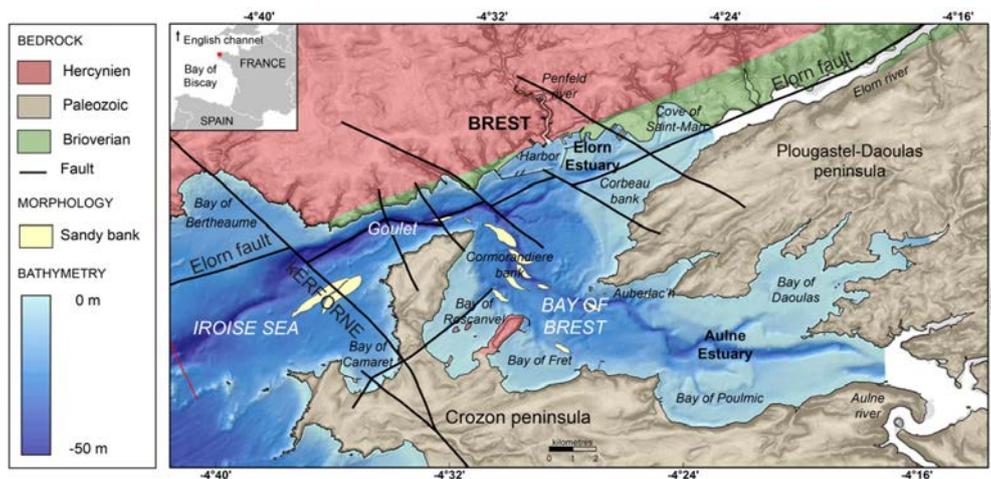


Figure 3 : Géologie et bathymétrie de la rade de Brest et de la Mer d'Iroise. La faille de l'Elorn correspond au contact entre les séries paléozoïque et briovériennes (Gregoire et al., 2016).



I.1.2. Hydrologie et hydrogéologie

I.1.2.1. Hydrologie

Les traits morphologiques et biologiques des cours d'eau bretons sont typiques du cours supérieur des rivières (pente prononcée, vitesse importante, débit faible). Cette morphologie s'explique par l'enneigement de leur partie inférieure et moyenne lors de la dernière transgression flandrienne il y a 10 000 ans (remontée du niveau marin relatif). Des rias forment l'exutoire de nombreux fleuves bretons où la mer s'insinue parfois sur plusieurs kilomètres. Les fleuves sont soumis au jeu des marées et à une salinité variable, créant des milieux très différenciés.

Le réseau hydrographique des bassins versants de l'Aulne et de l'Elorn représente 2000 km de cours d'eau dont l'exutoire unique est la rade de Brest. Au Sud, l'Aulne est le plus grand fleuve de Bretagne occidentale et parcourt 114 km (partie fluviale) sur une grande partie du bassin de Châteaulin (Figure 4). Les six affluents de l'Aulne mesurent entre 48 km pour l'Hyères et 6 km pour l'Argent. Au Nord, la partie fluviale de l'Elorn ne mesure que 44 km et le fleuve ne reçoit que de très courts affluents, tout comme la Penfeld, plus à l'Ouest. La Mignonne (ou rivière de Daoulas), le Camfroust et la rivière du Faou sont des cours d'eau de petite taille (8-12 km) dont les bassins versants sont indépendants (Figure 4). Environ deux tiers (63%) des eaux douces entrant dans la rade proviennent de l'Aulne, 15% de l'Elorn, seulement 5% proviennent de la Mignonne (Auffret, 1983), soit des apports relativement proportionnels à la taille de leurs bassins versants respectifs de 1842, 403, et 115 km² (Trodec et al., 1997). L'ensemble de ces apports fluviaux dans la rade représente un volume de l'ordre de 1 à 1.5 milliard de m³/an. Dans le détail, les apports de l'Aulne représentent entre 22 et 30 m³/an, ceux de l'Elorn entre 6 et 10 m³/s, et ceux de la Mignonne entre 0.5 et 1.5 m³/s (Olivier, 2022 ; eaufrance.fr). Les débits du Camfroust, de la Penfeld et de la rivière du Faou sont inférieurs à 3 m³/s.

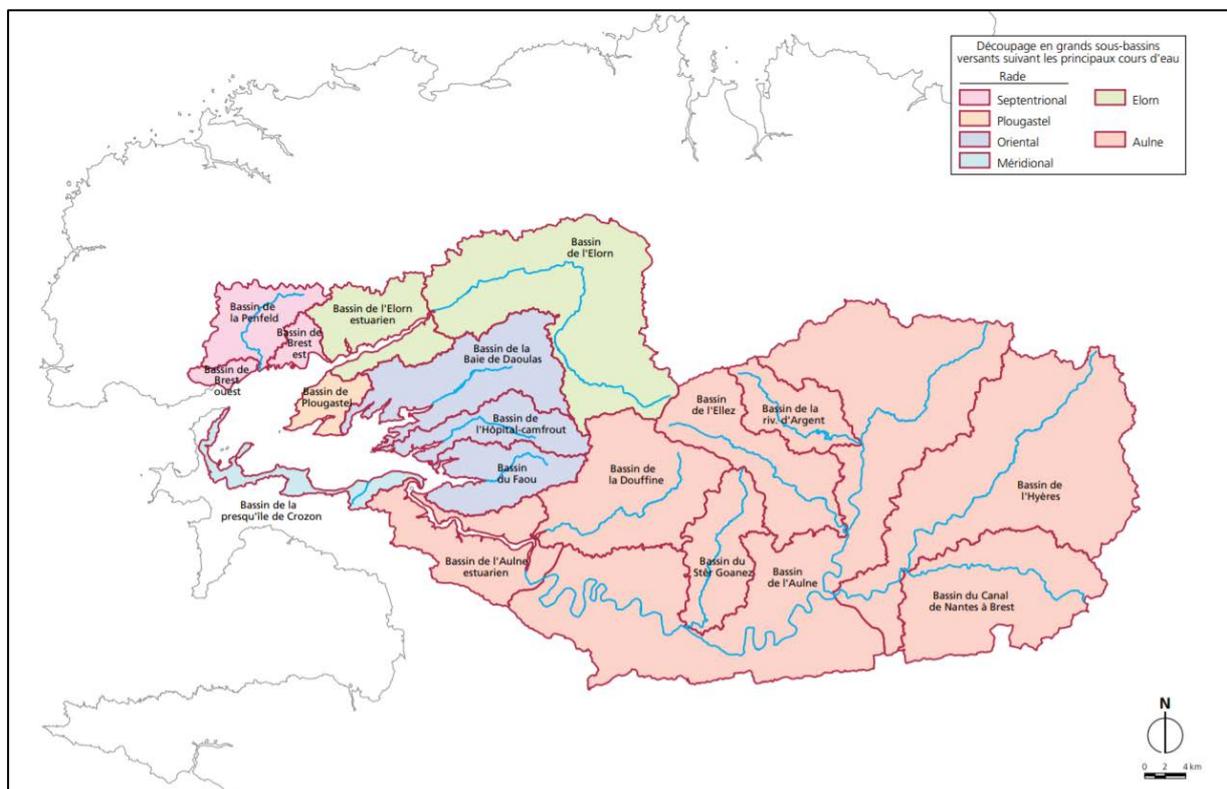
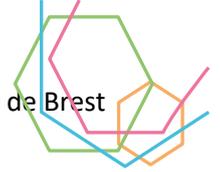


Figure 4 : Découpage hydrologique suivant les principaux cours d'eau sur le bassin versant de la rade de Brest (Trodec et al., 1997).



Le débit des cours d'eau est entièrement dépendant des pluies efficaces¹. En moyenne, on considère que les pluies efficaces représentent 50 % des lames d'eau précipitées sur le bassin de la rade, tandis que 50 % retournent à l'atmosphère par évapotranspiration². Le débit spécifique³ des rivières à une échelle annuelle ou interannuelle est proportionnel à la lame d'eau de pluie qui tombe sur son bassin versant. Ainsi, la carte des pluies annuelles et celle des débits spécifiques moyens des rivières se superposent dans les grandes lignes.

1.1.2.2. Hydrogéologie

Les débits spécifiques en période de basses eaux (débits d'étiage) sont largement dépendant de l'alimentation des nappes phréatiques, et dépendent de la nature géologique des terrains (Figure 2). Ainsi, les aquifères⁴ abrités par les granites garantissent des soutiens d'étiages bien plus importants que ceux des formations de schistes et de grès (Figure 5).

¹ Les précipitations efficaces sont égales à la différence entre les précipitations totales et l'évapotranspiration réelle. L'eau issue des précipitations efficaces se répartie en deux fractions : l'écoulement superficiel et l'infiltration.

² L'évapotranspiration est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère par évaporation au niveau du sol et au niveau de l'interception des précipitations, et par la transpiration des plantes.

³ Le débit spécifique d'une rivière est le débit produit par son bassin versant rapporté à l'unité de surface. Il est exprimé le plus souvent en l/s/km².

⁴ Un aquifère est une formation géologique suffisamment poreuse et/ou fissurée pour stocker de grandes quantités d'eau tout en étant suffisamment perméable pour que l'eau puisse y circuler librement.

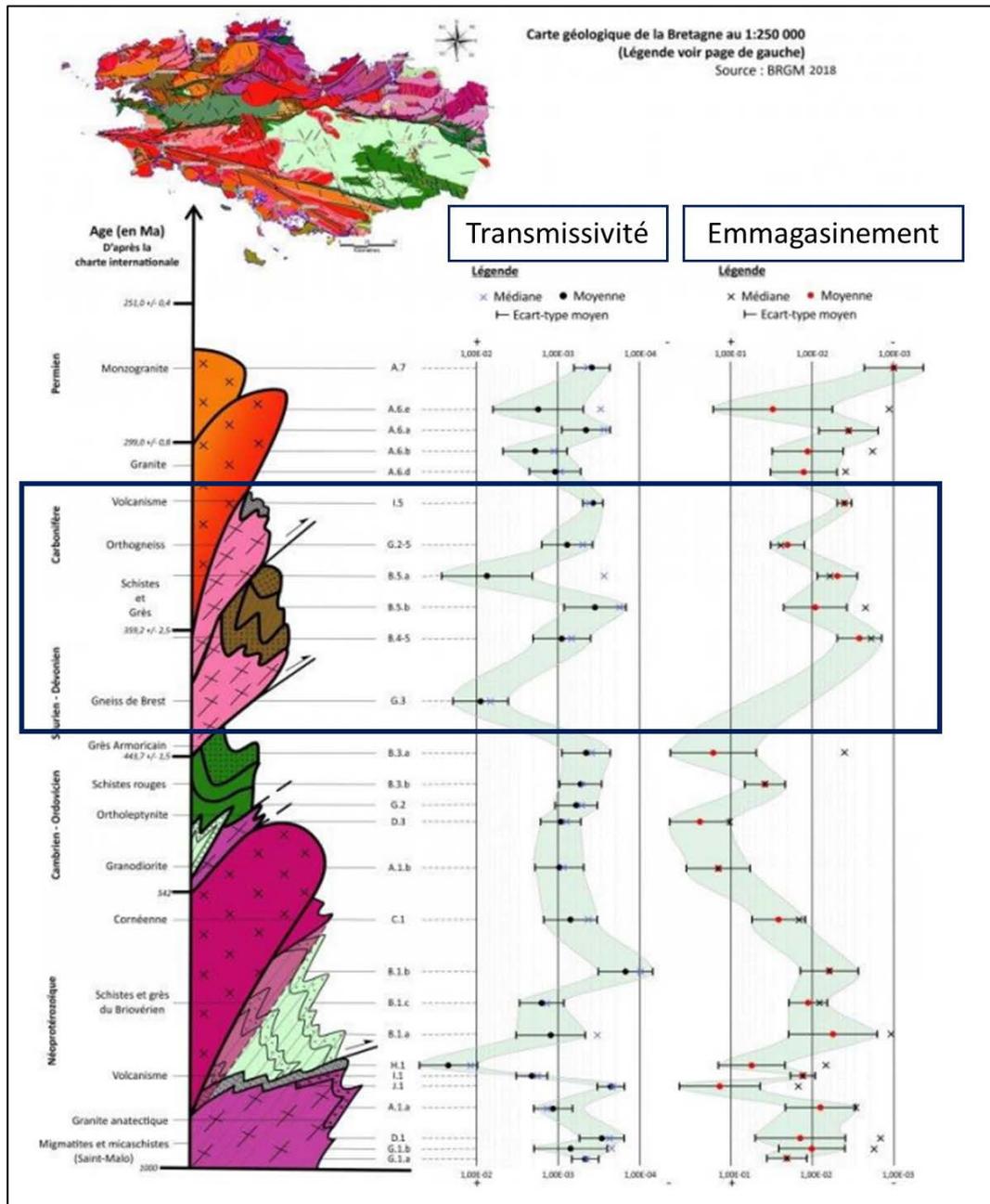
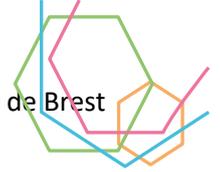
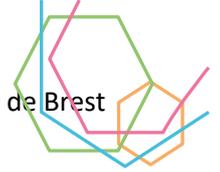


Figure 5 : Coupe lithostratigraphique du massif Armoricain et paramètres hydrodynamiques correspondant (Lucassou et al., 2020). Transmissivité, capacité à mobiliser l'eau ; Emmagasinement, quantité d'eau libérée par variation unitaire de charge hydraulique (quantité d'eau mobilisable). L'encart bleu cible les formations géologiques présentes sur les bassins versant de la rade de Brest (Gneiss de Brest, Schistes et grès du bassin de Châteaulin, granitoïdes).

L'hydrosystème de la rade de Brest s'étend sur un bassin versant continental de 2650 km², à la fois aire de collecte des eaux de surface, et roches aquifères variées qui participent à l'écoulement souterrain. L'intérêt hydrogéologique sur ce bassin versant dépend de la capacité du sous-sol à contenir de l'eau (capacité) et à la faire circuler (transmissivité). Ces deux aspects résultent à la fois de la nature des roches et sédiments et de leur degré d'altération (Lachassagne et al., 2001, 2015). Les roches du bassin versant de la rade de Brest sont principalement sédimentaires (schistes et grauwackes du Bassin de Châteaulin), pour partie magmatiques (granites de Huelgoat et de Quintin), et exceptionnellement métamorphiques sur la rive droite de l'Elorn (gneiss de Brest et de Landivisiau ; infoterre.fr).



Plusieurs compartiments stratiformes aux propriétés hydrogéologiques distinctes sont schématiquement individualisés. La roche saine située en profondeur (> 100 m) est faiblement fracturée et altérée, mais les fractures qui l'affecte sont d'ampleur régionale (linéaments). Seuls les forages profonds peuvent atteindre ces fractures aquifères profondes avec un taux de succès très incertain. L'horizon fissuré (50-100 m) présente un réseau de fractures plus dense. La porosité (capacité à contenir l'eau) y est faible et la perméabilité (capacité à faire circuler l'eau) relativement forte. Les capacités drainantes de l'horizon fissuré sont intéressantes lorsque couplées avec le compartiment supérieur formé d'altérites sableuses et/ou argileuses (entre 0 et 50 m) qui forme la véritable réserve d'eau (porosité élevée et perméabilité variable). De même, les altérites sont communément accumulées aux abords des rivières et forment des 'nappes alluviales' (Lachassagne et al., 2001, 2015). Ces réserves sont communément exploitées par un puits fermier dans les villages ou à plus grande échelle dans les nappes alluviales. Leur exploitation reste particulièrement sensible aux pollutions surfaciques (ex : macro-micropolluants, Troadec et al., 1997).

1.1.2.3. Zones humides

D'un point de vue hydrogéologique, il existe des relations fortes entre rivières, nappes phréatiques, et zones humides. Sur le bassin de la rade, les zones humides sont généralement alimentées par les nappes phréatiques. Selon la saison, les zones humides d'Ouest Bretagne contribueront différemment à l'écroulement des crues.

- De mai à novembre, beaucoup de zones humides sont désaturées dans leur partie superficielle (quelques dizaines de cm), elles ont une capacité d'infiltration intéressante en cas de fortes pluies. Cette infiltration s'ajoute à la capacité d'inondation du terrain lié à la rugosité de sa surface (type de végétation, talus, creux, fossés...).
- De décembre à avril, les zones humides sont souvent saturées d'eau, et ce quasiment jusqu'à la surface. Elles ont une capacité d'infiltration quasi nulle, et favorisent le ruissellement. En cas d'inondation, seule la rugosité du terrain peut contribuer à tamponner les crues.

Les zones humides de fond de vallée se situent le plus souvent dans la catégorie des zones humides drainantes et favorisent l'émergence des eaux souterraines. Seules de rares zones humides déconnectées de la nappe phréatique peuvent soutenir les étiages, leur réserve en eau permettant une fuite pérenne d'eau vers les ruisseaux. Certaines zones humides et tourbières sont situées en tête bassin versant. L'eau y est principalement stockée dans des formations de subsurface (tourbières, zones humides de plateau). Les zones humides et tourbières jouent dans ce cas un rôle dans les soutiens d'étiage.

1.1.3. Topographie et bathymétrie

Les bassins versants de la rade de Brest sont limités au Nord par les Monts d'Arrée (point culminant Roc'h Trevezel, 384 m) et au Sud par les Montagnes Noires (point culminant Roc'h Toullaëron, 318 m). Entre ces deux lignes de crêtes du massif Armoricaïn, la vaste vallée de l'Aulne et de ses affluents s'étend à l'Est au-delà des communes de Glomel et de Callac dans les Côtes d'Armor (Figure 6). La géométrie de l'Elorn et de son bassin versant, au Nord-Ouest, sont très influencés par la géométrie de l'accident tectonique Nord-Armoricaïn (Figure 2).

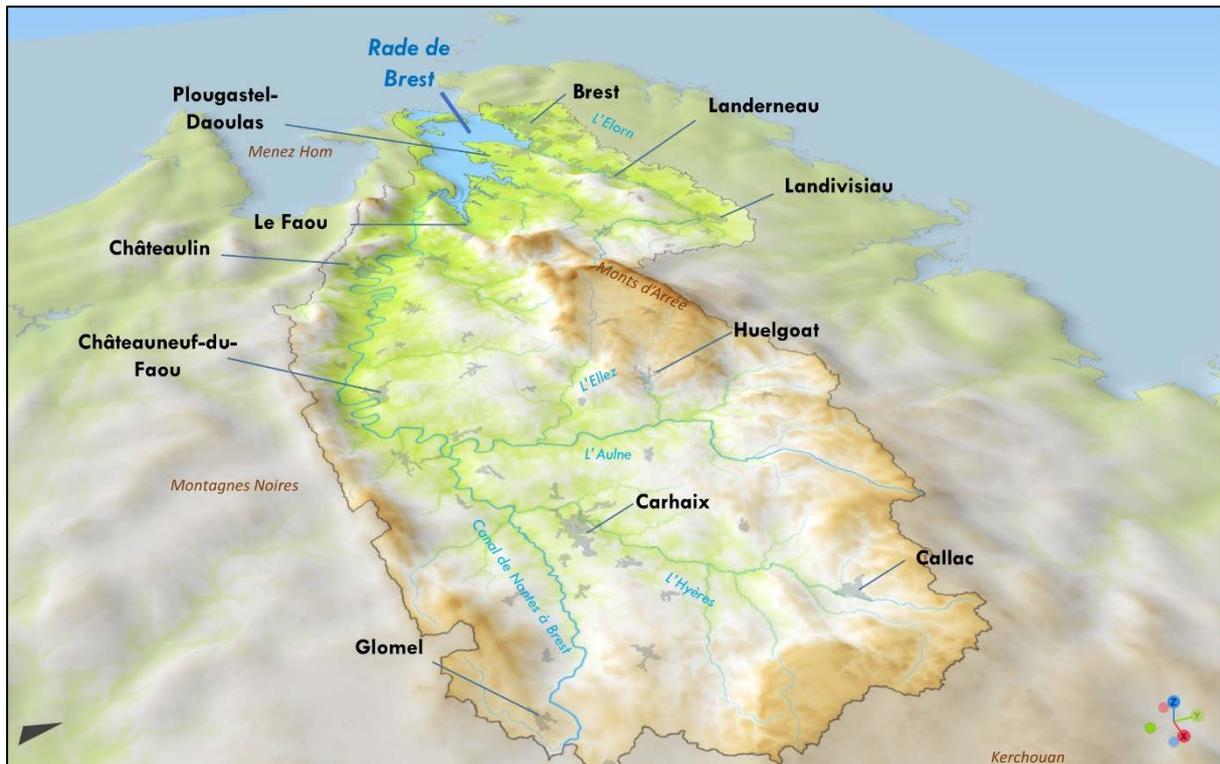
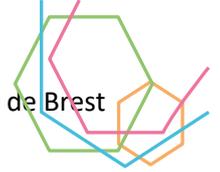


Figure 6 : Topographie et toponymie sur les bassins versants de la Rade de Brest. Exagération verticale x12.

Les bassins versants de la rade de Brest incluent 137 communes au total. Les Schéma d'Aménagement et de Gestion de Eaux incluent 42 pour l'Elorn et 88 pour l'Aulne (certaines communes ont une partie mineure de leur territoire sur le bassin versant, et ne sont pas inclues, c'est le cas de Milizac-Guipronvel pour le SAGE de l'Elorn). Bien que le bassin versant de l'Elorn soit plus petit que celui de l'Aulne, il héberge une plus forte population (285 000 habitants) répartie de façon hétérogène, avec de fortes densités de population autour de Brest, Landerneau et Landivisiau. La population du bassin versant de l'Aulne est plus faible (70 000 habitants) et se répartit de façon plus homogène.

La rade de Brest est située à l'extrême ouest de la Bretagne et forme la confluence des systèmes estuariens de l'Aulne au Sud et de l'Elorn au Nord sur une superficie de 181 km². Le trait de côte irrégulier de la rade de Brest mesure quelques 250 km de long. Les nombreux replis et échancrures du trait de côte forment autant de baies et de criques qui représentent environ 40% de la surface de la rade. Ces platiers intertidaux (alternativement couverts et découverts au cours du cycle de marée) s'organisent sous forme de 'terrasses' de part et d'autre de deux chenaux sous-marins qui prolongent les exutoires de l'Elorn (au Nord) et de l'Aulne (au Sud). Les 'terrasses' immergées (Figure 7) marquent l'envasement progressif de la rade depuis *ca.* 10 000 ans (Gregoire et al., 2016 ; Olivier et al., 2021). Les deux chenaux sous-marins principaux se rejoignent pour former le Goulet, incision de 1,8 km de large et d'une cinquantaine de mètres de profondeur dans l'alignement du cisaillement Nord-Armoricain (Faille de l'Elorn, N70°). Le goulet permet la connexion de la rade à la Mer d'Iroise puis à l'Océan Atlantique (Figure 7). Cette connexion reste dans une large mesure à préciser et quantifier à bien des égards, notamment en terme de flux échangés, de renouvellement des masses d'eau de la rade (apports des bassins versants *versus* apports de la Mer d'Iroise ; F. Dumas, com. pers.).

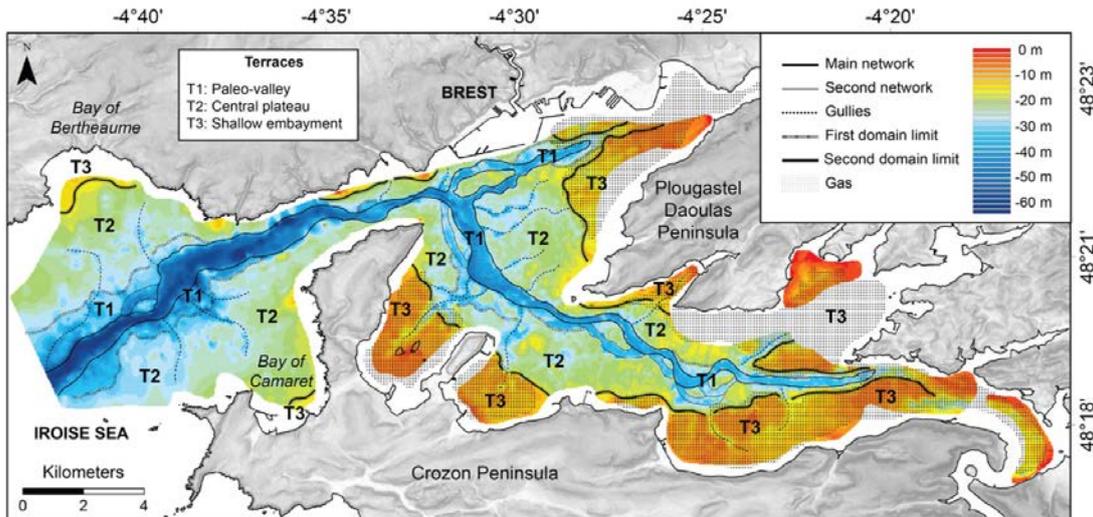
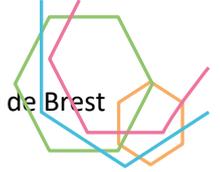


Figure 7 : Morphologie sous-marine de la rade de Brest et de l'organisation en 'terrasses' de part et d'autre des chenaux principaux de l'Aulne et de l'Elorn (Grégoire et al., 2016).

La rade de Brest à une profondeur moyenne de 8 m, plus de la moitié de sa surface n'excède pas 5 m de fond.

1.1.4. Hydrodynamisme et sédimentologie

La rade de Brest contient un volume d'eau moyen de 2 milliards de mètres cubes (son volume oscille entre 1,7 milliard et 3 milliard entre basse mer et pleine mer de vives-eaux. Chaque cycle de marée génère un flux d'un tiers du volume d'eau de la rade qui traverse le Goulet (700 Millions de m³, Troadec et al., 1997). La marée en rade de Brest y est essentiellement de type semi-diurne. Le marnage moyen y est de 4,5 m et peut atteindre 8 m lors de marées exceptionnelles de printemps (Figure 8). la vitesse de la marée évolue significativement au cours du cycle tidal (Figure 9) (Guérin, 2004; Troadec et al., 1997 ; Olivier et al., 2021). Dans les petits fonds estuariens à l'Est de la Rade, le temps de renouvellement des eaux est plus long et laisser subsister des phénomènes de dessalure assez marqués.

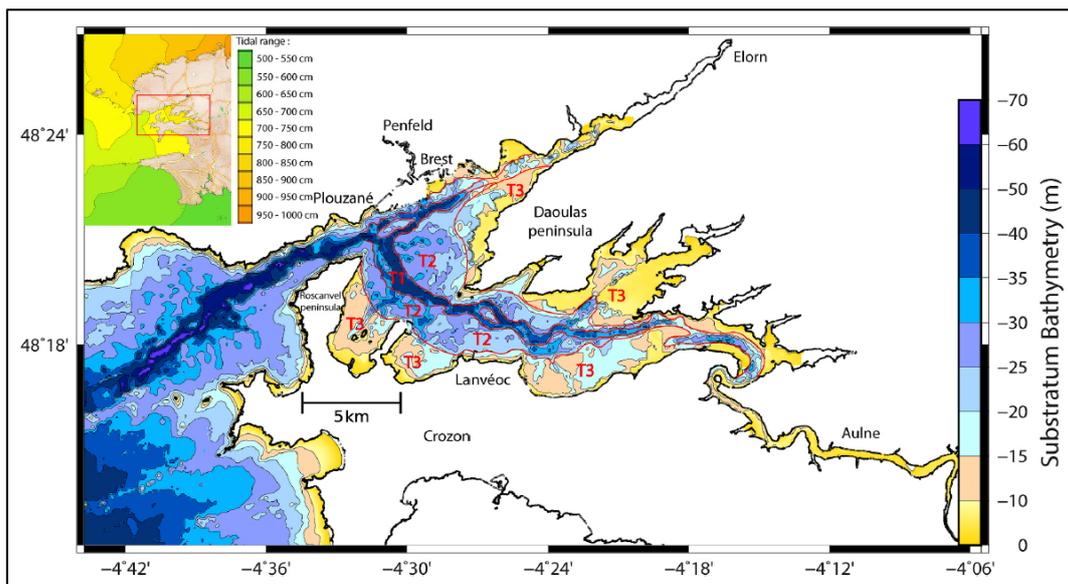
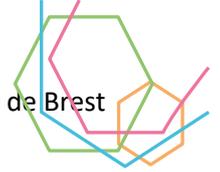


Figure 8 : Carte bathymétrique de la rade de Brest et marnage exceptionnel lors d'une marée d'équinoxe comparé aux autres sections du littoral finistérien (Olivier et al., 2021). T1, T2, T3 sont les terrasses sédimentaires décrites en Figure 7.



Le flot (marée montante) engendre un courant canalisé au niveau du goulet qui se divise en deux veines Nord et Sud. La veine Nord se dirige vers l'Elorn et la veine Sud (la plus importante), se dirige vers l'estuaire de l'Aulne en alimentant au passage le centre et le Sud-Est de la rade. Cette veine Sud est à l'origine de la formation d'un tourbillon anticyclonique (*cad* dont la circulation est dans le sens horaire) qui occupe la partie centrale de la rade et crée de petits tourbillons latéraux derrière la pointe de l'Armorique et le cap de l'anse de Poulmic (Guérin, 2004).

Le jusant (marée descendante) génère une circulation plus uniforme orientée vers le Goulet. Des tourbillons latéraux se forment à l'extérieur de la rade, au niveau des anses de Bertheaume et de Camaret. Le flot suivant tend à ramener les eaux expulsées vers l'intérieur de la rade dans une proportion qui reste à déterminer (F. Dumas, com. pers.).

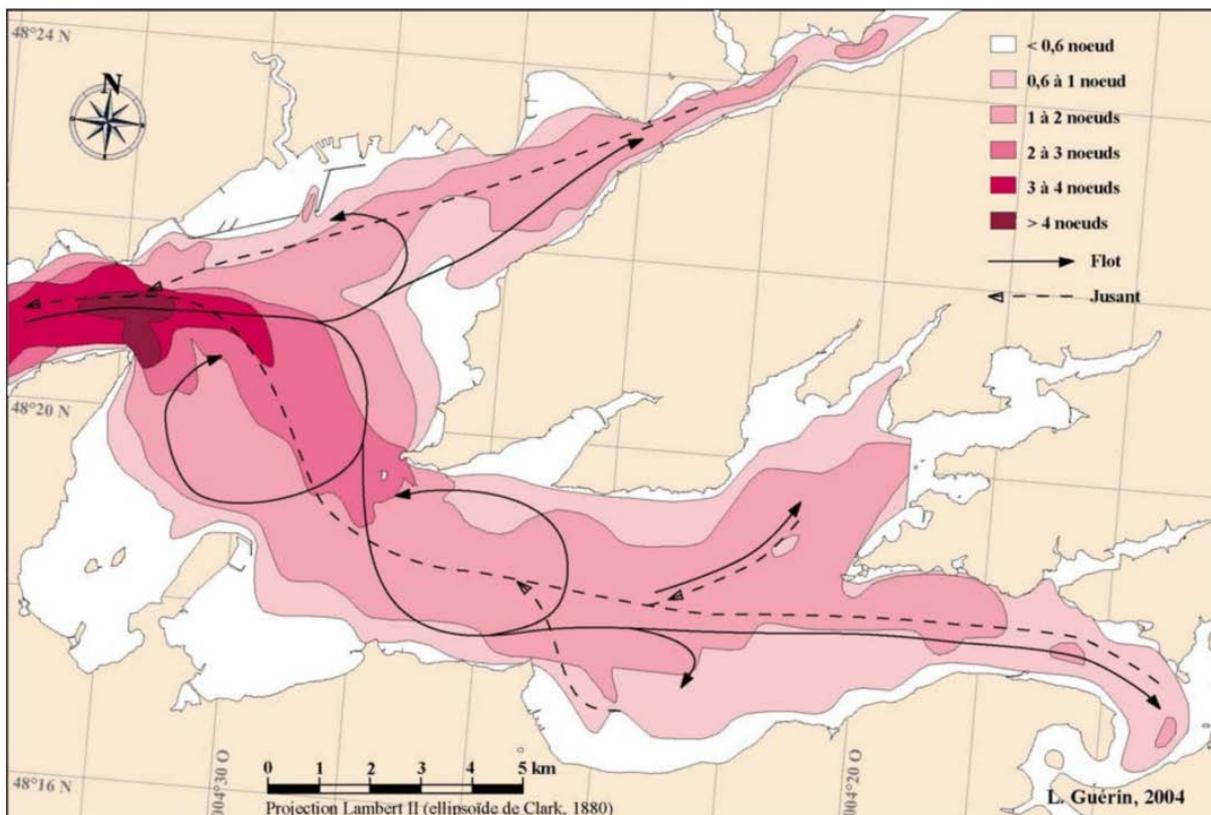
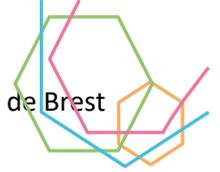


Figure 9 : Courants tidaux en rade de Brest (coefficient 95). Circulation durant le flot (marée montante) et durant le jusant (marée descendante). Guérin, 2004, d'après SHOM, 1994.

La distribution des vitesses de courant au sein de la Rade est très inégale. Les vitesses maximales estimées par Guérin (2004) dans le Goulet (~4 nœuds = 2 m/s) sont revues légèrement à la baisse par des travaux récents (~1.6 m/s ; Olivier et al., 2021). Les vitesses de courants les plus faibles sont observées dans les petits fonds de baie (estuaire de l'Aulne ou Anse du Fret par exemple, Figure 10).

Les caractéristiques hydrologiques et les trajectoires des masses d'eau permettent de diviser la rade en trois secteurs. Le secteur nord est influencé par les apports fluviaux de l'Elorn qui représente 15 % des apports en eau douce en rade de Brest avec un débit moyen de 6,88 m³/s. Le secteur Sud sous l'influence de l'Aulne qui fournit 60 à 70 % de l'eau douce en rade de Brest avec un débit moyen de 27,70 m³/s pouvant atteindre 200 m³/s en période de crue. Le secteur central est une zone intermédiaire de mélange intense sous influence directe des masses d'eau de la Mer d'Iroise,



auxquelles se mélangent partiellement et celles des secteurs Nord et Sud (Guérin, 2004 ; Frère, 2017 ; Petton, sd ; F. Dumas, com. pers.).

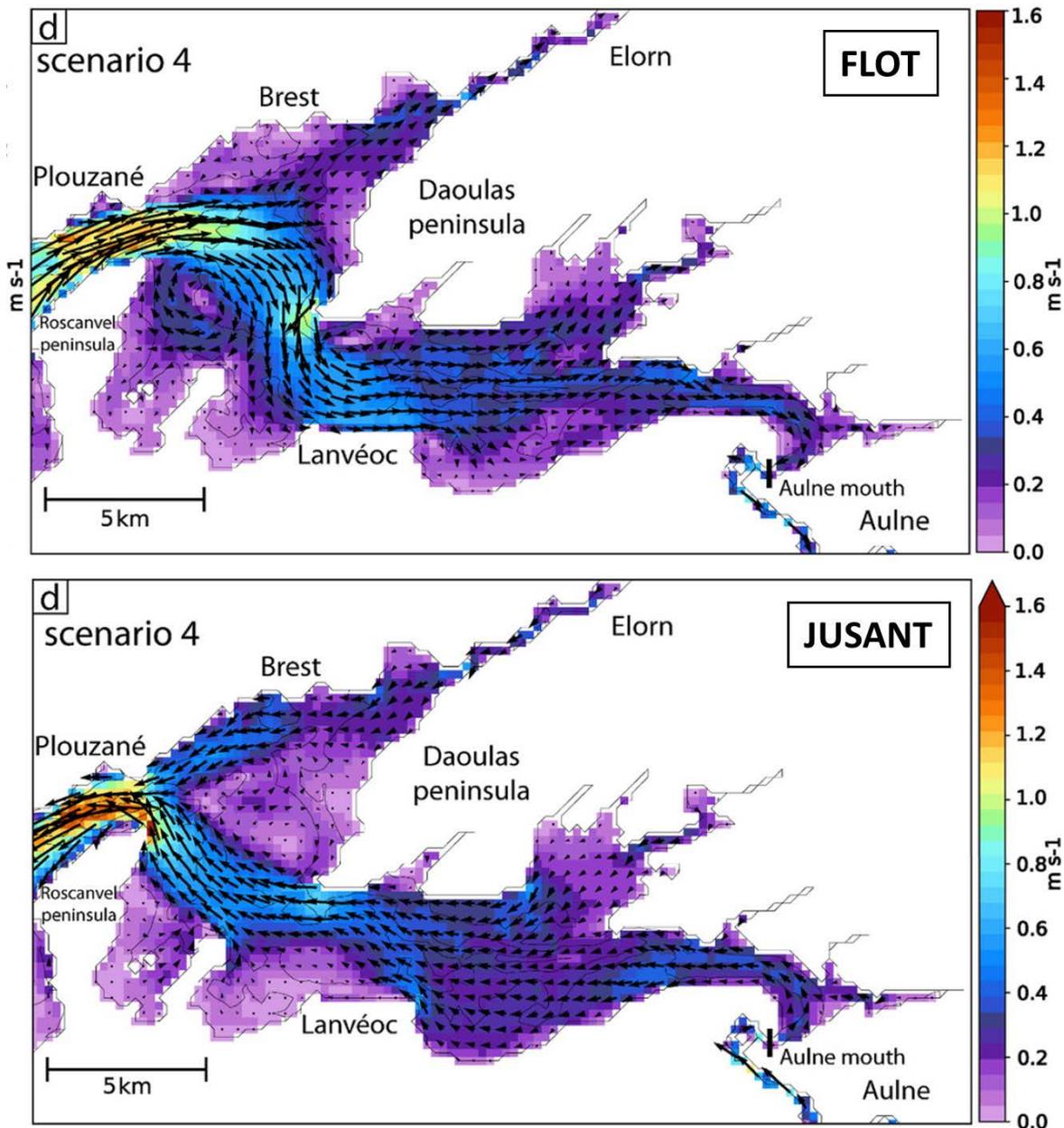


Figure 10 : Vitesse moyenne et direction des courantstidaux durant une marée d'équinoxe de printemps. Simulation numérique d'après Olivier et al., 2021

A une échelle spatiale encore inférieure, d'autres systèmes constitués des baies et criques (baie de Daoulas, anses de Roscanvel, du Fret, de Camfrou, du moulin blanc, rade abri...) sont connectées aux entités (secteurs) du centre rade, de la rade sud et de la rade nord. Elles constituent des systèmes plus isolés hydrodynamiquement ou les courants sont plus faibles et les capacités de renouvellement plus lentes (Petton et al., 2020). Un indicateur de dispersion locale mis au point par Petton et al., (2020) met en évidence ces phénomènes de relatif isolement à l'échelle de la rade complète (Figure 11). Ces caractéristiques font de ces systèmes locaux autant de singularités rendant de ce point de vue l'entité rade de Brest comme un ensemble homogène peu pertinent, en tout cas pas à toutes les échelles de temps.

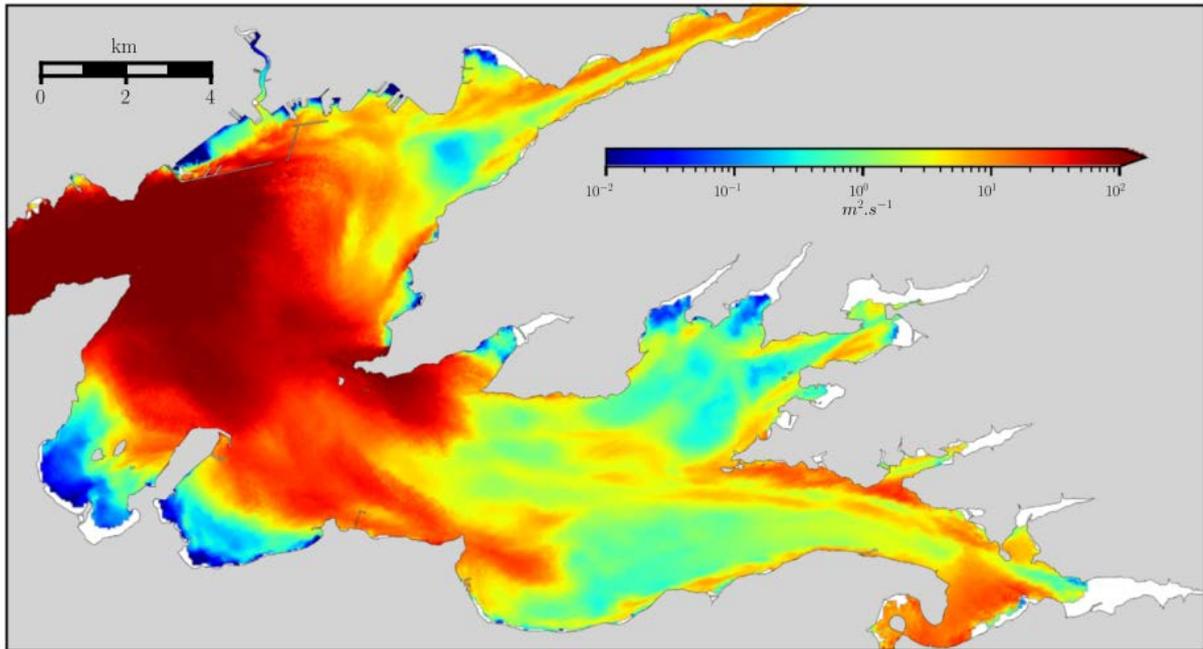
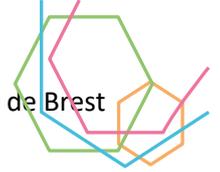


Figure 11 : Coefficient de diffusion (en m^2/s) moyen pour une marée de coefficient 70 (Petton et al., 2020).

La granularité des sédiments dans le milieu aquatique est dictée par l'hydrodynamisme, favorisant le dépôt des sédiments fins dans les milieux calmes (faible courant et/ou abrité des vagues) et les sédiments grossiers dans les milieux plus agités (fort courant et/ou exposé aux vagues ; Figure 12). Cette ségrégation hydrodynamique explique la présence de sédiments fins (argiles, silts, sables fins) à l'Est de la rade de Brest dans les estuaires de l'Aulne et de l'Elorn et leur prolongement. A l'inverse, le centre de la rade et le goulet sont dominés par des sédiments plus grossiers (sables grossiers, graviers, parfois blocs ; Figure 13, Gregoire et al., 2016).

Deux types de sédiments sont représentés dans la rade de Brest : i) les grains silico-clastiques sont issus du démantèlement des roches qui forment le soubassement de la rade et de son bassin versant (schistes, granites, gneiss) ; ii) les grains calci-clastiques sont issus des organismes à coquille carbonatée qui vivent et se désintègrent dans le milieu aquatique (bivalves, gastéropodes, algues calcaires). Cette particularité de mélange entre grains silico- et calci-clastiques dans la rade de Brest forme une richesse sédimentaire produisant une multitude de 'faciès' mixtes (Figure 12).

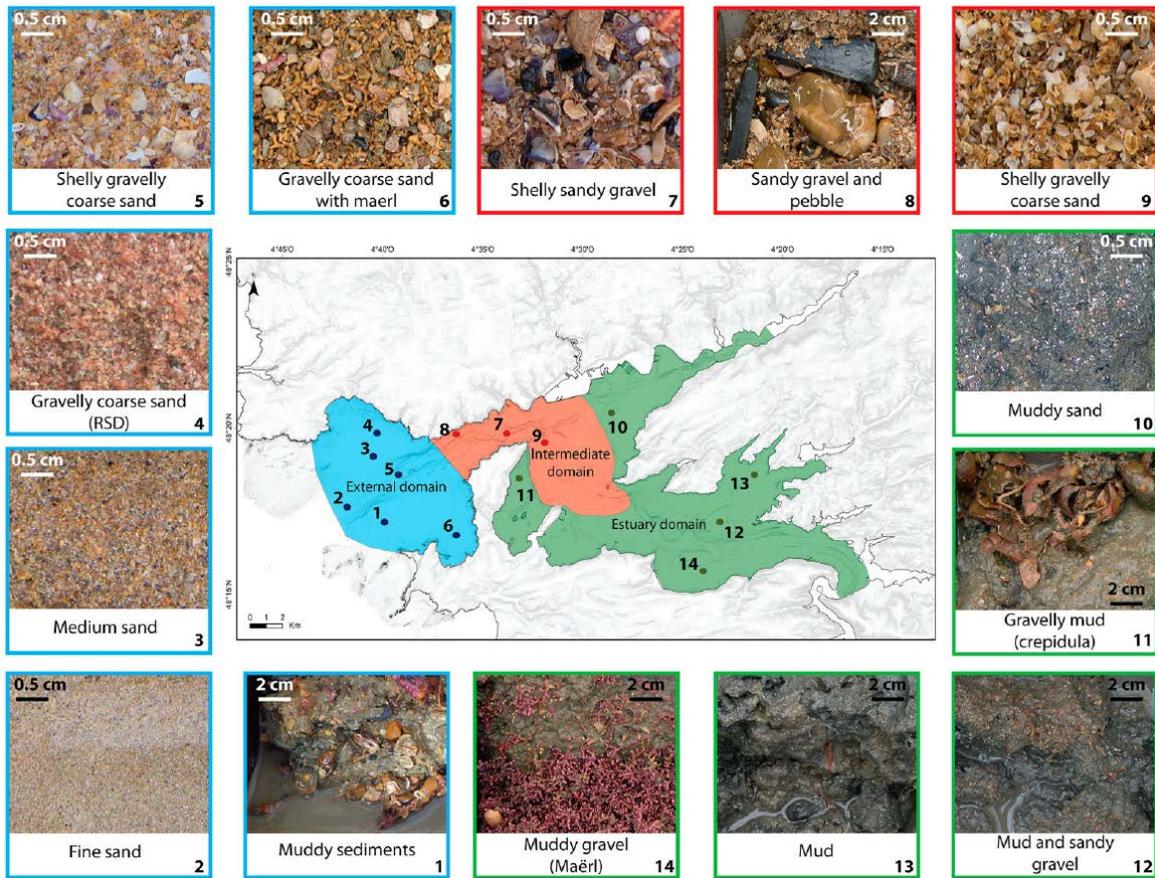


Figure 12 : Identification de trois domaines faciologiques de la rade de Brest. Zone verte, facies boueux mélangés à des éléments coquilliers (crépidules, maërl) ; zone rouge, sable coquillier et graviers ; zone bleue au-delà de la rade, sable fin à grossier, sables coquilliers et graviers localisés sur des surfaces d'érosion (Gregoire et al., 2016).

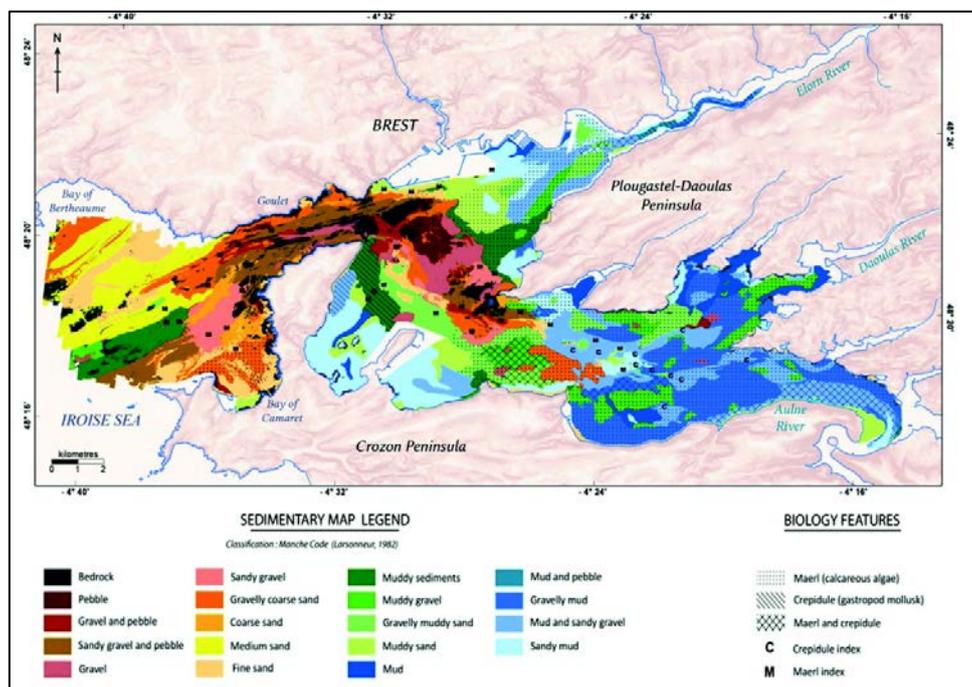
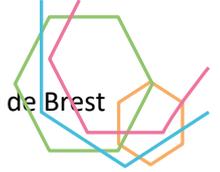


Figure 13 : Carte sédimentaire de la rade de Brest et emplacement des principaux bancs de maërl et crépidules (Gregoire, 2016).



Les travaux de Beudin (2014) et Beudin et al. (2014) permettent d'estimer la dynamique sédimentaire en rade de Brest à l'aide de modèles numériques (Figure 14). La région privilégiée de transport par charriage est située dans le goulet à l'entrée de la rade où dominant sur le fond des sédiments non-cohésifs. Trois-quarts des fonds de la rade présentent une proportion significative de sédiments fins généralement cohésifs dont le mode de transport s'opère en suspension. Dans le goulet, les taux de transports par charriage ont une intensité maximale de 80 g/m/s contre 9 g/m/s au même endroit pour les flux en suspension. Dans la rade, le transport en suspension domine largement, avec des maxima de 1 kg/m/s dans l'Aulne et une moyenne de 84 g/m/s contre 40 mg/m/s pour les flux charriés (Beudin 2014 ; Beudin et al., 2014).

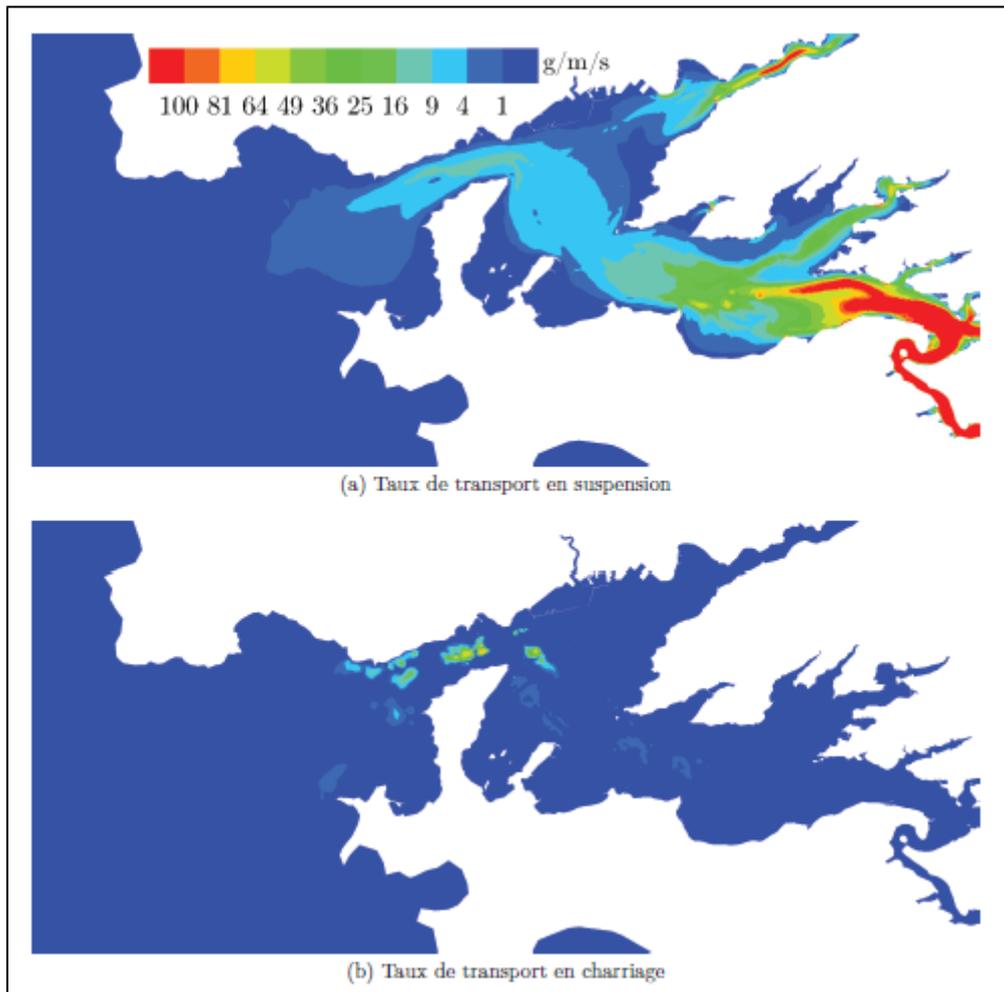
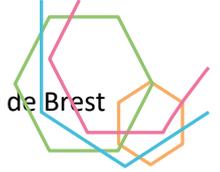


Figure 14 : Taux de transport sédimentaire maximal au cours du cycle de marée moyenne (a) en suspension et (b) en charriage (Beudin, 2014)



I.2. Biotopes et biocénose

Les forêts, les tourbières, le maillage bocager, les landes, sont des biotopes typiques du bassin versant de la rade de Brest qui s'étend sur 2 650 km². Le développement de ces biotopes est parfois associé à des facteurs abiotiques spécifiques. C'est cette combinaison de facteurs qui permet l'établissement d'une végétation elle-même spécifique, et de sa faune associée. Citons la forêt spontanée (chênaie-hêtraie) qui affectionne les sols acides riches en silice, les tourbières qui se développent dans les zones hydromorphes de bas-fond, ou encore les landes littorales qui supportent l'action constante du vent et des embruns. Dans la rade, l'hydrodynamisme est le facteur déterminant pour la répartition des sédiments selon leur taille : Les sédiments fins sont présents dans les fonds de baie et dans les estuaires ; les sédiments grossiers sont quant-à eux prépondérants dans l'axe des chenaux tidaux et dans le goulet. Les organismes carbonatés (ex : les coquilles Saint-Jacques ou le maërl) fournissent à la rade une proportion non-négligeable de sédiments « biogéniques ». Leur abondance est largement dictée par la disponibilité en nutriment, ou la compétition entre espèces.

Le milieu littoral est étagé en fonction de l'influence des marées. Cet étagement permet le développement d'espèces végétales et animales inféodés à des milieux très spécifiques ; citons les herbiers de zostères de l'étagé subtidal (immergées) ou les plantes halophiles (haut niveau de tolérance du sel) telles que la criste marine ou l'armérie maritime qui colonisent les falaises de l'étagé supralittoral (toujours émergées). Les fonds marins abritent aussi des milieux fragiles. C'est par exemple le cas du maërl, dont les accumulations sédimentaires forment une nurserie pour les jeunes Coquilles Saint-Jacques et huîtres plates.

Le domaine continental constituant le bassin versant de la rade de Brest est de 2 650 km², *cad* 15 fois plus grand que la rade elle-même. Les eaux continentales (cours d'eau et zones humides associées ; Figure 15), les tourbières, le maillage bocager, les landes, les forêts et bois sont parmi les éléments les plus caractéristiques de l'ensemble du territoire naturel du bassin versant de la rade de Brest (Trodec et al., 1997). Le bassin versant de la rade de Brest et la rade elle-même comprennent 11 sites Natura 2000 : FR5300003 : Complexe de l'est des montagnes noires ; FR5300007 : Têtes de bassin du Blavet et de l'Hyères ; FR5300041 : Vallée de l'Aulne ; FR5300014 : Complexe du Menez Hom ; FR5310071 : Rade de Brest : Baie de Daoulas, Anse de Poulmic ; FR5300046 : Rade de Brest, estuaire de l'Aulne ; FR5300019 : Presqu'île de Crozon ; FR5300039 : Forêt du Cranou, Menez Meur ; FR5300040 : Forêt de Huelgoat ; FR5300013 : Monts d'Arrée centre et Est ; FR5300024 : Rivière Elorn (INPN). En outre, plusieurs ZNIEFF de type I (secteurs de grand intérêt biologique ou écologique) et de type II (grands ensembles naturels riches et peu modifiés) sont recensés sur le territoire (Figure 15).

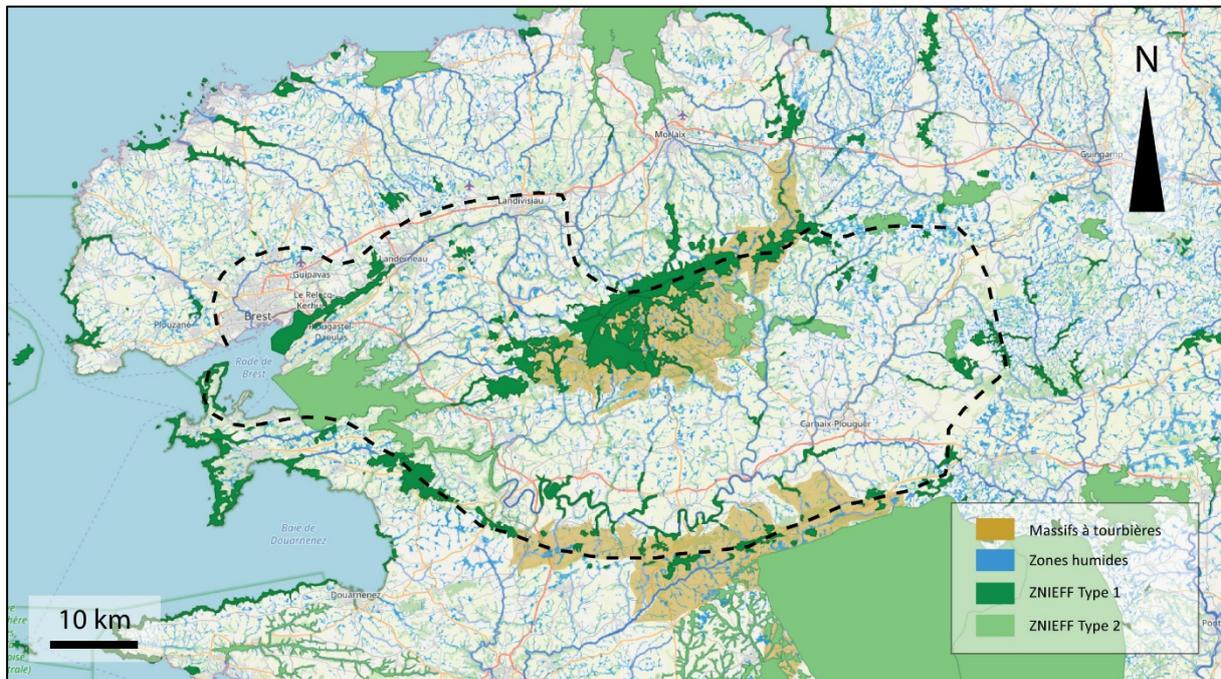
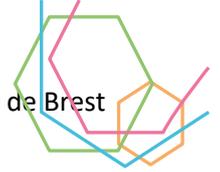


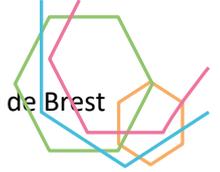
Figure 15 : Délimitation du bassin versant de la rade de Brest et localisation des zones humides, massifs à tourbières et ZNIEFF de type 1 et 2 (SIG réseau Zones humides).

1.2.1. La forêt

La forêt spontanée est essentiellement représentée par la chênaie-hêtraie sur sol acide sur le bassin versant de la rade. L'un des caractères originaux des forêts de la région (forêts de Huelgoat, du Cranou) tient à la forte humidité atmosphérique qui résulte du relief accidenté et de la pluviométrie élevée. Cette humidité favorise le développement de la chênaie-hêtraie à houx et ifs, marquée par le développement important des mousses et lichens sur les troncs et branches d'arbres. Les espèces introduites pour la production de bois (châtaignier, pin maritime, pin sylvestre) peuvent constituer des variantes des associations primitives. Les forêts bretonnes sont constituées à part égale d'essences indigènes et d'essences étrangères à la région. Le couvert forestier est l'abri de nombreux champignons, mousses, fougères, plantes à fleurs, insectes, oiseaux et mammifères. La présence de la végétation autochtone est un facteur important du maintien d'une biodiversité élevée dans les massifs forestiers. Pour plusieurs espèces, la forêt constitue un biotope indispensable (champignons, rapaces, pics, grands mammifères). Certaines espèces sont remarquables du fait de leur rareté ou des menaces qui pèsent sur elles. Citons, les petites fougères hyménophylles, le carabe à reflet d'or (Coléoptère) connu seulement dans les forêts humides de Bretagne et absent dans les plantations de conifères, ou l'escargot de Quimper cantonné aux sous-bois de Bretagne Occidentale (Troaderc et al. 1997 ; Plan biodiversité, 2018, 2022).

1.2.2. Les landes

Les landes sont des formations végétales basses inférieures sur sol siliceux et chimiquement pauvre dominé par la bruyère et l'ajonc. Ces paysages s'observent dans les sites où les conditions ne permettent pas l'établissement d'arbres et d'arbustes. Les landes primaires ou 'climaciques' (naturellement stable) sont situées sur les crêtes rocheuses aux sols peu épais (Monts d'Arrée, Montagnes Noires, Menez Hom), sur les bordures littorales soumises à l'action constante du vent et des embruns (goulet de la rade, Pointe de Roscanvel, Pointe de l'Armorique). Certaines landes du bassin versant de la rade présentent un intérêt exceptionnel. C'est le cas de Cragou, Locarn, et du



Menez Hom. Certaines landes occupent des superficies considérables (15 000 hectares dans les Monts d'Arrée). Ces milieux constitués d'une végétation originale accueillent une faune d'insectes inféodés à certaines plantes (papillons, oiseaux tels que la linotte mélodieuse, le traquet pâtre, le busard cendré, Troadec et al. 1997).

1.2.3. Le bocage et les zones humides

Les cours d'eau et les zones humides du bassin versant de la rade de Brest sont un ensemble fonctionnel qui entretient des relations très étroites avec les versants, les plateaux, et le littoral.

Le bocage est le modelage paysager des campagnes bretonnes dont la qualité influe directement sur celle des écosystèmes aquatiques et subaquatiques en aval. Le bocage breton s'est formé surtout dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle et tout au début du XX^{ème} siècle. La structure bocagère trouve son importance pour la rétention, le stockage et la filtration de l'eau. Le bocage fournit également une protection contre le vent et un refuge pour la biodiversité (faune et flore). Historiquement, le talus planté est également une source d'énergie (bois de construction ou de chauffage).

L'omniprésence de l'eau sur le territoire a modelé le paysage en formant de nombreuses vallées dont les versants constituent la partie agricole et dont la partie basse est constituée par i) les zones humides (prairies, marais, tourbières) et ii) le cours d'eau.

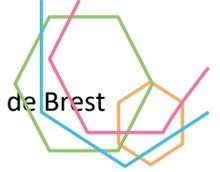
i) **Les zones humides** continentales sont représentées contiguës aux cours d'eau. Elles font partie des zones hydromorphes de bas-fonds et un rôle important pour la conservation de la diversité biologique et servent de zone de refuge pour la faune (anatidés, limicoles) et la flore face à l'intensification de l'utilisation des plateaux et des versants. Les tourbières se développent dans des zones caractérisées par la permanence de l'eau (pluviométrie ou cuvette d'accumulation). La production excédentaire de matière organique dans les tourbières s'accumule (non-dégradation en conditions anoxiques) et constitue la tourbe. Les principales tourbières du bassin versant de la rade sont situées sur les pentes du Menez Hom, le long des axes constitués par les Monts d'Arrée et les Montagnes Noires. Leur intérêt écologique est notamment botanique. Les tourbières abritent une flore originale composée de sphaignes (dont la rare sphaigne de la Pylaie), d'espèces adaptées à la pauvreté du substrat, telles des plantes carnivores (droséra) et des plantes aux affinités nordiques (canneberge, linaigrette vaginée). La faune strictement inféodée aux tourbières inclut quelques oiseaux nicheurs (courlis, bécassine des marais).

ii) **Le cours d'eau** entretient des relations étroites avec les prairies humides contiguës. Leur bon fonctionnement dépend également de la nature de leurs berges. Les rivières ont subi une gestion intéressée des agriculteurs et des meuniers au début du siècle et le retour à un état plus ou moins 'climacique' (naturel stable) dès la fin des années 60. La reconquête progressive a redonné à certaines rivières leur valeur patrimoniale. Certaines pressions perdurent ou apparaissent qui mettent en danger cet équilibre (Atlas biodiversité Brest Métropole).

1.2.4. Le milieu littoral

1.2.4.1. Les zones humides et marais littoraux

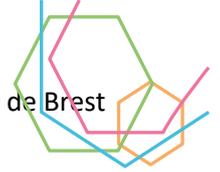
Les zones humides littorales sont constituées de vasières littorales et les marais littoraux situés principalement en fond de baie et le long des estuaires (Figure 17). La rade de Brest est propice au développement des végétations de zones saumâtres et prés salés. Les zones humides littorales de la rade présentent une importante valeur écologique et patrimoniale. Parmi elles, on citera le haut-estuaire de l'Elorn, les anses de Lanveur, de Keroullé, ou l'estuaire du Faou. L'identification des vasières littorales repose sur l'opposition entre le schorre (du néerlandais *schor*, pré salé) et la slikke (du



néerlandais *slijk*, boue). Le Schorre est constitué d'une végétation halophile (tolérante au sel) et se répartit en plusieurs sous-étages (bas, moyen, et haut schorre). Ces trois sous étages sont soumis à l'action des marées (zone intertidale). Seules les marées de mortes eaux n'atteignent pas le bas-schorre. A l'inverse, seules les marées de vives eaux recouvrent le haut-schorre. Au niveau floristique, la soude (*Suaeda maritima*) et l'aster (*Aster tripolium*) sont des espèces inféodées au bas-schorre, l'obione (*Obione portulacoides*) est caractéristique du moyen schorre avec son aspect buissonneux, et le haut schorre se compose de salicornes (*Salicornia* sp.) de spartines (*Spartina* sp.), de lavandes de mer (*Limonium* sp. ; notamment *Limonium humile*, Figure 16), ou d'armoises (*Artemisia vulgaris*). La faune du schorre est composée de quelques crustacés et d'une grande variété d'insectes profondément inféodés au milieu. A marée haute, la faune aquatique vagile (mobile) est constituée de crevettes grises, gobies, plies et mulets qui fréquentent les milieux estuariens (Troader et al., 1997 ; Larzillière et al., 2008 ; Plan biodiversité, 2018).

Les prés salés sont l'un des patrimoines naturels les plus intéressants du site Natura 2000 de la rade. Ils couvrent une surface totale 85 ha sur le site Natura de la rade de Brest. Les éléments sur la composition floristique et le fonctionnement des marais de la rade de Brest proviennent majoritairement des travaux du CBNB et de l'Institut Universitaire Européen de la Mer – CNRS/UBO. Ils sont localisés dans les anses et rias formées par des affluents se jetant dans la rade qui se succèdent du nord au sud et s'agencent parallèlement les unes aux autres : Etang de Saint Adrien, anse de Moulin Mer, anse de Penfoul, ria de l'Hôpital Camfrout, anse de Kéroullé, ria du Faou, estuaire de l'Aulne. Ils se présentent sous la forme de petites zones de prés salés d'intérêt communautaire, entrecoupées de prairies de spartines à fleurs alternes, ou spartinaies. Compte-tenu du caractère invasif de cette espèce exogène, les spartinaies ne sont pas reconnues comme étant d'intérêt communautaire. En condition naturelle, c'est à dire sans pâturage, les différentes associations végétales sont généralement disposées en ceintures parallèles qui se répartissent successivement de la vasière vers le haut estran, en fonction surtout de leur capacité d'adaptation à l'influence de la marée et de la salinité. On distingue généralement la zone pionnière (haute slikke), le bas schorre, le moyen schorre, et enfin le haut schorre. Cette zonation n'est pas figée mais au contraire en constante évolution notamment du fait de la dynamique sédimentaire en rade qui est globalement favorable à la progression des prés salés, et notamment des prés à Spartine, ce qui pose le problème de comblement des rias et de colonisation du schorre par cette espèce invasive.

Les marais salés jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement du système côtier qui découle à la fois de leurs caractéristiques de productivité, et de leurs fonctions d'accueil et de ressources pour un certain nombre d'espèces. De par leur vaste superficie, les marais salés sont d'importants producteurs de matière organique. Cette dernière est exportée vers la mer principalement sous forme dissoute, et secondairement sous forme de particules. Une partie de la matière organique transférée par ces marais peut être utilisée directement par les invertébrés marins (vers polychètes comme les néreïs ou les arénicoles, crustacés, mollusques) mais surtout elle vient enrichir pour l'essentiel les vasières de la baie. Ainsi à marée basse, grâce aux nutriments et à cette matière organique dissoute, se développent en abondance des micro-algues benthiques : les diatomées. Celles-ci, reprises par le flot à marée montante, sont dispersées dans la colonne d'eau. Elles contribuent alors, en plus des apports de phytoplancton océanique, de nutriments et de matière organique à partir des marais salés et des rivières et petits effluents côtiers, à la nourriture de base des huîtres, moules, coques et de nombreux autres invertébrés sauvages. De plus, à marée haute, les chenaux et les marais salés fournissent la nourriture à des poissons comme les mulets, eux-mêmes privilégiés dans l'alimentation des Phoques et Dauphins, les Gobies, petits poissons fourrage, et les juvéniles de Bars, d'un grand intérêt halieutique. Ces derniers viennent chasser un petit crustacé, *Orchestia*, qui se nourrit de la matière en décomposition provenant de l'Obione faux-pourpier. Les Bars de première année consomment presque exclusivement ce crustacé qui contribue ainsi à lui seul jusqu'à 90% de leur croissance. Ce rôle de nourricerie des marais salés peut donc être considéré comme une des fonctions écologiques majeures de ces milieux.



La rade de Brest est reconnue comme un lieu d'hivernage et de halte migratoire de l'avifaune, notamment des anatidés et limicoles. Dans ce contexte, les limicoles exploitent les marais salés comme reposoirs de marée haute. Mais l'intérêt majeur de ces milieux pour l'avifaune concerne les anatidés brouteurs et notamment le Canard siffleur qui utilise les marais salés comme ressource trophique. Ces derniers consomment préférentiellement la Puccinellie, plante que l'on trouve généralement dans les prés salés pâturés ou fauchés, ou soumis à des conditions topographiques particulières peu favorables à l'obione. 20 stations de puccinelle ont été cartographiées sur le site Natura 2000 par le CBNB en 2004. Il s'agit notamment des sites de Bolast en ria du Faou, de Troaon à l'Hôpital-Camfrout ou encore Rossermeur à Plougastel.

Enfin, il est à noter que les marais salés de la rade hébergent, le statice humble, ou *Limonium humile*, l'une des plus rares plantes du littoral français et de l'Europe du nord-ouest, la rade de Brest constituant pour cette espèce la seule localité française. Sa régression a été mise en évidence en 1996 suite à une étude comparative de l'évolution des stations depuis 1991 par le Conservatoire botanique national de Brest. Elle est liée au développement rapide de la spartine américaine, *Spartina alterniflora*, une plante invasive qui se développe sur le bas-schorre en formant à terme des prairies monospécifiques, qui tendent à prendre la place des espèces locales (limonium mais également puccinelle, salicorne, spargulaire, triglochain...). Suite à cette étude, des mesures expérimentales d'éradication ont été mises en place localement, d'abord en 1998 par le CBNB, puis depuis 2011, par le PNRA.



Figure 16 : A gauche, Prés salés, Anse du Bourg à Logonna Daoulas (PNRA, com. pers.) ; A droite *Limonium humile* (PNRA, com. pers.)

Les marais littoraux regroupent l'ensemble des zones humides littorales soumises dans une moindre mesure aux marées. En rade de Brest, les marais littoraux ont souvent pour origine l'accumulation d'eau douce continentale en arrière de cordons littoraux de galets ou de graviers (anse du Caro, Troaon, Le Loc'h, étangs du Fret et de Quélern...). Entrent aussi dans ce milieu les étangs à marée et les moulins à mer (anse de Kerhuon, Logonna-Daoulas, Landévennec), zones humides artificielles. L'eau y est généralement plus ou moins saumâtre. Les marais littoraux sont parmi les plus productifs de par leur importance comme nurseries de poissons, ou de lieu de nidification d'oiseaux. Le rôle de filtre naturel de ces marais est de plus un atout à mieux exploiter dans le cadre de programmes de reconquête de la qualité des eaux. En dépit de leur intérêt, les pratiques agricoles actuelles et les divers aménagements réalisés ou en cours (urbanisation, drainage, remblaiement, poldérisation) conduisent à la disparition d'un grand nombre de ces sites en rade de Brest (Larzillière et al., 2008 ; Troadec et al., 1997).

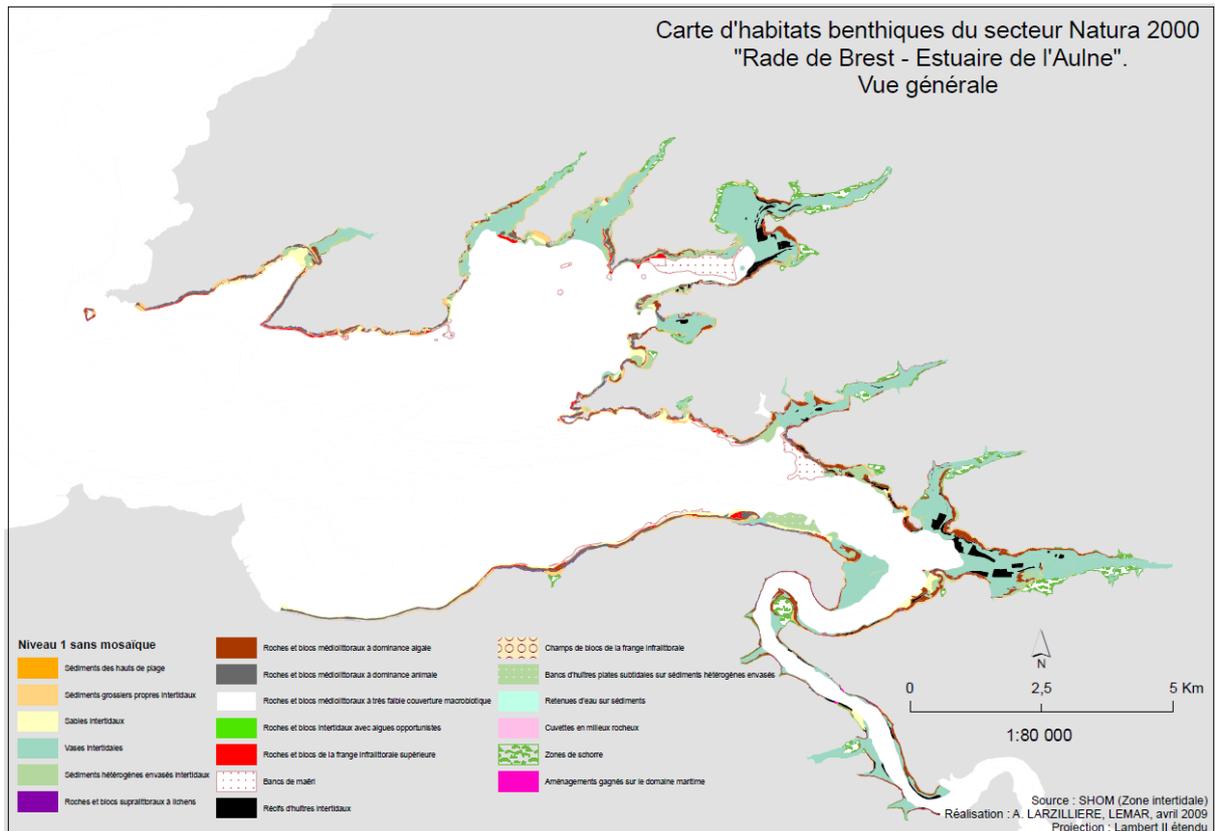
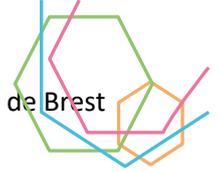
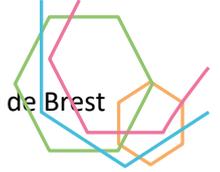


Figure 17 : Exemple de carte d'habitats benthiques en zone intertidale pour l'estuaire de l'Aulne (Larzillière et al., 2008 ; Larzillière et al., 2009).

1.2.4.2. L'estran

L'estran correspond à la zone de balancement des marées entre le niveau de basse mer et le niveau de haute mer. Les estrans sont repartis entre deux types 'extrêmes' que sont : i) les estrans rocheux situés dans les secteurs les plus exposés au vent, aux embruns et aux vagues, et ii) les estrans vaseux situés dans les secteurs calmes, et souvent soumis à l'apport d'eau douce continentale des fleuves côtiers. Trois étages composent l'estran. L'étage infralittoral est uniquement découvert durant les marées de vives eaux, l'étage médiolittoral est situé dans la zone de battement des marées, et l'étage supralittoral est uniquement recouvert lors des marées de vives eaux. Les peuplements d'espèces animales et végétales s'organisent selon les facteurs de stress tels que le vent, les embruns, et les vagues. Le temps d'immersion varie pour chacun des étages (long pour l'étage infra-littoral et court pour l'étage supra-littoral). Le peuplement des étages i) infra-, ii) médio-, et iii) supra-littoral peut être synthétisé comme suit :

- i) Les algues rouges et les grandes laminaires (algues brunes) peuplent l'étage infra-littoral.
- ii) L'étage médio-littoral est constitué essentiellement d'algues brunes telles que les fucales (himanthale – *Himanthalia* sp. ; fucus – *Fucus vesiculosus* ; pelvetia – *Pelvetia* sp.) qui s'échelonnent en quatre ou cinq ceintures qui reflètent les conditions d'émersion (plus on se situe en haut de l'estran, plus le temps d'émersion est important lors des marées). Des cortèges d'espèces animales accompagnent cet étage médiolittoral. La faune fixée est principalement constituée de balanes (crustacés cirripèdes), de moules, éponges, anémones, et ascidies. Lorsque cette faune est abondante, elle attire les prédateurs : poissons intertidaux (blennies), mollusques perceurs (nucelles, nasses), et oiseaux (huîtres-pies). La faune vagile (mobile) est essentiellement constituée de gastéropodes



brouteurs d'algues (gibbules et littorines), de crustacés détritivores ou charognards (gammare, crabes, pagures).

- iii) L'étage supra-littoral est le niveau de la roche apparemment nue sur laquelle la végétation pionnière dominée par les lichens s'installe. La faune y est pauvre. Les faciès de falaises, plus ou moins hautes, succèdent naturellement à cet étage. Au-dessus de l'étage supralittoral abondent les lichens (par exemple : *Verrucaria maura*, *Xanthoria parietina*).

Les champs blocs désignent des accumulations de blocs de roches, accessibles aux forts coefficients de marée. Ils sont recouverts d'algues rouges ou brunes qui apportent ombre et humidité, ils offrent un refuge propice aux éponges, anémones et autres espèces sous-marines (étages infra- et médio-littoral). Les champs de blocs en rade sont situés notamment au Nord de la presqu'île de Logonna-Daoulas et au Nord de la commune de Landévennec. Cet habitat apparaît sur la frange émergente de l'infra-littoral. Les champs de blocs de bas d'estran correspondent à des habitats remarquables de par leur architecture et biodiversité exceptionnelle (Le Hir, 2002). La diversité des substrats qui les composent (mélange de blocs rocheux de différentes tailles et de substrats meubles), et la complexité architecturale qu'ils créent de par leur agencement dans l'espace (blocs superposés, surplombs, blocs sur sédiment) permet le maintien d'un peuplement animal et végétal très diversifié, où tous les groupes trophiques sont représentés, ce qui témoigne de la variété des niches disponibles. Plus de 390 espèces différentes peuvent être recensées dans un champ de bloc en bon état écologique. Trois grands types d'architecture de blocs se retrouvent : les blocs sur sédiments, les blocs sur roche en place et les blocs sur blocs. La configuration « blocs sur blocs » est celle qui génère le plus d'habitats et de biodiversité. Les champs de blocs constituent l'habitat de prédilection de nombreuses espèces à forte valeur commerciale (tourteau, étrille, pétoncle noir, ormeau...). Les larves et juvéniles de tourteau en particulier, y trouvent un refuge durant leur croissance. Différents champs de blocs ont été cartographiés et suivis par le PNMI en Iroise et le PNRA en rade de Brest. Le champ de blocs de la pointe du Roz, situé sur la commune de Logonna-Daoulas est particulièrement original car il est constitué de blocs posés sur du maërl, ce qui permet à des espèces originales de se développer sous les blocs.



Figure 18 : A droite, infographie Life Marha sur les champs de blocs

Les falaises hautes sont principalement distribuées aux abords du goulet, de la pointe du Portzic au Petit Minou au Nord, et la pointe des Espagnols au Sud. La pointe de l'Armorique est comparable en certains endroits aux sites du goulet. Les premières plantes supérieures halophiles (résistantes au sel des embruns) sont installées à la base des falaises, au-dessus de l'étage supralittoral. Parmi des plantes, la criste marine (*Crithmum maritimum*), l'armérie maritime (*Armeria maritima*), la cochléaire



officinale (*Cochlearia officinalis*), exploitent le peu d'humus accumulé dans les fissures pour s'installer. Le sommet de la falaise peut présenter une pelouse aérohaline, évoluant vers une lande composée de genêts, d'ajoncs et de bruyères. Les zones de fourrés et la forêt se développent plus loin de l'influence de la mer. Ce schéma est modulé suivant la vigueur des influences marines. Plus l'action des facteurs marins est aiguë, plus l'étendue des zones de pelouse et de lande du haut de falaise est importante.

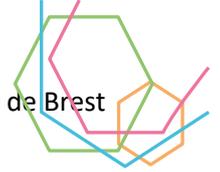
La végétation du haut des grèves et des cordons littoraux est également présente en rade. Les plantes constituant ces milieux tirent leur subsistance des algues des laisses de mer en décomposition (DOCOB, 2014).

I.2.5. Le milieu sous-marin

La rade de Brest est un des écosystèmes marins les mieux connus d'Europe. Avec plus de 2000 espèces marines, d'algues et d'invertébrés répertoriées ainsi qu'une centaine d'espèces de poissons, des mammifères marins et des oiseaux, ce milieu marin abrite un écosystème riche. Les dispositifs d'observation standardisés (ex : REBENT, réseau benthique ; rebent.org) permettent de situer la biodiversité de la rade de Brest par rapport à celle de l'ensemble des eaux côtières bretonnes. Les recensements réalisés permettent de montrer que 59 % des espèces Bretonnes sont présentes en rade de Brest (Tableau 1). Cet écosystème, qui représente à peine 1,5 % de la surface des eaux côtières bretonnes abriterait près des deux tiers des espèces présentes dans ses eaux. En comparaison, les recensements réalisés dans les eaux côtières de la mer d'Iroise n'atteignent pas 40%, avec une surface pourtant six fois supérieure. Cette richesse associée à l'écosystème semi-fermé de la rade de Brest s'explique par la diversité géologique et les conditions hydrodynamiques rencontrées (Figure 13). Ces conditions permettent la création d'habitats très différents, des vases aux tombants rocheux en passant par les sédiments aux granularités variées (Figure 12). L'importance des échanges de masses d'eau entre la Rade de Brest et la Mer d'Iroise (Figure 10) justifie l'intégration de cette dernière pour la compréhension des écosystèmes marins et de leurs conditions de développement. La ZABrI (Zone Atelier Brest-Iroise), a notamment pour objectif d'améliorer la compréhension du fonctionnement et de l'évolution du socio-écosystème côtier.

| Phylum | Rade de Brest | Ensemble de la Bretagne | Pourcentage |
|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------|
| Algues vertes | 8 | 17 | 47 |
| Algues brunes | 22 | 39 | 56 |
| Algues rouges | 107 | 158 | 68 |
| Eponges | 61 | 113 | 54 |
| Anémones et cnidaires | 59 | 105 | 56 |
| Vers annelés | 298 | 434 | 69 |
| Crustacés | 206 | 395 | 52 |
| Mollusques | 172 | 268 | 64 |
| Bryozoaires | 25 | 51 | 49 |
| Echinodermes | 42 | 54 | 78 |
| Poissons | 50 | 96 | 52 |

Tableau 1 : Nombre d'espèces recensées au cours du programme REBENT en rade de Brest et sur l'ensemble de la Bretagne pour les principaux embranchements d'organismes marins (Grall, 2019). Erratum 'Mollusques'.



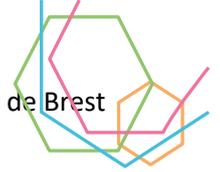
1.2.5.1. Les vasières et zostères

Les vasières présentent une forte décantation sédimentaire favorisant le dépôt et l'accumulation de sédiments fins engendrée par un hydrodynamisme faible (Figure 10). Ces vasières sont riches en vers polychètes, bivalves et autres filtreurs qui jouent un rôle de régulation de la biomasse algale phytoplanctonique à l'échelle de la rade. Les vasières intertidales représentent 40% des estrans de la rade de Brest. Essentielles pour la vie marine, ces vasières jouent un rôle primordial dans l'alimentation des oiseaux hivernants et l'alimentation des poissons. Ces zones sont extrêmement riches et ont longtemps été dévalorisées ou considérées comme moins essentielles. Pourtant le biofilm, constitué de foraminifères et de diatomées, qui recouvre les vasières constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire. Les vasières font partie des habitats qui produisent le plus de matière vivante de nos littoraux : plus de 10 000 invertébrés par mètre carré. Même si les vasières contribuent à la purification de l'eau grâce aux animaux filtreurs et au captage des polluants dans les argiles, ces milieux sont malheureusement extrêmement sensibles à la mauvaise qualité de l'eau et aux pollutions notamment telluriques. Dans le cadre du Life Marha, Réserves Naturelles de France déploie aujourd'hui un protocole de suivi des habitats sédimentaires intertidaux. Ce protocole sera mis en place par le PNRA à partir de 2023 et va permettre de faire un état des lieux des vasières de la rade de Brest (PNRA).



Figure 19 : A gauche, Infographie sur les vasières (Life Marha, OFB) ; A droite, photo de vasière (Agathe Larzillière, PNRA)

Les zostères sont des plantes à fleurs (phanérogames) affectionnant les fonds sableux et sablo-vaseux de l'estran et de l'étage subtidal (Figure 20). Les herbiers à zostères se développent à des profondeurs de 2 à 5 m sur le littoral Atlantique. Deux espèces sont dominantes, la Zostère marine (*Zostera marina*) et la Zostère naine (*Zostera noltei*). Lorsqu'elles se développent et colonisent un milieu, elles forment des herbiers denses aux allures de prairies sous-marines dont la hauteur oscille entre 20 et 120 cm. Les herbiers de zostères piègent les particules en suspension de manière indirecte en ralentissant les courants, ce qui augmente la sédimentation et diminue la remise en suspension des particules déposées. Les herbiers piègent également les sédiments de façon directe par la biomasse qu'ils abritent, notamment les très nombreux filtreurs. Les feuilles forment également un support adhérent pour les sédiments et les macro-algues. Les sédiments au sein des herbiers sont particulièrement riches en matière organique. Les zostères sont qualifiées d'espèces ingénieures puisqu'elles créent un ensemble d'écosystèmes complexes et une multitude d'habitats pour les organismes benthiques. Tous les grands embranchements et les grands groupes d'invertébrés marins y sont présents. Les espèces y trouvent des conditions favorables à la reproduction et à l'alimentation. Certaines espèces peuvent présenter un intérêt économique (araignée de mer, seiche, rouget, etc.). Elle subsiste dans la rade de Brest en baie de Roscanvel, à Plougastel-Daoulas ou encore à Guipavas (Pen An traon). Certaines espèces telles que : hippocampe, seiche, aplysie (ou lièvre de mer) utilisent ce milieu comme nurserie. La partie enfouie de l'herbier



abrite vers et bivalves (DOCOB, 2014 ; Plan biodiversité, 2018).



Figure 20 : Herbier de zostères naines (Thibaut de Bettignies UMS PatriNat)

Le bivalve *Atrina fragilis* est un des bivalves les plus grands (jusque 50 cm de long) mais également l'un des plus menacés des eaux atlantiques françaises. Sa coquille triangulaire est très fragile ce qui rend l'espèce vulnérable aux atteintes physiques. Ce bivalve vit enfoui aux deux tiers dans le sédiment, attaché à un support de petite taille (coquille morte, pierre) par un byssus long et dense. Les herbiers sont l'environnement de prédilection de *Atrina fragilis* mais certains spécimens ont été recensés dans les sédiments hétérogènes envasés (y compris les bancs de maërl). Reconnue comme menacée dans les eaux françaises et britanniques, cette espèce a été recensée vivante en rade de Brest en 1994, puis en 2016 (sous forme de coquilles très récentes). Au printemps 2019 des coquilles de l'espèce ont encore été récoltées sur l'estran de Roscanvel. Elle est extrêmement rare en rade de Brest mais également à l'échelle de la façade atlantique française (Grall, 2019).

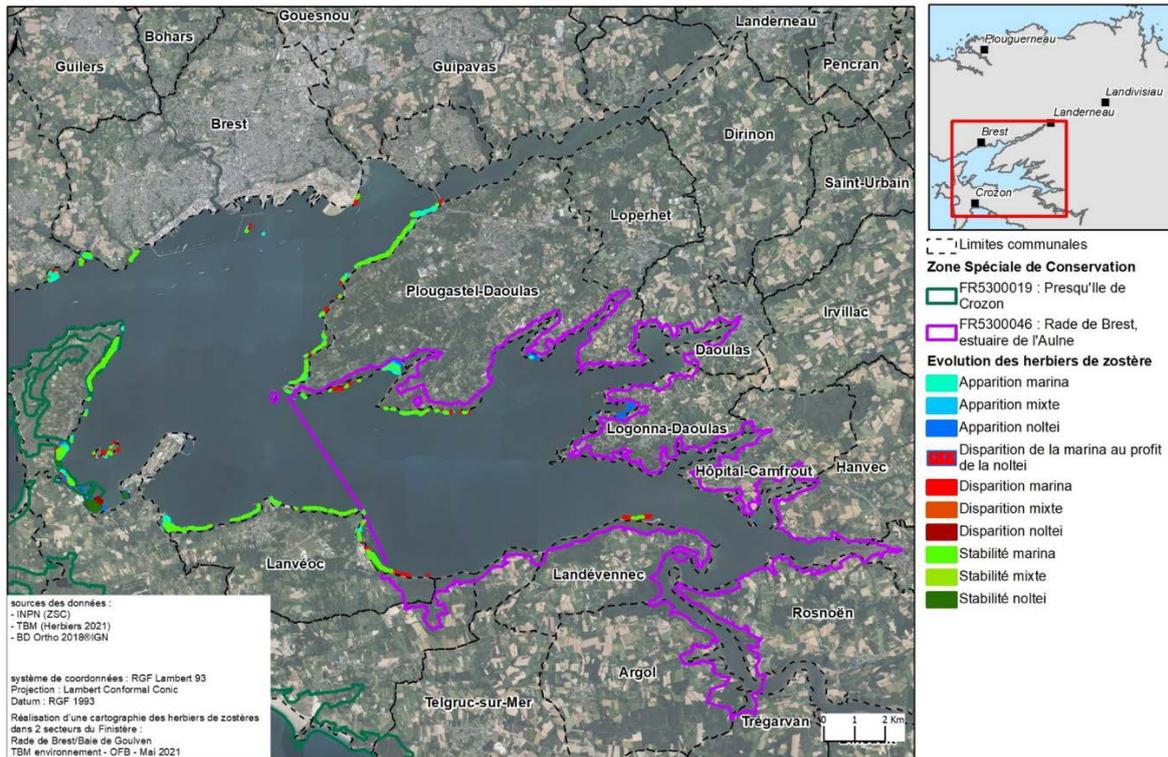


Figure 21 : Evolution des herbiers de zostères entre 2007, 2009, 2015, et 2021 (OFB, 2022)

1.2.5.2. Le maërl et faune associée

Le terme maërl désigne des accumulations d’algues calcaires rouges qui vivent librement sur les fonds meubles subtidiaux, à une profondeur de 0 à 30 mètres sur le littoral Atlantique (Figure 22). Le maërl s’accumule localement pour former des bancs dont la surface peut atteindre plusieurs kilomètres carrés. Pour former un banc, les algues calcaires s’accumulent sur une épaisseur variant de quelques cm à plusieurs mètres. L’étagement et le recouvrement successif des ‘thalles’ ou ‘brins’ de maërl ne permet qu’à la couche supérieure de survivre, provoquant le blanchissement et la mort des couches inférieures (Glémarec et Grall, 2000 ; Grall et al., 2006). Ces algues calcaires ont besoin d’une eau limpide et d’un courant permettant une circulation de l’eau suffisante pour éviter que les sédiments fins ne se déposent en trop grande quantité. En Europe, les bancs de maërl sont principalement constitués de deux espèces : *Lithothamnion corallioides* et *Phymatholithon calcareum*. En rade de Brest, *L. corallioides* est l’espèce dominante. Le maërl reste bien présent dans l’ensemble de la partie sud de la rade. Elle est, par contre, très localisée dans le bassin nord, sur le banc de Plougastel, par exemple. Les bancs de maërl de la rade de Brest abritent également *Lithophyllum fasciculatum* beaucoup moins courante dans les eaux européennes et qui affectionne particulièrement les eaux plus estuariennes. On l’observe notamment dans l’anse du Roz en baie de Daoulas. Le maërl constitue un milieu original, l’un des plus riches des côtes bretonnes (Glémarec et Grall, 2000 ; Grall et Hall Spencer, 2003). La structure de ces bancs de maërl présente un grand nombre d’interstices qui abritent une faune mobile abondante. C’est un lieu privilégié pour le recrutement des coquilles Saint-Jacques, pour le développement des pétoncles noirs, des praires, pour la nourriture de poissons à forte renommée comme le bar, la daurade, ou le turbot (Glémarec et Grall, 2000 ; Grall et Hall-Spencer, 2003 ; Grall et Coïc, 2006 ; Plan biodiversité, 2018). D’un point de vue fonctionnel, les bancs de maërl sont reconnus pour être des nurseries pour de nombreuses espèces d’invertébrés et de poisson qui y trouvent un abri face à leurs prédateurs, alors qu’ils ont accès à de la nourriture en abondance. Après quelques mois de croissance dans le maërl ils peuvent alors migrer vers leur habitat définitif. Les bancs de maërl sont aussi des zones de nurserie pour des espèces commercialement exploitées (huîtres par exemple ; Glémarec et Grall, 2000 ; Troadec et al., 1997).

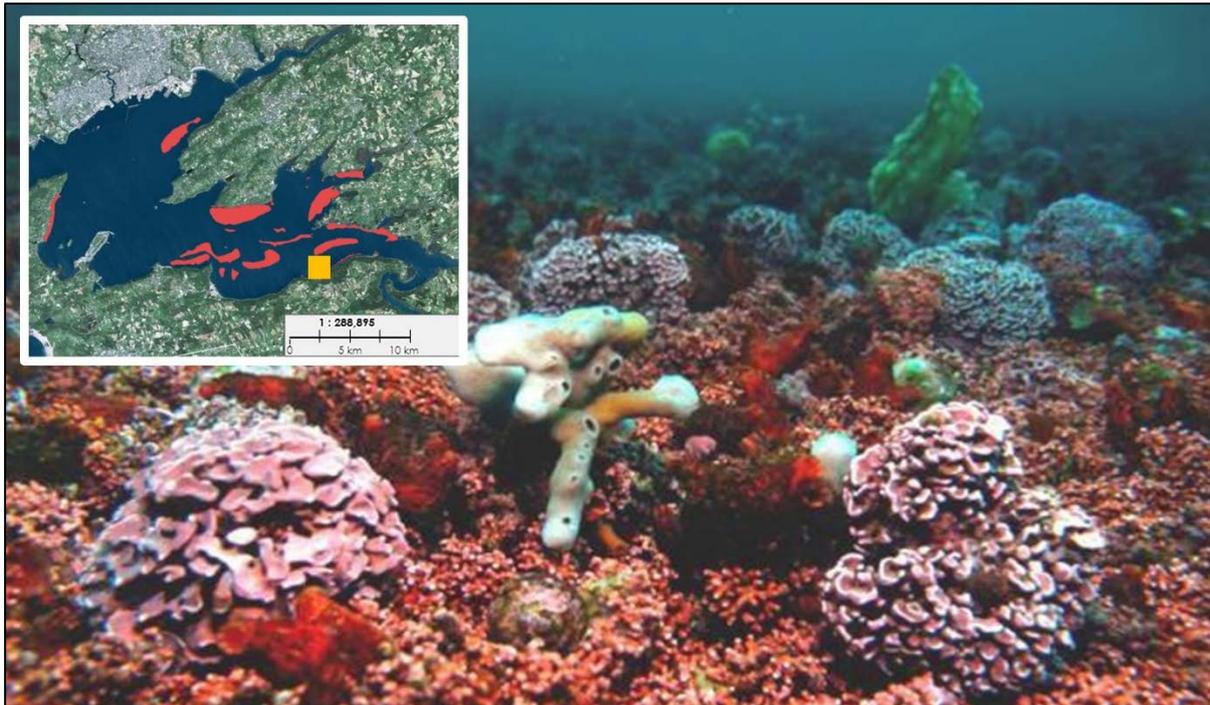


Figure 22 : Localisation des bancs de maërl en Rade de Brest (encart, extrait du navigateur Life-Marha) et photo sous-marine d'un banc de maërl au large de Lomergat (A. Pibot), l'espèce *Lithophyllum fasciculatum* est visible au premier plan sous forme globulaire violacée.

Les espèces de maërl les plus fréquentes en Atlantique nord-est sont *Lithothamnion corallioides*, *L. glaciale*, *L. tophiforme* et *Phymatolithon calcareum*. Cependant, d'autres types de bancs de maërl existent, ceux formés par les espèces du genre *Lithophyllum*. Les deux formes décrites pour *Lithophyllum fasciculatum* (formes *incrassata* et *complanata*) ont été observées en rade de Brest. Les thalles (corps végétatif des algues, sans racines tiges ou feuilles) libres de *Lithophyllum fasciculatum* sont de forme globulaire ou sub-globulaire, atteignant 10 cm de diamètre. Ils forment des bancs de maërl entre 0 et 2 m de profondeur dans la partie Est de la rade. En dehors de la Bretagne, le maërl à *L. fasciculatum* n'a été observé qu'en Irlande, dans la Kingston Bay (comté de Galway) à des profondeurs variant de 0 à 3 m (Grall, 2019).

L'huître plate (*Ostrea edulis*), au même titre que le maërl, est considérée comme une espèce clé car elle forme de véritables habitats pour d'autres espèces. Ainsi, on parle d'espèce ingénier pour désigner ces espèces 'refuge' pour un grand nombre de larves et d'adultes de poissons et invertébrés (moules, pétoncles, crabes, ascidies, éponges, vers etc.). L'enjeu de conservation de l'huître plate est très fort en tant qu'espèce ingénieure et exploitée (Duchêne et al., 2016). *Ostrea edulis* est l'espèce indigène européenne, dont l'élevage était déjà connu des Romains qui l'auraient importé en France. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, elle formait un banc naturel, pratiquement continu, le long de la côte, de la Norvège à l'Espagne. Aujourd'hui, victime de la surpêche et des épizooties, seuls quelques bancs naturels subsistent en Bretagne, Vendée, Gironde et Méditerranée, dans les eaux côtières, de préférence en milieux abrités, dans des habitats rocheux, parfois vaseux ou graveleux. Elle vit fixée sur un substrat dur ou détachée sur le fond, de la zone de balancement des marées jusqu'à 30 m de profondeur. La température de l'eau doit rester sous 15 °C l'été (fécondation) et la salinité de 1,9 ‰ au minimum. La turbidité de l'eau doit rester faible : riche en nutriments, l'eau doit être propre et oxygénée. La Rade de Brest constitue actuellement l'un des deux seuls sites de captage naturel d'huîtres plates en France, avec la Baie de Quiberon. Plusieurs programmes scientifiques en cours ont pour objectifs la reconstitution de récifs d'huîtres plates sauvages (PNRA).

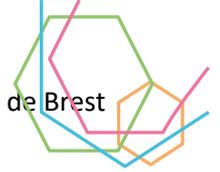


Figure 23 : (A) Banc d'huîtres plates (*Ostrea edulis*) sur du maërl en Baie de Roscanvel. Sont visibles également des pétoncles, des algues rouges, des éponges et de petits gastéropodes (Duchêne et al. 2015, photo S. Pouvreau) ; (B) Oursins violets *Paracentrotus lividus* (Diméet, 2006) ; (C) Mollusque bivalve *Pseudopythina macandrewi* (Photo W. Bay-Nouailhat) ; (D) L'annélide *Hesione sicula* (Photo B. Guichard).

L'oursin violet *Paracentrotus lividus* est une espèce très commune des bancs de maërl de la rade de Brest (Figure 23). On trouve également cette espèce d'oursins dans les grandes mares intertidales des roches sédimentaires (schistes et grès) de la côte sud de la rade. Consommée essentiellement dans le sud de la France et pas forcément en Bretagne, elle a longtemps fait l'objet d'une pêche en rade de Brest.

L'annélide *Hesione sicula* (ver annelé cousin de la gravette) mesure environ 80 millimètres (Figure 23). Elle est reconnaissable à sa couleur brun-rouge entrecoupé par des lignes transversales blanches, et ses longs cirres et antennes. L'annélide polychète *Hesione sicula* est une espèce emblématique des bancs de maërl de la rade de Brest. Elle est présente en méditerranée et dans l'ouest de l'Afrique jusqu'aux côtes françaises. Rare à l'échelle de la façade atlantique, elle atteint sa limite nord dans la rade de Brest. Elle n'a pour le moment été recensée en dehors de la rade de Brest qu'aux Glénan et à Groix. Les bancs de maërl de la rade abritent des populations isolées par rapport au reste des populations vivant plus au sud. *Hesione sicula* est une espèce emblématique de la biodiversité originale de la rade de Brest, facile à voir à grande marée basse (Grall, 2019).

Le mollusque bivalve *Pseudopythina macandrewi* vit dans attaché par un Byssus sous les pierres profondément enchâssées dans la sable grossier (maërl mort). Cette espèce trouve sa limite d'extension nord sur les côtes de Bretagne mais sa limite sud atteint la méditerranée et les côtes ouest de l'Afrique où elle est plus commune. L'espèce s'accompagne de tout un cortège d'espèces de mollusques qui partagent son habitat et qui sont également relativement rarement observées et recensées (*Alvania lactea*, *Alvania carinata*, *Thornus subcarinatus*, *Ischniochiton albus*...).



1.2.5.3. Les fonds rocheux et sablo-vaseux

Les fonds rocheux sont présents dans le goulet (tombants rocheux), et les fonds de cailloutis les prolongent jusqu'au milieu de la rade. Ils témoignent de l'activité du courant en ces lieux. Une grande variété d'invertébrés (éponges, anémones, hydraires et bryozoaires), souvent très colorés, les colonise en recouvrant parfois toute la surface de substrat disponible. Parmi la faune mobile, les ophiures (échinodermes) sont très nombreuses par endroits, au point de tapisser littéralement les fonds, au centre de la rade par exemple.

Les fonds sablo-vaseux en périphérie des fonds caillouteux sont pour certains sites (baie de Roscanvel) les dernières zones de production naturelle significative de coquilles Saint-Jacques. Cette espèce s'y trouve confrontée aux prédateurs (étoile de mer, poulpe). Avant de connaître une régression de grande ampleur pour des raisons encore non établies, la crépidule représentait un compétiteur spatial et trophique pour la coquille Saint-Jacques (Troader et al., 1997).

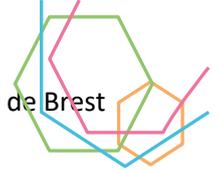
1.2.5.4. La macrofaune mobile

L'état des connaissances sur les poissons de la Rade de Brest s'appuie sur les travaux de l'Ifremer du Lemar, et de la contribution des associations (APECS, Association Pour l'Etude et la Conservation des Sélaciens). Plusieurs programmes de pêche scientifique sont menés, parmi lesquels on peut citer GenoPopTaille (estimation génétique de l'abondance de la raie bouclée), ou encore CapOera (Capsules d'Œufs de Raies). Certains résultats issus de ces programmes sont exposés ci-dessous pour quelques espèces de poissons (Tableau 2). Certaines de ces espèces font l'objet d'une vigilance renforcée (ex : Raie bouclée, espèce quasi menacée et Raie brunette, en danger). Les recensements effectués en Rade de Brest (Tableau 2) révèlent l'importance du milieu pour ces espèces d'éla-smobran-ches.

| Nom commun | Nom scientifique | Statut UICN France | Statut UICN Atlantique nord-est | OSPAR |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------|
| Raie bouclée | <i>Raja clavata</i> | VU | NT | X |
| Raie brunette | <i>Raja undulata</i> | DD | EN | |
| Raie torpille marbrée | <i>Torpedo marmorata</i> | LC | DD | |
| Emissole tachetée | <i>Mustelus asterias</i> | DD | LC | |
| Grande roussette | <i>Scyliorhinus stellaris</i> | LC | NT | |
| Petite roussette | <i>Scyliorhinus canicula</i> | LC | LC | |

Tableau 2 : Liste des espèces de requins et de raies présentes en rade de Brest et dans le goulet. Statuts UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) : EN = En danger, CU = Vulnérable, NT = Quasi menacée, LC = Préoccupation mineure, DD = Données insuffisantes (Stephan, 2017).

La raie bouclée mesure jusqu'à 1,20 mètres de long (Figure 25). Elle est reconnaissable grâce aux bandes transversales alternativement claires et sombres présentes sur la queue et présente une grande variabilité de coloration pour la face dorsale. La raie bouclée vit sur le plateau continental, de la côte jusqu'à 300 mètres de profondeur. Les concentrations les plus élevées semblent se situer entre 10 et 60 mètres. Elle vit sur différents types de substrat, vase, sable, graviers et parfois même sur les fonds rocheux. Sa présence dans la moitié sud de la Rade de Brest est attestée par des observations de plongeurs sous-marins et par des captures de plaisanciers (Figure 24). Les opérations de pêche scientifique (projet Genoptaille, Ifremer) ont également conduit à la capture de 27 spécimens dans le bassin sud. Des adultes, juvéniles ainsi que des petites raies de 12-13 centimètres tout juste sorties de l'œuf ont fait l'objet de captures. La présence de capsules d'œufs vides échouées sur les plages de la Rade confirme sa présence et indique l'importance de la zone pour la reproduction. Près de 600 capsules ont été trouvées réparties sur 28 plages de la Rade. Les principales plages



d'échouage se trouvent sur le littoral nord de la presqu'île de Plougastel-Daoulas et au niveau de l'estuaire de l'Elorn (Figure 24).

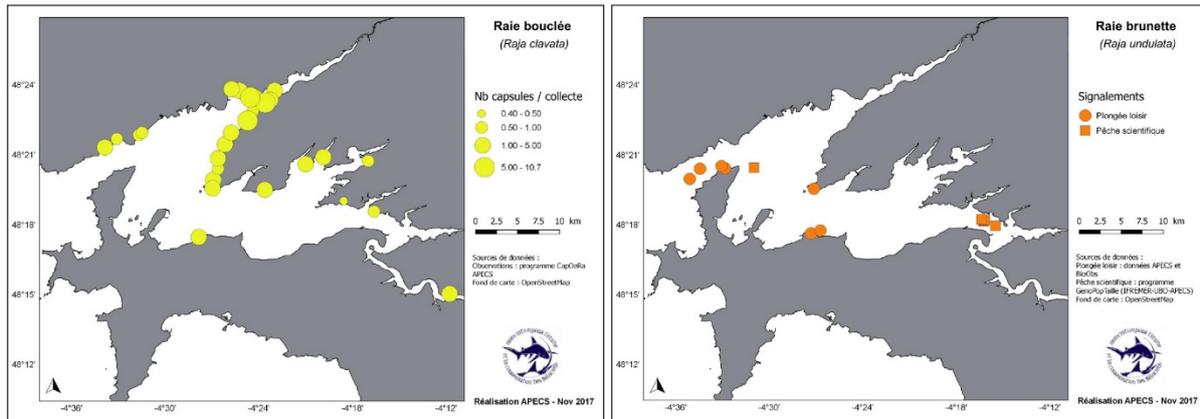


Figure 24 : Echouages de capsules d'œufs vides de raies bouclées (à gauche) et localisation des observations en plongée et des captures de raies brunettes (à droite ; Stéphane, 2017).

La raie brunette mesure jusqu'à 1 mètre de long, elle est reconnaissable à sa face dorsale de couleur brune parsemée de petites taches blanches et parcourue par des lignes sombres sinueuses bordées de points blancs. Cette espèce affectionne les fonds de sable ou de gravier. Sa présence en Rade de Brest et dans le goulet (Figure 24) est attestée par sept observations en plongée (APECS). Six spécimens ont également été capturés au chalut à perche (programme Genoptaille, Ifremer). Quelques capsules d'œufs vides ont été trouvées échouées sur une quinzaine de plages de la Rade. Les quantités trouvées sont cependant nettement inférieures à celles de raie bouclée.

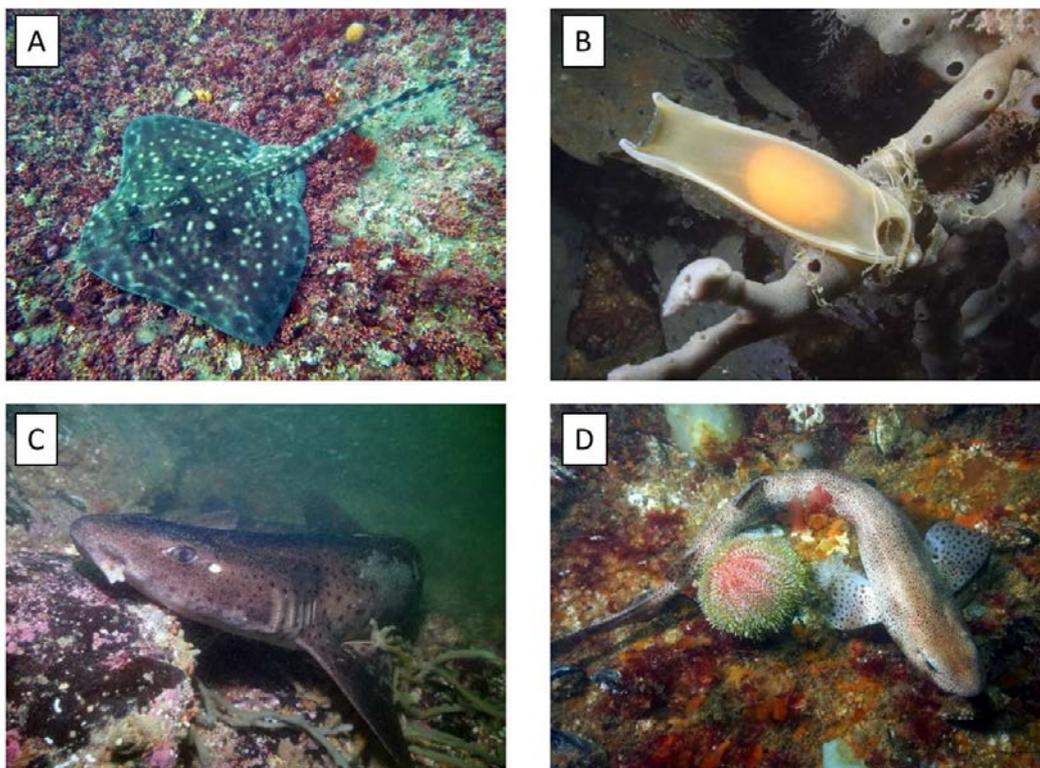
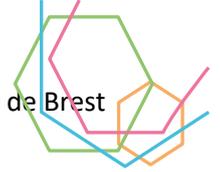


Figure 25 : (A) Raie bouclée (photo W. Bay-Nouailhat à Landévennec, 2015); (B) Œuf de grande roussette (photo B. Guichard à Pennou Pell, 2015); (C) Grande roussette (photo B. Guichard à l'île Ronde, 2015); (D) Petite roussette (photo B. Guichard aux Ducs d'Albe, 2016) Extraits de Stéphane, 2017.



De nombreuses espèces de mammifères marins fréquentent les côtes bretonnes, certaines toute l'année et d'autres seulement à certaines périodes. Depuis plus de 30 ans, Océanopolis recense les observations de mammifères marins en rade de Brest. Certaines espèces (Figure 26) y ont été observées :

- Exceptionnellement : dauphin commun, globicéphale, dauphin de Risso, marsouin, petit rorqual, rorqual commun ;
- Fréquemment : grand dauphin et phoque gris.



Figure 26 : (a) Dauphin de Risso (*Grampus griseus*) ; (b) Dauphin commun (*Delphinus delphis*) ; (c) Globicéphale noir (*Globicephala melas*) ; (d) Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) Photos Océanopolis.

L'association pour la Conservation des Mammifères et Oiseaux Marins de Bretagne (ACMOM), créée par Océanopolis, Bretagne Vivante, la LPO (Ligue pour la Protection des Oiseaux) et le GMB (Groupe Mammalogique Breton), a lancé au printemps 2022 un programme de sciences participatives (Figure 27). Celui-ci permettra de collecter les observations du public, qu'elles soient réalisées à partir de la côte ou en mer. Les plaisanciers, les professionnels de la mer, les promeneurs... contribuent ainsi à mieux connaître ces espèces emblématiques de la biodiversité marine.

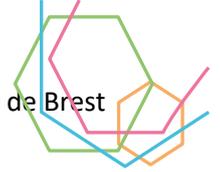
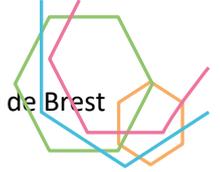


Figure 27 : Affiche du programme de sciences participatives dédié aux mammifères marins en rade de Brest

Une base de données dites « opportunistes » est ainsi réalisée. Ces données seront complétées en 2023 par un inventaire des observations passées, collectées au sein de différentes structures (ex : Bretagne Vivante). L'analyse de l'ensemble de ces données sera réalisée afin d'établir un état des lieux de la fréquentation passée et présente de la rade de Brest par les mammifères marins.

Dans les années 90, les colonies de phoques gris de Bretagne (Archipel de Molène et Archipel des Sept Iles) ne comptaient que quelques dizaines d'individus, et moins d'une dizaine de naissances par an. Aujourd'hui, elles comptent quelques centaines d'animaux et le nombre de naissances a considérablement augmenté pour atteindre plus d'une cinquantaine de blanchons par an. La dynamique des colonies de phoques gris en Bretagne a donc bien changé, avec ce qui ressemble aujourd'hui à une extension du territoire de prospection et de repos de l'espèce vers le sud (Rade de Brest, chaussée de Sein, étocs de Penmarc'h, archipel des Glénan).

Ces dernières années, la rade de Brest est devenue un des sites utilisés par le phoque gris pour le repos et l'alimentation. Zone côtière relativement abritée des conditions météorologiques difficiles, elle possède des ressources halieutiques disponibles pour les phoques gris (mulets, raies, dorades, rougets, tacaud, vieilles...). L'activité nautique n'y est relativement élevée qu'en été, et la rade présente de



nombreux sites assez peu fréquentés et donc potentiellement intéressants pour la quiétude de l'espèce.



Figure 28 : Trois phoques gris observés en rade de Brest à marée descendante - Photo UBO

Au vu de ce constat, l'Association pour la Conservation des Mammifères et Oiseaux Marins de Brestagne (ACMOM) a mis en place depuis 2021 un programme de recensement des phoques gris en rade de Brest, sur le long terme, afin d'étudier la présence de cette espèce et les variations spatiales et temporelles de sa répartition. Cette étude s'appuie sur la réalisation d'un circuit de recensement réalisé une fois par mois, un des jours de plus gros coefficients de marée et à basse mer. Ce circuit intègre les sites pour lesquels il y a eu à plusieurs reprises des signalements de phoques gris. Le recensement des phoques a débuté en novembre 2021. Ces premières prospections en mer ont permis d'observer jusqu'à six phoques en rade de Brest avec des individus d'âges et de sexes variables. Les animaux ont été observés dans l'eau ou au sec, souvent sur des reposoirs artificiels de cultures marines. La réalisation sur le long terme de cette étude permettra de mieux connaître la fréquentation de la rade de Brest par les phoques gris en termes d'effectifs, de catégories d'âge et de sexe, et ceci en fonction des mois, des saisons et des années.

1.2.5.5. Le plancton

Le programme de sciences participatives Objectif Plancton, coordonné par Océanopolis, vise à étudier le plancton en rade de Brest, de Lorient, ainsi qu'en baie de Concarneau. Ce projet à dimension régionale réunit scientifiques, usagers de la mer, médiateurs scientifiques et grand public pour contribuer à la connaissance de l'océan. Le programme Objectif Plancton permet d'acquérir des séries d'observations et de mesures qui traitent des variations spatiales et temporelles de la diversité planctonique, végétale et animale, en milieu côtier. La mise en place de systèmes d'observations sur le long terme (plusieurs années) est indispensable pour permettre de détecter des changements au niveau de l'évolution des habitats, et de la biodiversité. Objectif Plancton contribue à apporter de précieuses informations aux scientifiques sur l'état et la dynamique des populations planctoniques en milieu côtier.

En rade de Brest, les scientifiques ont défini 17 points de collecte. Les usagers de la mer (plaisanciers, conchyliculteurs, SNSM...) sont sollicités trois fois par an (avril, juin et septembre) pour collecter les échantillons nécessaires à l'étude du plancton. Le principe du programme Objectif Plancton est de déployer 17 bateaux, un par point de collecte, et d'effectuer les prélèvements au même instant sur les 17 points (Figure 29).

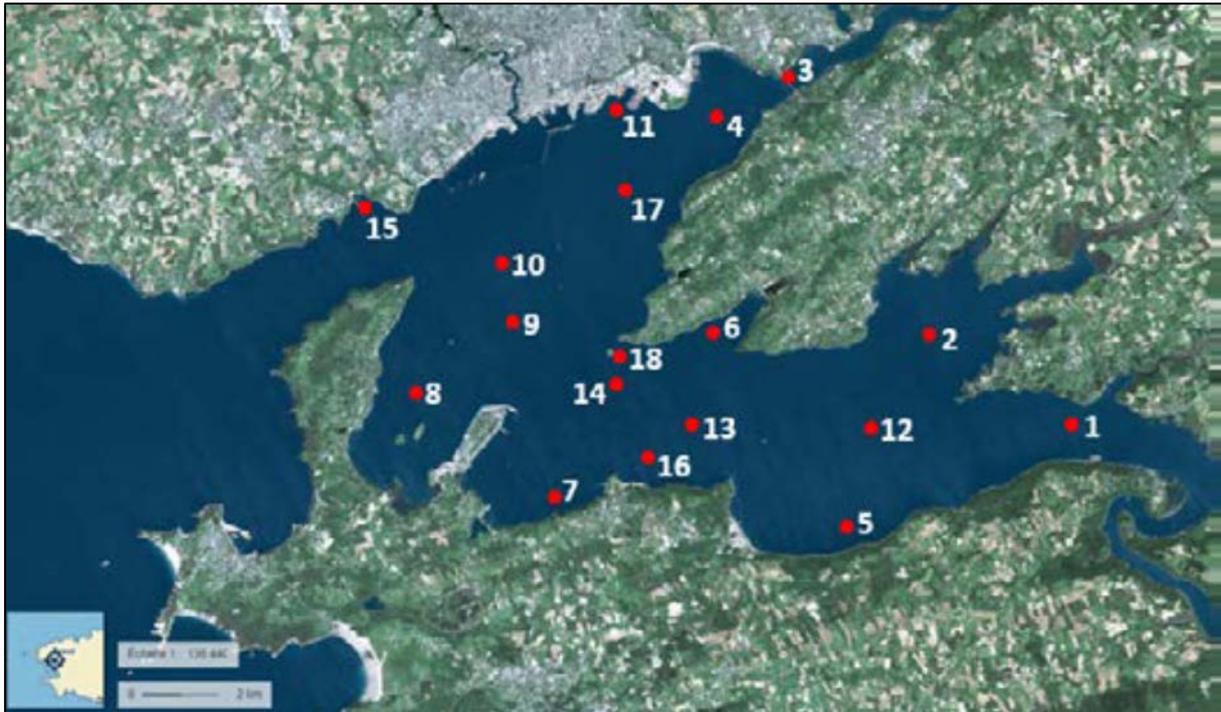
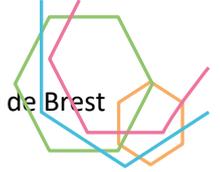


Figure 29 : Répartition des 17 points de collecte en rade de Brest du programme de science participative Objectif Plancton.

Les données obtenues à partir des échantillons collectés par les usagers de la mer sont les suivantes :

- **Ichtyoplancton** : inventorier les larves de poisson présentes sur les trois sites d'étude ;
- **Turbidité** : estimer la quantité de matières en suspension ;
- **Taxonomie du phytoplancton** : décrire la diversité du plancton végétal et connaître la diversité et la dynamique du phytoplancton ;
- **Salinité** : mesurer la quantité de sels dissous dans l'eau. Sa valeur est accessible par la mesure de la conductivité ;
- **Sels nutritifs** : quantifier les concentrations en nitrates, nitrites, phosphates et silicates présents dans l'eau de mer ;
- **Chlorophylle A** : mesurer ce pigment qui permet aux algues de capter la lumière nécessaire à la photosynthèse (transformation de l'énergie solaire en énergie chimique) est une manière de déterminer la quantité de phytoplancton ;
- **Température** de l'eau de mer ;
- **pH** : mesurer le potentiel Hydrogène de l'eau (c'est-à-dire la concentration de l'ion hydrogène), permettant d'en définir le caractère acide ou basique.

L'analyse couplée entre les variations spatio-temporelles des communautés phytoplanctoniques et les données environnementales est effectuée par le laboratoire LEMAR, laboratoire de recherche de l'IUEM-UBO, pour la rade de Brest, où sont collectés des échantillons dédiés à l'analyse des sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates et silicates). Des échantillons de phytoplancton prélevés en septembre 2014, 2019 et 2020 ont ainsi été analysés par microscopie optique, et couplés à différents paramètres environnementaux (salinité, température et concentrations en sels nutritifs, Figure 30).

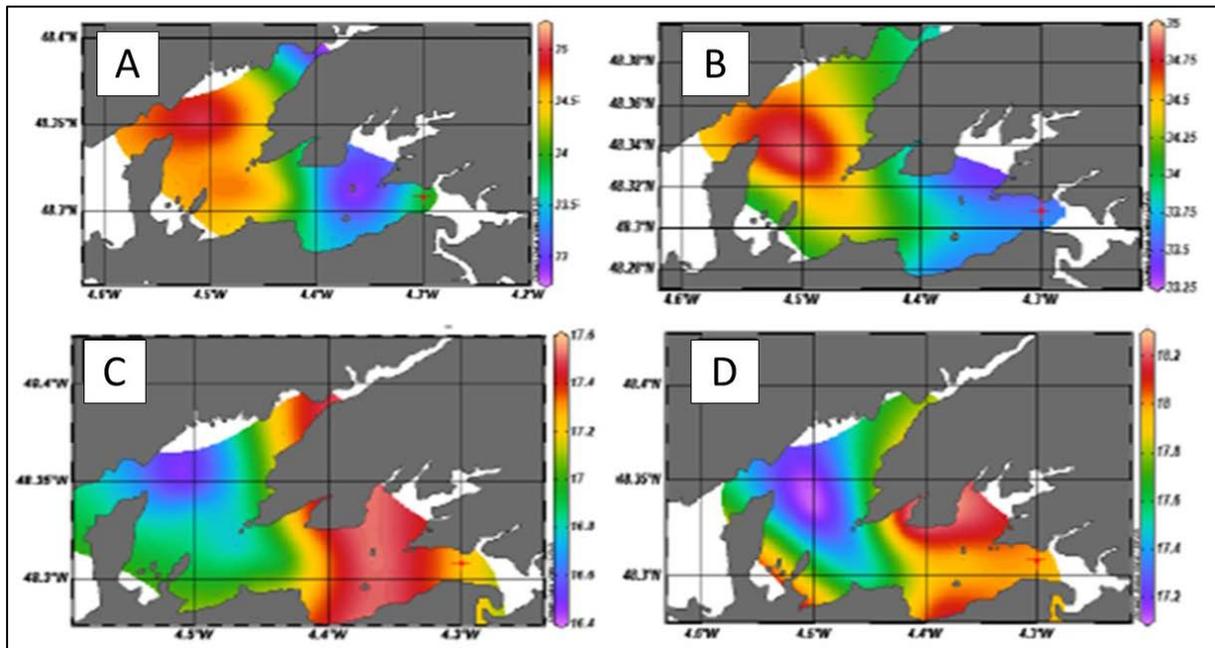
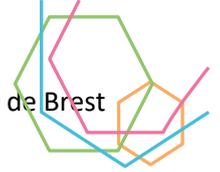


Figure 30 : (A et B) Salinité de surface en rade de Brest, (A) le 14/09/2019 et (B) le 19/09/2020, à l'heure de prélèvement. Sources : simulations issues du modèle MARS-3D (Ifremer). Les valeurs de salinité aux points « Objectif Plancton » ont été calculées en effectuant une interprétation bi-linéaire des valeurs simulées aux 4 points de grille du modèle MARS-3D qui encadraient chaque point « Objectif Plancton » ; (C et D) Température de surface en rade de Brest, (C) le 14/09/2019 et (D) le 19/09/2020. Sources : simulations issues du modèle MARS-3D (Ifremer ; Guillou et al., 2022).

Cette étude met en évidence une variabilité spatiale (à l'échelle de quelques kilomètres) et temporelle des communautés phytoplanctoniques (Figure 31). Concernant la variabilité temporelle, en septembre 2014, la rade était dominée par de petites microalgues du nanophytoplancton (diamètre inférieur à 10 μm), alors qu'en 2020, à la même période, elle était dominée par des diatomées du microphytoplancton (taille supérieure à 10 μm , Figure 31). Concernant la variabilité spatiale, la composition des communautés phytoplanctoniques en rade n'est pas homogène, avec des zones qui peuvent présenter des accumulations locales de tel ou tel taxon. Cette variabilité spatiale et ces accumulations locales de certains taxons (probablement associées à l'hydrodynamisme combiné à des conditions favorables), corrélées par la présence de certains sels nutritifs ainsi que l'augmentation ou la diminution de la salinité et de la température, peuvent avoir des implications notamment en termes de suivi et de compréhension de la dynamique des efflorescences d'espèces toxiques (par exemple *Alexandrium minutum*), axe étudié par Ifremer, partenaire d'Objectif Plancton, et développé dans le paragraphe III.2.1. de ce document. La poursuite de ce suivi spatial, dans le cadre du programme Objectif plancton, devrait donc permettre, à terme, d'affiner les connaissances sur le déterminisme des efflorescences phytoplanctoniques en rade de Brest.

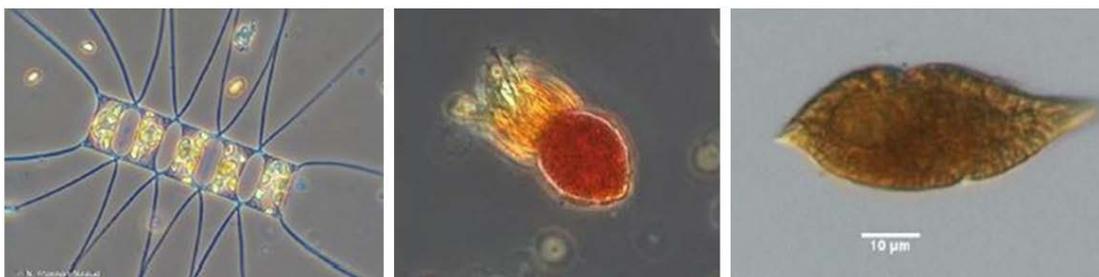


Figure 31 : Représentation graphique des 3 grandes classes de phytoplancton, de la gauche vers la droite, diatomée, nanophytoplancton et dinoflagellé (Photos Alexandre Bourdon)

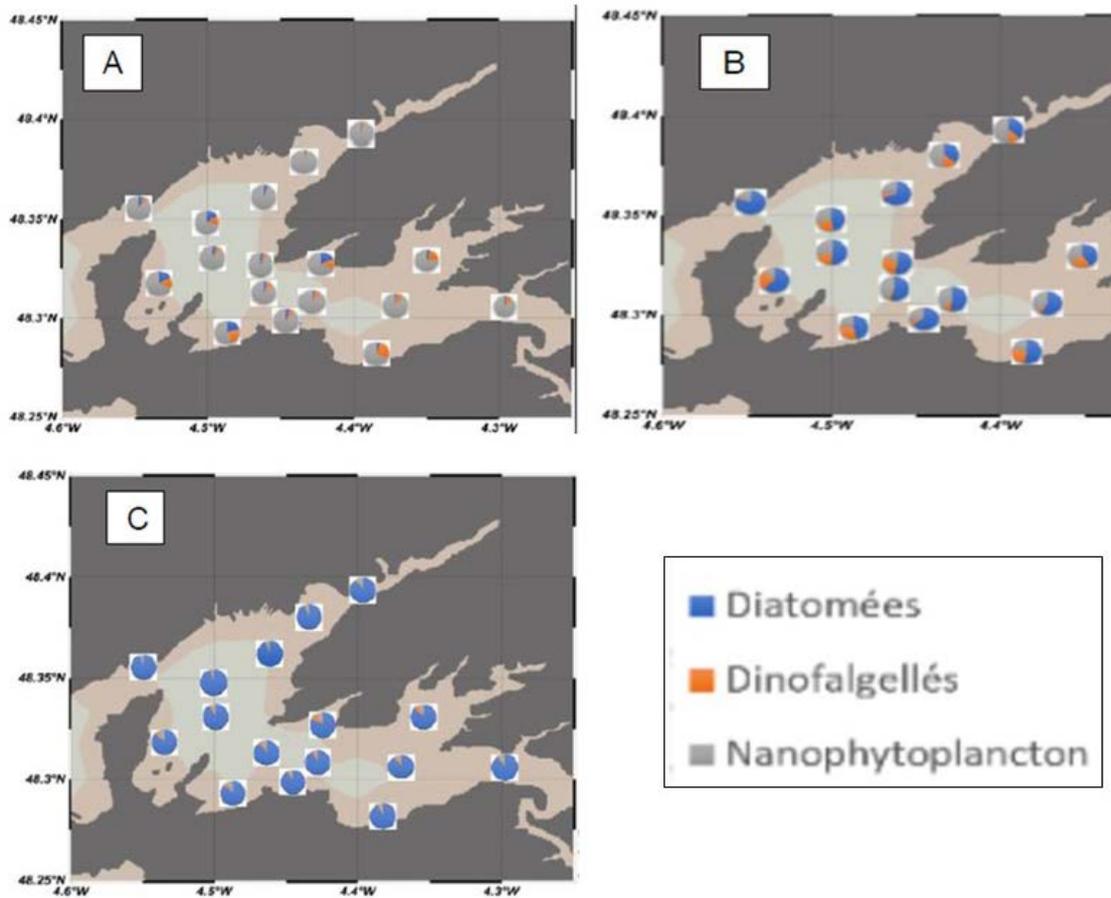
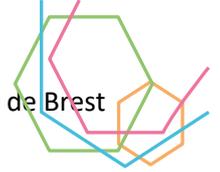
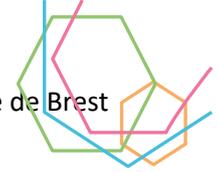


Figure 32 : Représentation des pourcentages de diatomées, dinoflagellés et nanophytoplanctons dans points de contrôle du programme Objectif plancton en rade de Brest (A) 27/09/2014 ; (B) 14/09/2019; (C) 19/09/2020.

Dans le cadre d'Objectif Plancton, la Station marine de Concarneau (MnHn et Sorbonne Université), partenaire du programme, étudie les œufs et larves de poissons présents dans les échantillons collectés par les usagers de la mer. Les larves sont triées et identifiées, de façon morphologique et moléculaire. Des différences en termes d'espèces dominantes sont observées entre les trois sites étudiées. Par exemple, en 2019, la larve de poisson la plus présente en rade de Brest était celle de dorade grise (Figure 33).

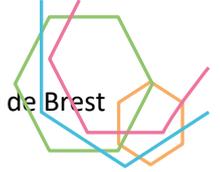


Figure 33 : Larve de dorade grise

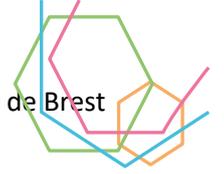


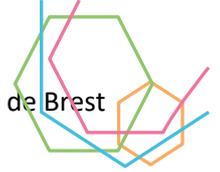
REFERENCES PARTIE 1

- Auffret, G.A. 1983. Dynamique sédimentaire de la Marge Continentale Celtique. Université de Bordeaux 1.
- Beudin, A. 2014. Dynamique et échanges sédimentaires en rade de Brest impactés par l'invasion de crépidules. Université de Bretagne Occidentale, 224 pp.
- Beudin, A., Chapalain, G., Guillou, N. 2014. Modelling dynamics and exchanges of fine sediments in the bay of Brest. *La Houille Blanche* (6) 47-53.
- Document d'objectifs NATURA 2000 Rade de Brest. Site d'Importance Communautaire : FR5300046 « Rade de Brest – Estuaire de l'Aulne » Zone de Protection Spéciale : FR53100071 « Rade de Brest – Baie de Daoulas, Anse de Poulmic » Tome 2 – Enjeux, orientations et objectifs. 2014. Parc naturel régional d'Armorique.
- Duchêne, J., I. Bernard, et S. Pouvreau. 2015. Vers un retour de l'huître indigène en rade de Brest. *Revue d'Histoire naturelle, Kyrnos publications*.
- Duchêne, J., I. Bernard, et S. Pouvreau. 2016. Vers un retour de l'huître indigène en rade de Brest.
- Frère, L., I. Paul-Pont, E. Rinnert, S. Petton, J. Jaffré, I. Bihannic, P. Soudant, C. Lambert, et A. Huvet. 2017. Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France). *Environmental Pollution* 225 (juin): 211-22. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.023>.
- Glémarec, M., et J. Grall. 2000. Les Groupes Écologiques Et Zoologiques D'invertébrés Marins Face Aux Dégradations De L'environnement Côtier. *Bulletin de la société zoologique de France*, 2000.
- Grall, J., et N. Coïc. 2006. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. LEMAR.
- Grall, J., et J.M. Hall-Spencer. 2003. Problems facing maerl conservation in Brittany. *Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems*.
- Grall, Jacques. 2019. « Biodiversité des organismes marins en rade de Brest ». IUEM.
- Grall, J., F. Le Loc'h, B. Guyonnet, et P. Riera. 2006. Community structure and food web based on stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) analysis of a North Eastern Atlantic maerl bed. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 338 (1): 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.06.013>.
- Grégoire, G., A. Ehrhold, P. Le Roy, G. Jouet, et T. Garlan. 2016. Modern morpho-sedimentological patterns in a tide-dominated estuary system: the Bay of Brest (west Brittany, France). *Journal of maps*.
- Guérin, L. 2004. La crépidule en rade de Brest : un modèle biologique d'espèce introduite proliférante en réponse aux fluctuations de l'environnement ». Université de Bretagne occidentale - Brest.
- Guillou, N., Chapalain, G., Petton, S. 2022. Predicting sea surface salinity in a tidal estuary with machine learning. *Oceanologica, in Press*.
- Jonin, Max. 2010. *Géotourisme en Finistère, petit guide géologique pour tous*. Biotopes.
- Lachassagne, P., B. Dewandel, et R. Wyns. 2015. Le modèle conceptuel hydrogéologique des aquifères de socle altéré et ses applications pratiques. *Vingtièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues*.
- Lachassagne, P., R. Wyns, P. Bérard, T. Bruel, L. Chéry, T. Coutand, J.-F. Desprats, et P. Le Strat. 2001. Exploitation of High-Yields in Hard-Rock Aquifers: Downscaling Methodology Combining GIS and Multicriteria Analysis to Delineate Field Prospecting Zones. *Ground Water*.
- Larzillière, A. 2009. *Cartes d'habitats benthiques du secteur Natura 2000*.
- Larzillière, A., C. Hily, et J. Grall. 2008. Contribution du LEMAR à l'étude des habitats marins pour Natura 2000 en Bretagne. LEMAR-IUEM.



- Le Hir, 2002. Les champs de blocs intertidaux à la pointe de la Bretagne (France) : biodiversité, structure et dynamique de la macrofaune. 226 p.
- Lelarge, P. 2018. Qualité des eaux de la rade de Brest, 19 juillet 2018.
- Lucassou, F., B. Mougin, F. Husson, J.M. Schroëtter, M. Venville, S. Chamoreau, S. Schomburgk, et al. 2020. SIGES Bretagne phase 3 (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines). Rapport Final. BRGM/RP-69971-FR. BRGM/RP-69971-FR. BRGM.
- Olivier, M. G. 2022. Numerical modelling of the impact of tidal currents over the long-term: application to Holocene sedimentary records from the bay of Brest. Université de Bretagne occidentale.
- Olivier, G., Matthieu, E. Leroux, M. Rabineau, P. Le Hir, D. Granjeon, T. Chataigner, A. Beudin, et H. Muller. 2021. Numerical modelling of a Macrotidal Bay over the last 9,000 years: An interdisciplinary methodology to understand the influence of sea-level variations on tidal currents in the Bay of Brest. *Continental Shelf Research* 231 (décembre): 104595. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104595>.
- Office français de la biodiversité, 2022. Réalisation de la cartographie des herbiers de zostères dans la rade de Brest. 207 p.
- Petton, S.. sd. Fonctionnement hydrodynamique de la rade de Brest. Présenté à Séminaire Zabri.
- Petton, S., S. Pouvreau, et F. Dumas. 2020. Intensive use of Lagrangian trajectories to quantify coastal area dispersion. *Ocean Dynamics* 70 (4): 541-59. <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01343-6>.
- Plan Biodiversité. 2018. Brest Métropole.
- Plan Biodiversité. Partie 1. Présentation de la biodiversité du territoire. 2022. Brest Métropole.
- SHOM. 1994. Courants de marée de la côte Ouest de Bretagne, de Goulven à Penmarc'h. 44p.
- Troadek, P., R. Le Goff, T. Patris, P. Jalliffier, E. Eon, R. Daras, F. Mazeas, et al. 1997. Etat des lieux des milieux de la Rade de Brest et de son bassin versant. Edition Communauté Urbaine de Brest.





II. USAGES ET PRESSIONS AU FIL DE L'EAU

La qualité de l'eau en rade de Brest est tributaire d'une zone de drainage quinze fois plus grande que la rade elle-même. Cette zone de drainage, ou bassin versant, occupe un territoire diversifié où se développent des activités économiques variées depuis l'amont (source des rivières et des fleuves) jusqu'à l'aval (rade de Brest).

S'intéresser au continuum terre-mer et à leurs interfaces (aquatique/terrestre, eau douce/eau salée, littoral/haute-mer...) est fondamental pour compléter les connaissances acquises sur ces écosystèmes considérés isolément et pour comprendre et si possible enrayer la chute de la biodiversité aussi bien dans les milieux aquatiques marins que continentaux. Ces écosystèmes subissent massivement les conséquences des activités anthropiques (destruction et fragmentation d'habitats, pollution, réchauffement, exploitation, invasions biologiques), qui interagissent en faisant fi des frontières entre les écosystèmes. **De la terre à la mer (et de la terre à la rade), tout est connecté** (Figure 34). Les polluants utilisés sur le continent impactent les habitats aquatiques d'eau douce et marins, les poissons migrateurs pêchés dans nos rivières sont aussi affectés par les changements globaux au cours de la phase marine de leur vie, nos côtes urbanisées abritent une large proportion des jeunes poissons qui pourront être pêchés plus tard en haute mer (com. press. Equipe DECOD, Rennes 1).

II.1. Quels usages ?

II.1.1. Le continuum Terre-Mer

Aujourd'hui, il n'est pas rare d'entendre plusieurs voix déplorer l'imperméabilité entre les communautés terriennes et marines pour gérer la rade de Brest. Cependant, ce sentiment a-t-il toujours été partagé ? Il semblerait que non. Les liens Terre-Mer ont parfois été très étroits, et ce à bien des égards.

Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, le pouvoir royal impulse un nouvel élan agraire. Toute terre considérée comme « inculte » doit être fertilisée (Charpentier, 2013). Dès lors, cette dynamique incite les Hommes de la rade de Brest à exploiter professionnellement, vers 1800, des amendements marins tels que le maërl, le goémon rouge ou autres sables calcaires du Minou. Consciente de l'enjeu, la Société d'Agriculture s'investit activement sur ce sujet. Au cours de la première moitié du XIX^e siècle, elle s'échine à localiser ces gisements (Archives départementales du Finistère, 1820), s'active à trouver des moyens de développer cette activité et sollicite même l'Empereur pour subventionner cette entreprise (Archives départementales du Finistère, 1838). L'engouement est tel que le Président du Comice de Maël-Carhaix estime, en 1849, que le Finistère disposerait d'un département « dont les $\frac{3}{4}$ [des terres seraient] incultes, si la liberté du dragage des amendements sous-marins ne leur est pas accordée. » (Archives du SHD de Vincennes, 1849). Quelques années plus tard, la *Statistique des pêches maritimes* nous informe que ces amendements marins constitueraient plus du quart des ventes des productions marines de la rade de Brest entre les années 1866 et 1888 ! (Statistiques des pêches maritimes, années 1866 à 1888). Enfin, d'autres données recueillies par le Préfet du Finistère entre 1877 et 1900 nous laissent indiquer que ce sont en moyenne 24 000 tonnes de maërl qui sont annuellement exportés de la rade de Brest vers les bassins versants (Archives départementales du Finistère, années 1877 à 1900). A la lumière de ces éléments, il est clair que la fertilité des bassins versants de la rade repose, au XIX^e siècle, sur ses ressources marines. Cette relation perdure jusqu'à l'entre-deux-guerres ; période à laquelle les engrais chimiques et industriels commencent à se répandre en Bretagne. A cette date, la dépendance commence à changer de camp.

En écho à ces besoins, la gestion de la rade de Brest se teinte de l'empreinte terrienne. En 1842, l'appauvrissement des huîtres incite la Marine à agir en « défendant, ou du moins, en restreignant



fortement l'usage de la drague en rade pour enlever le merl et le goémon » (Archives du SHD de Vincennes, 1847). L'annonce de ces mesures entraîne une levée de boucliers de la Société d'Agriculture de Brest. Elle parvient à solliciter des Ministres de l'Agriculture et de la Marine la formation d'une Commission mixte en 1847, chargée d'explorer les fonds de la rade de Brest pour mieux aménager son exploitation. Pour ce faire, elle se déplace jusqu'à Carhaix pour interroger les paysans sur leurs usages des amendements marins (Archives du SHD de Vincennes, 1847). Cette concertation aboutit à la rédaction d'un important décret réglementant l'exploitation des fonds de la rade de Brest. En ce sens, marins et terriens ont établi, ensemble, un plan de gestion de la rade dès 1847 (archives du SHD de Vincennes, 1847) (rédaction par L. Bosseboeuf).

II.1.2. Usages tributaires de la qualité de l'eau ?

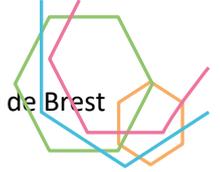
Les usages tributaires de la qualité de l'eau sont nombreux sur les bassins versants de la rade et dans la rade elle-même. Plusieurs catégories d'usage dépendent d'une bonne qualité de l'eau. Les usages domestiques (alimentation en eau potable), les usages professionnels (pêche, élevage de fruits de mer, piscicultures etc.), les usages récréatifs (baignade, activités nautiques etc.), ou encore le maintien d'installations accueillant du public (ex à Brest avec Océanopolis). Vu de la rade de Brest, ces différents usages peuvent être représentés comme suit (Figure 34). Au-delà d'usages particuliers, une eau de qualité dans les cours d'eau et dans la rade est simplement garante de la qualité de vie et du bien être humain (Ocean and Human Health, European Marine Board <https://www.marineboard.eu/publications/policy-brief>).



Figure 34 : Représentation de certains usages tributaires de la qualité de l'eau en bleu, vue de la rade (dans le sens horaire : piscicultures, alimentation en eau potable, agriculture, conchyliculture, pêche en mer, pompage Océanopolis, baignade). Les échanges avec la Mer d'Iroise sont symbolisés par des flèches bleues.

II.1.2.1. Pêche embarquée

Les espèces pêchées par dragage sont la coquille Saint Jacques, la praire, le pétoncle noir et l'huître plate. Cette diversité a historiquement permis d'équilibrer l'effort de pêche. Il s'agit d'une activité saisonnière qui se pratique en automne et en hiver. Les conditions météorologiques hivernales de la mer d'Iroise ne permettent pas d'y reporter l'effort de pêche. En période estivale, ces pêcheurs



professionnels pratiquent la pêche au filet, et pour les navires goémoniers qui aujourd'hui constituent une majorité des bateaux présents en rade l'hiver ils rejoignent les champs d'algues de l'Iroise durant la belle saison. La pêche à la praire est principalement concentrée au Sud-Est de la rade à l'embouchure de l'Aulne. Une grande zone est également exploitée à l'embouchure de l'Elorn. Les zones de dragage à la coquille Saint-Jacques sont dispersées majoritairement au Sud et au centre de la rade (Figure 37). Quelques zones de pêche au pétoncle noir et à l'huître plate subsistent entre Roscanvel et l'Île Longue, au large de Lanvéoc et à l'embouchure de l'Elorn (Figure 37).



Figure 35 : Semis de juvéniles de pétoncles noirs en rade de Brest.

La flottille des coquilliers de la rade est constituée de navires de moins de 11 mètres et de moins de 150 kw. Ils alimentent l'activité de la criée de Brest ainsi que les mareyeurs locaux. L'activité est très réglementée par un système de licence, un calendrier, des horaires de pêche, des zones de jachères, et un encadrement technique. Ce système bénéficie d'un soutien de pêche grâce à l'écloserie du Tinduff, outil unique en Europe, spécialisée dans la production de juvéniles de coquilles Saint-Jacques (Figure 35) et créée par les professionnels. En 2013, les captures d'huîtres plates s'élevaient à 21,5 tonnes.

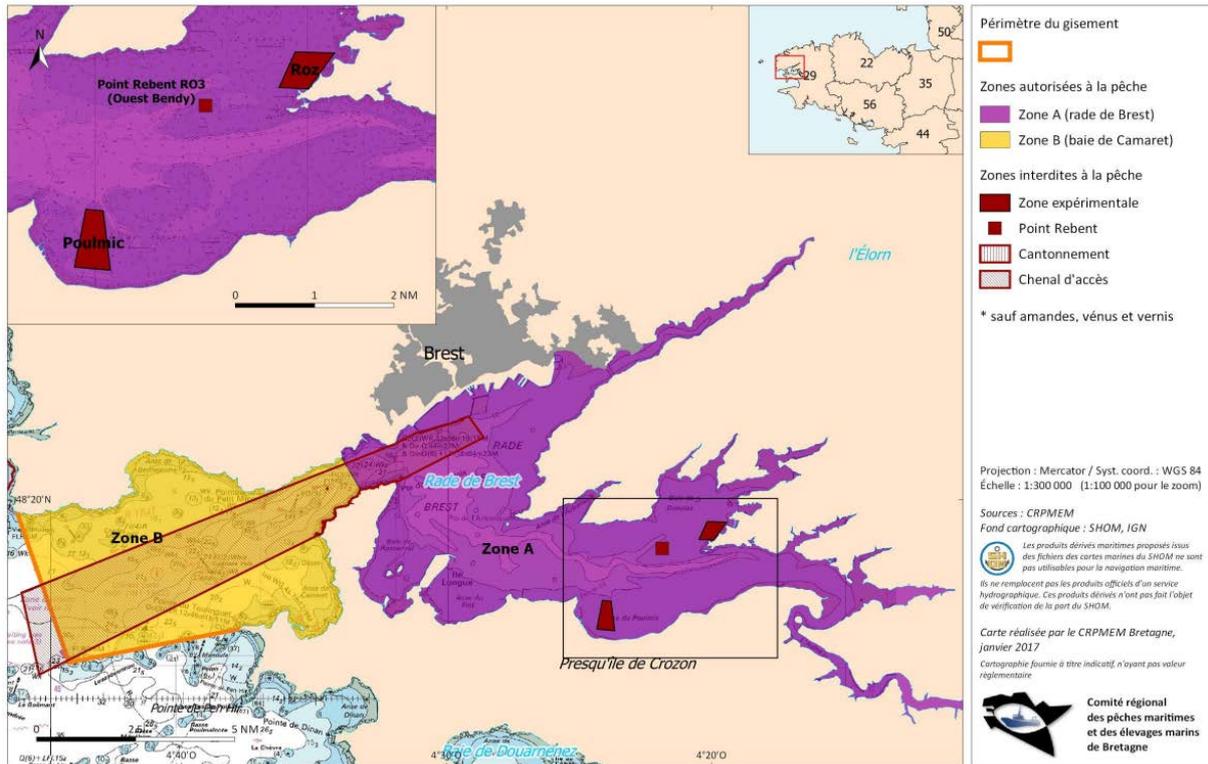
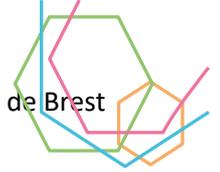


Figure 36 : Pêche de mollusques bivalves (sauf amandes, vénus et vernis) dans le secteur de Brest Camaret (Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins de Bretagne, 2017).

Dans le but affiché d'une gestion durable du gisement de mollusques-bivalves dans le secteur de Brest-Camaret, et après délibération du Comité des pêches (CRPMEM), trois zones sont interdites à la pêche à la drague sur les secteurs de Poulmic et Roz, et du point REBENT (Figure 36 ; Délibération Mollusques Bivalves BR/CM-B, 2022).

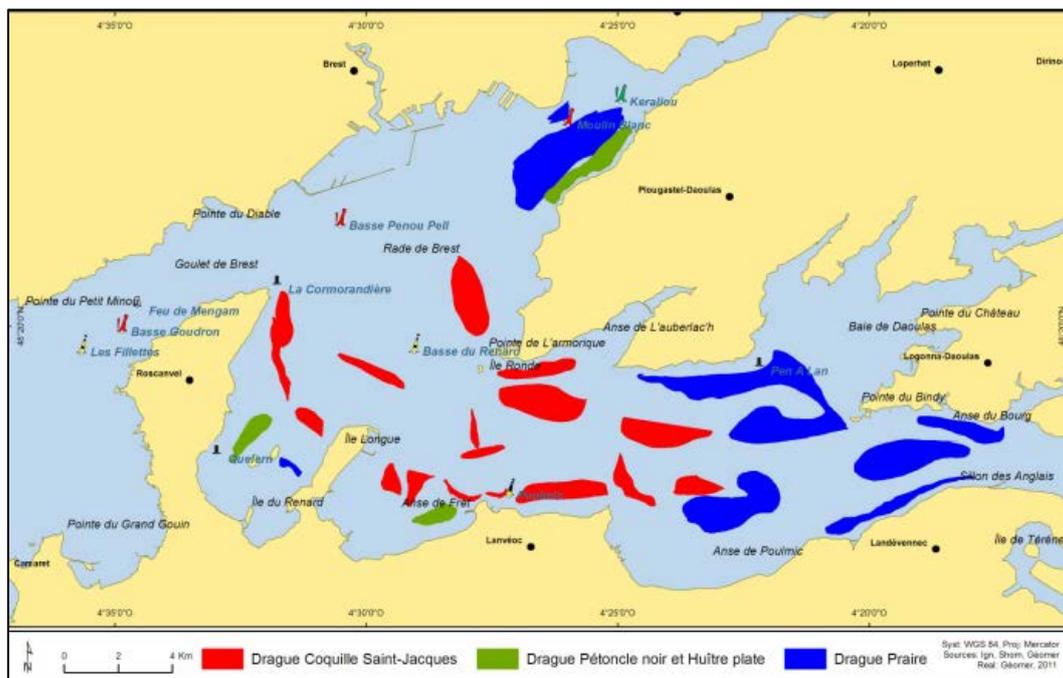
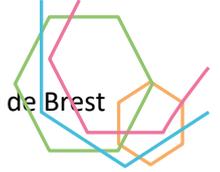


Figure 37 : Zones de pratique pour les métiers de la pêche à la drague (Le Guyader, 2012).



Les espèces pêchées au filet sont le lieu, le bar, la dorade, la lotte, la raie, le rouget, la vieille, le congre, le tacaud, ou même le cabillaud. Les zones de pêche au filet pour le bar et la raie concernent le Sud de la rade et l'embouchure de l'Aulne et de l'Elorn. Le rouget est pêché près des côtes sur une grande partie de la rade (Figure 38).

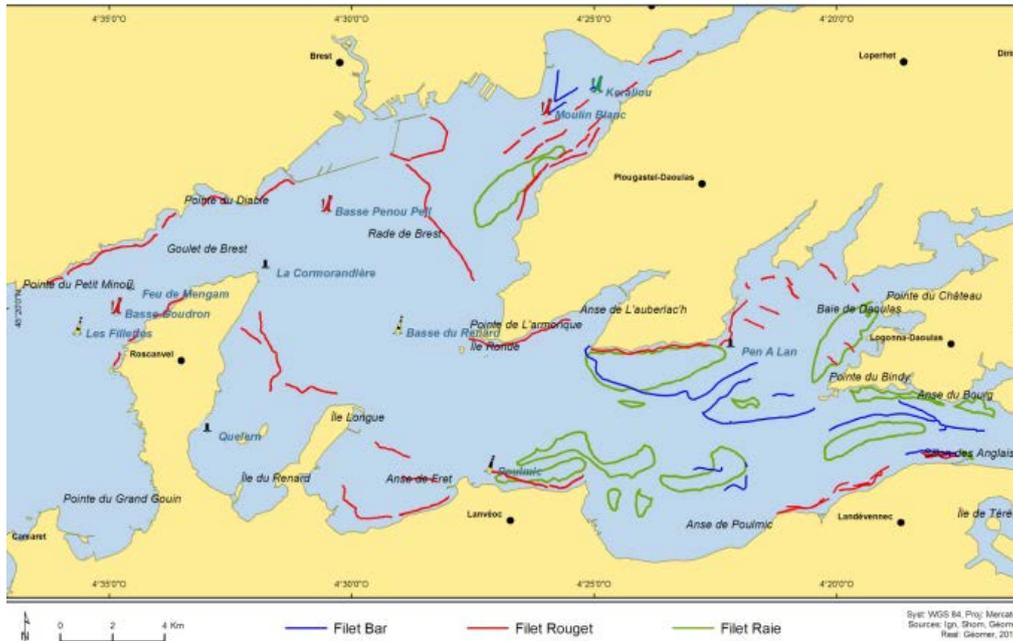
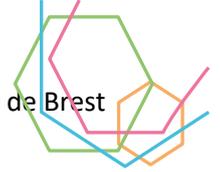


Figure 38 : Zones de pratique pour les métiers de la pêche au filet (Le Guyader, 2012).

Les principales espèces ciblées, au casier, sont les araignées/crabs mousses (*Maja brachydactyla*) et les tourteaux, mais également les crevettes en faibles quantités. Les parties les plus profondes de la rade sont concernées par la pêche au casier (Figure 39).



Figure 39 : Zones de pratique pour les métiers de la pêche au casier (Le Guyader, 2012).



II.1.2.2. Ostréiculture et mytiliculture

Les deux principales activités conchylicoles en rade de Brest sont l'ostréiculture de l'huître plate *Ostrea edulis* et de l'huître creuse *Magallana gigas* (anciennement *Crassostrea gigas*) et la mytiliculture de la moule bleue *Mytilus edulis*. En 2013, les surfaces occupées par la conchyliculture étaient de 160 ha pour les huitres, 35,8 ha et 28,8 km pour la moule, 16,5 ha pour le prégrossissement de la coquille Saint Jacques avant semis et 0,6 ha pour la palourde (Salaun, 2017). En 2013, cette activité rassemblait 39 entreprises (19 locales, entreprises bretonnes et 16 extérieures) mobilisant 63,3 salariés (Equivalent temps plein) et représentait un chiffre d'affaires pour les entreprises locales de 8,66 millions d'euros. Les écloseries du Tinduff et la ferme de l'île d'Arun participent activement à l'activité de pêche en rade de Brest (Voir aussi la partie Gouvernance et restauration sur l'écloserie du Tinduff).

Rade de Brest : 13 installations et 382 ha de concessions conchylicoles

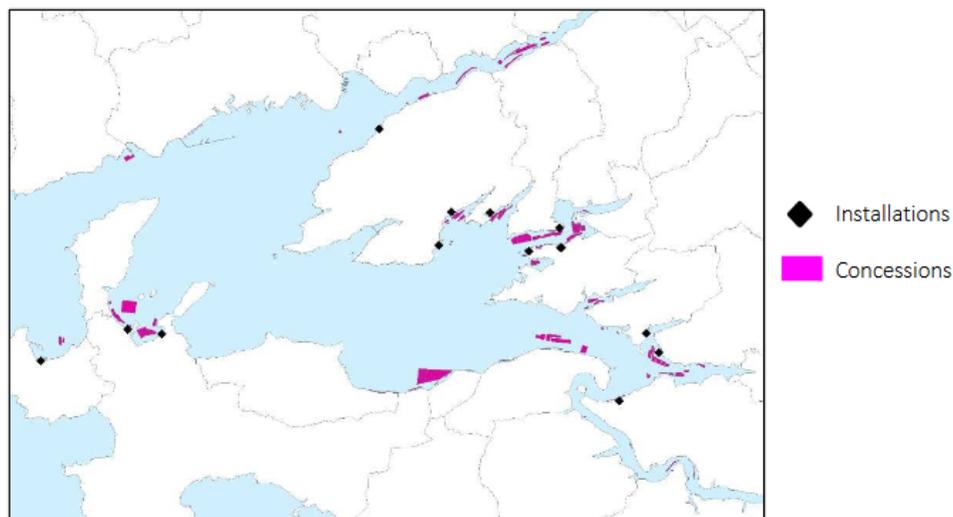
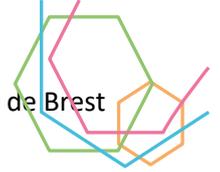


Figure 40 : Carte de situation des installations et concessions conchylicoles en rade de Brest (Diagnostic des filières pêche et aquaculture en Pays de Brest, 2016).

L'ostréiculture est pratiquée en rade de Brest dans les rivières de l'Elorn, du Faou, de l'Aulne et dans les baies de Daoulas et Roscanvel (Figure 40). En 2013, 160 ha sont dédiés aux concessions d'huîtres creuses qui représentent près de 750 tonnes élevées principalement en surélévation. Le captage d'huîtres creuses a commencé à se développer en rade de Brest avec une dizaine de concessions tenues par des producteurs de la rade. Il n'existe pas actuellement de production d'huîtres plates en rade de Brest, la seule activité liée à l'huître plate est le captage. Les larves d'huîtres plates, une fois fixées, se transforment en jeunes huîtres (ou naissain). Elles sont ensuite élevées dans les baies de Morlaix, Cancale ou Quiberon. A l'âge adulte, elles sont affinées dans les estuaires de la côte nord du Finistère et dans les rivières de Penzé et de Belon dans le Finistère (Duchêne et al., 2016). La rade de Brest est le second centre de captage d'huîtres plates de Bretagne, avec la baie de Quiberon et fait partie des quelques écosystèmes où l'huître plate est toujours naturellement présente. Cette particularité en fait un site unique en France car cette espèce réussit à coexister avec deux parasites (*Marteilia refringens* et *Bonamia ostrae*) qui ont été à l'origine de sa disparition dans d'autres habitats côtiers français (Diagnostic des filières pêche et aquaculture en Pays de Brest, 2016 ; Duchêne et al., 2016). Cependant, en 2017, les pêcheurs ont constaté une mortalité importante et inexplicée de l'huître plate en rade de Brest, avec près de 80% des gisements naturels atteints (Diagnostic des filières pêche et aquaculture en Pays de Brest, 2016). La filière huître plate en rade de Brest contribue à hisser la France au premier rang des producteurs en Europe (>1 000 tonnes en 2012). Ces chiffres sont environ 20 fois plus faibles qu'il y a cinquante ans, et sont à relativiser avec la production d'huître



creuse (*Crassostrea gigas*), sa cousine du Pacifique, dont la production atteint 80 000 tonnes / an (Duchêne et al., 2016).

La mytiliculture en rade de Brest se pratique principalement sur cordes (filières) et sur bouchot, plus marginalement en poches. La production représentait 945 tonnes en 2013, 700 tonnes en 2014, puis 250-300 tonnes en 2015. En 2015, cette baisse de production s'explique en partie par la destruction des cultures mytilicoles par des bancs de dorades durant les étés 2014-2015. Par ailleurs, les raisons de mortalités anormales n'ont pas été identifiées. A ce jour, la mytiliculture en rade de Brest à quasiment disparue. Cette disparition est à mettre en relation avec les pressions évoquées plus bas, notamment les interdictions liées à la contamination au plomb dans l'estuaire de l'Aulne.

II.1.2.3. Pêche à pied récréative

Les pratiques de pêche sont encadrées de manière très précise pour s'adapter au mieux à la protection de la ressource, de la biodiversité et de l'environnement (Brest Métropole, 2017). Ces pratiques sont encadrées par une réglementation locale, qui peut varier d'une baie à l'autre. Les réglementations portent sur :

- les tailles maximales de coquillages autorisés ;
- le quota maximal de pêche (un poids maximal par espèce, par pêcheur et par jour) ;
- les engins de pêches autorisés ;
- les périodes de pêches en fonction des espèces (repos biologique...) ;
- les zones autorisées à la pêche (pour raisons sanitaires ou de protection de la ressource).

Outre les périodes d'interdiction temporaires liées aux évolutions de la qualité des eaux, plusieurs secteurs font l'objet d'une interdiction permanente pour la pêche à pied :

- À moins de 15 m des concessions de cultures marines.
- Dans les limites administratives des ports.
- Dans les herbiers de zostères.
- Dans plusieurs zones classées insalubres par arrêtés municipaux : anse du Moulin Blanc (communes de Brest, Guipavas et le Relecq-Kerhuon), anse de Camfrout-Kerhuon et de Poul Ar Velin (Relecq-Kerhuon), anse de Rossermeur (Plougastel-Daoulas), anse de Lanveur (Dirinon), secteur du Traon (Hôpital Camfrout)
- Dans plusieurs secteurs de la rade par l'arrêté préfectoral d'interdiction n°2018060-0002 du 1 mars 2018 : la rivière du Faou, l'anse de Keroullé, la rivière de l'Hôpital Camfrout, la rivière de l'Aulne, le sillon des Anglais.

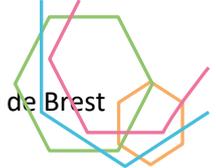


Figure 41 : Fréquentation de la rade de Brest par les pêcheurs à pied de loisir du 23 au 25 août 2021 (OFB, 2022).

Les sites fréquentés par le public pour la pêche à pied (Figure 41) correspondent très souvent à des zones d'interdiction, principalement pour des causes de qualité microbiologique médiocre (cf. IV.2.2). Sur la campagne de comptage de 2021 (Figure 41), 27 sites ont été comptés à l'échelle de la rade, pour un total de 433 pêcheurs. Les structures ayant participé au comptage sont le PNR Armorique, ULAMIR et le CPIE Pays de Morlaix Trégor.

II.1.2.4. Plongée sous-marine

Du fait de la qualité des fonds, la plongée sous-marine est une activité pratiquée à la fois dans la rade de Brest et en mer d'Iroise (Figure 42). Il existe des sites reconnus pour la biodiversité des fonds alors que d'autres ont un intérêt pour la présence d'épaves. Les principaux sites de plongée sont rencontrés de part et d'autre du goulet de Brest. La chasse sous-marine peut-être pratiquée à partir d'un bateau ou depuis la côte. Il existe des zones interdites à la chasse sous-marine dans la rade Brest, qui, pour l'essentiel, correspondent aux secteurs militaires.

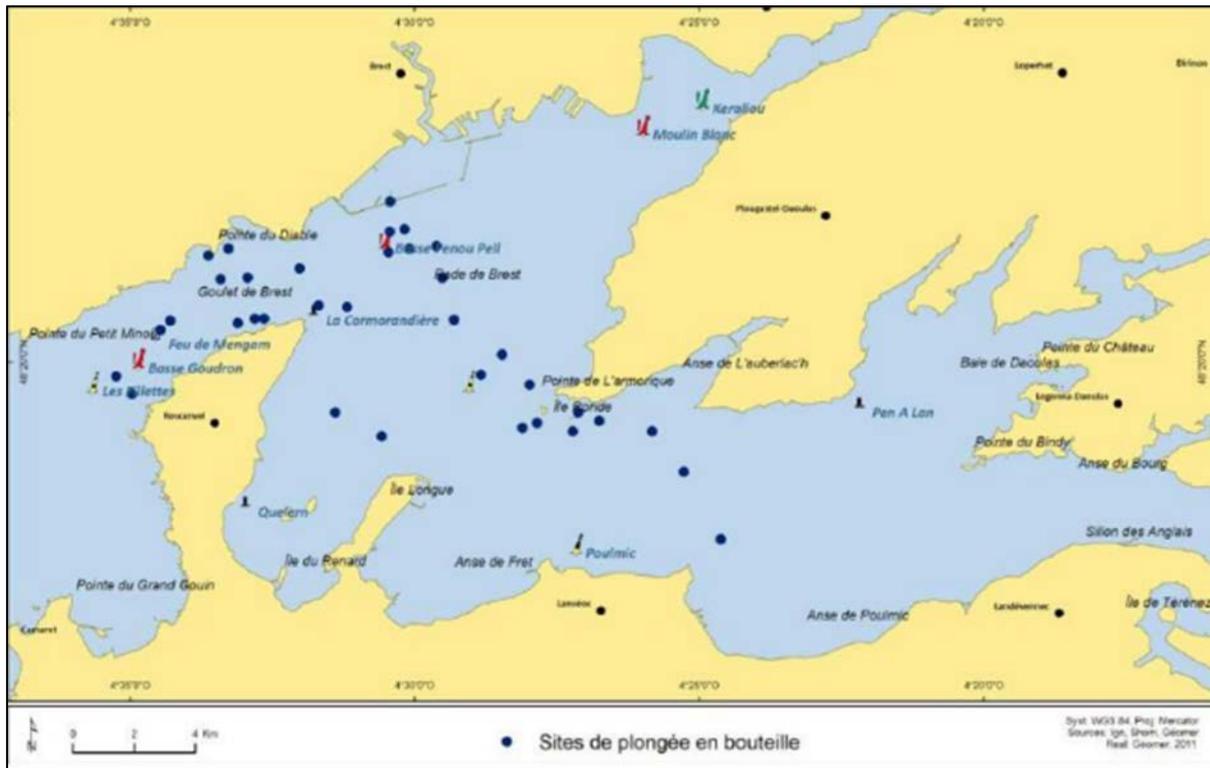


Figure 42 : Sites de plongée sous-marine de loisir dans la rade de Brest.

II.1.2.5. Activités nautiques

La rade de Brest comporte 4 centres nautiques (Moulin Blanc, L'Auberlach, Moulin-Mer, Le Relecq-Kerhuon) et plus de 10 clubs proposant différentes activités nautiques (Figure 43).

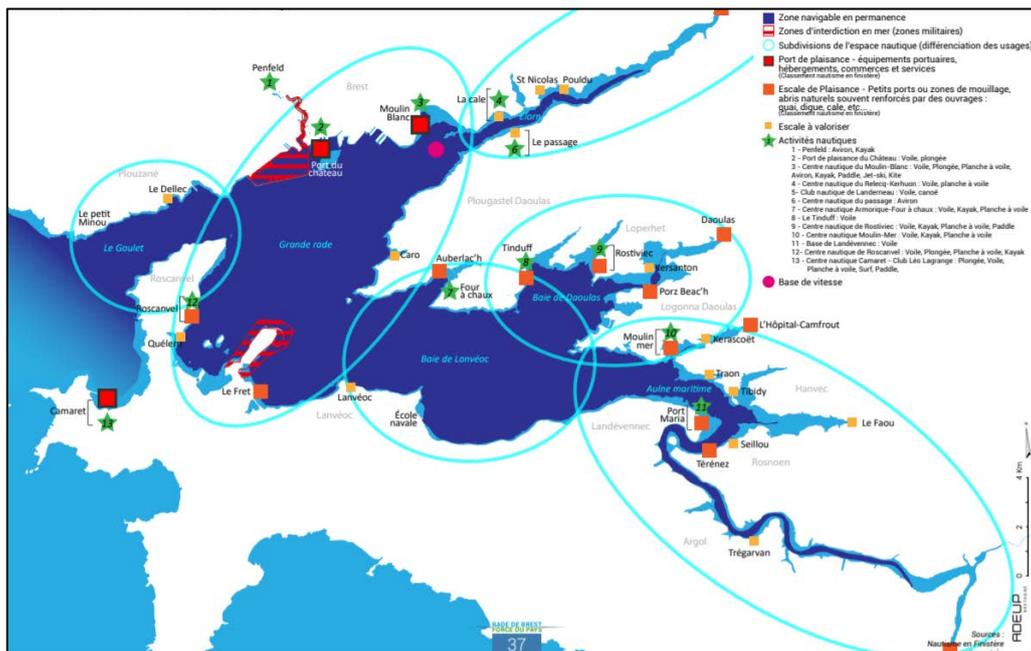
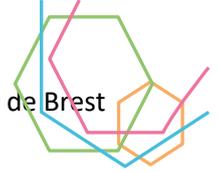


Figure 43 : Activités nautiques en rade de Brest (ADEUPA).



II.1.2.6. Pompages d'eau de mer

La criée du port de Brest, modernisée en octobre 2015, est implantée sur le troisième éperon du port de commerce de Brest. Le projet de nouvelle criée a nécessité l'installation d'une nouvelle prise d'eau en mer, implantée sous le quai à l'extrémité du troisième éperon (Figure 44).



Figure 44 : Plan de situation de la criée et localisation du pompage d'eau.

Océanopolis, centre national de culture scientifique dédié à l'océan, dispose d'une station de pompage d'eau de mer de 240 m³/h pour alimenter et renouveler les 4 millions de m³ de ses aquariums et bassins des différents pavillons (Bretagne, polaire et tropical ; Figure 45). Ce pompage d'eau de mer alimente également les bassins d'expérimentation du Cedre, situé à proximité d'Océanopolis.

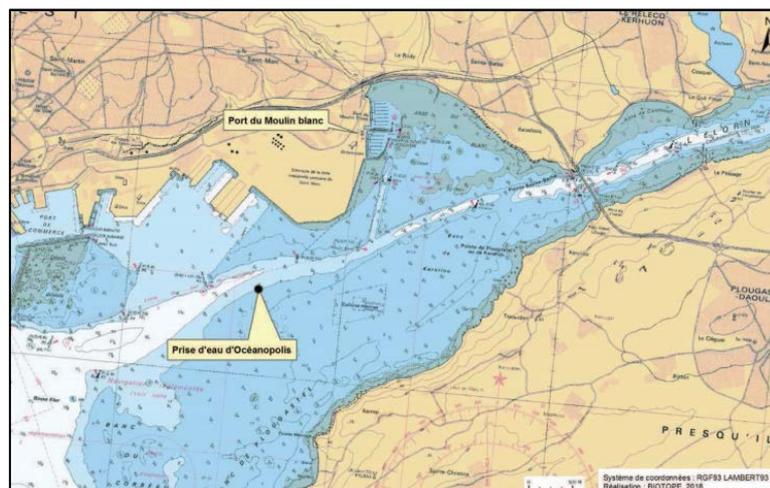
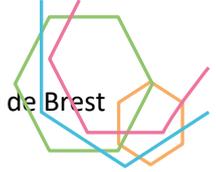


Figure 45 : Position de la prise d'eau du centre Océanopolis.



D'autres prises d'eau dans la rade correspondent à l'écloserie du Tinduff, aux bassins de l'Ifremer, à l'IUEM ou encore aux établissements conchylicoles.

II.1.2.7. Cas de la rade abri et de la Penfeld

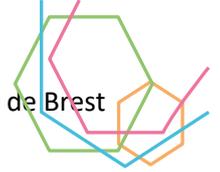
Il n'existe pas de zone de pêche, de production de coquillages ni de zone de baignade dans ou à proximité immédiate de l'estuaire de la Penfeld et de la rade Abri. La pêche, le ramassage d'animaux marins et la baignade y sont interdits dans les limites administratives du port (décret 2009-877 du 17 juillet 2009) et à 100 m des infrastructures portuaires. Enfin, la pêche, la baignade, plongée ou pêche sous-marine sont interdites dans la rade abri et dans la partie de la Penfeld comprise à l'intérieur des limites de l'arsenal (arrêtés préfectoraux de 1984 et 1993).

Les seuls usages identifiés dans ce secteur sont les suivants :

- Les activités des plongeurs de la Marine dans l'estuaire de Penfeld comprenant notamment les inspections et opérations sur les coques de navires et les opérations de DCNS-Naval Groupe au niveau des bateaux-portes des bassins. Parmi les incidents rapportés, le LASEM (Laboratoire, d'Analyse, de Surveillance et d'Expertise de la Marine) a constaté en 2009 un dégagement important d'hydrogène sulfuré (H_2S) au niveau des événements des bateaux-portes des bassins n°1, 4, 7, 3, 2 localisés dans l'estuaire de la Penfeld. L' H_2S proviendrait de la réduction des sulfates en milieu confiné du fait de la décomposition de matières organiques à un niveau élevé de concentration (ballasts des bateaux-portes). Depuis, la base navale adapte ces activités en réalisant des mesures de qualité de l'eau (LASEM). Lorsque la qualité des eaux de mer est trop dégradée (matières organiques en excès, fortes contaminations microbiologiques liées au système d'assainissement de l'agglomération et indépendant des activités de la Marine Nationale), des mesures sont prises pour assurer la protection du personnel : interdictions de plongée, port de tenues et de masques faciaux étanches, exercices décalés en dehors de la rade abri, mesures d'hygiène en fin d'opération. Les activités sont aussi régulées en fonction des données de déversements d'eaux usées (lié au système d'assainissement) transmises à la base navale chaque jour par Eau du Ponant, exploitant du système d'assainissement.
- Les Périodes d'aguerrissement des jeunes (Centre d'Instruction Nautique) en rade abri conduisent les concernés à séjourner temporairement dans l'eau. Des analyses microbiologiques ponctuelles sont réalisées afin de vérifier l'adéquation de la qualité de l'eau pour ces pratiques. Depuis peu, par précaution, ces pratiques s'opèrent dorénavant à l'extérieur de la rade abri.
- La pratique du canoë-kayak qui s'effectue sur le plan d'eau de la Penfeld situé dans la partie amont de l'estuaire.

II.1.3. Usages dégradant la qualité de l'eau

Les usages dégradant la qualité de l'eau sont multiples. Ils sont essentiellement concentrés sur les bassins versants de la rade de Brest et sur son littoral. Plusieurs catégories d'usage dégradant la qualité de l'eau par les rejets liés à leurs activités peuvent être distingués. Certains usages domestiques, comme le rejet des eaux usées et leur traitement, toujours imparfait (ex : substances médicamenteuses), la production de déchets et leur stockage, etc. Certains usages professionnels sont responsables d'un relargage de macro- et micropolluants au milieu, c'est le cas des activités agricoles, piscicoles, ou encore des serres de production légumières ou fruitières. Certaines industries, ou même



d'anciennes activités d'extraction (mines) exercent toujours une influence sur la qualité de l'eau. Vu de la rade de Brest, ces différents usages exerçant une pression sur la qualité de l'eau peuvent être représentés comme suit (Figure 46) :

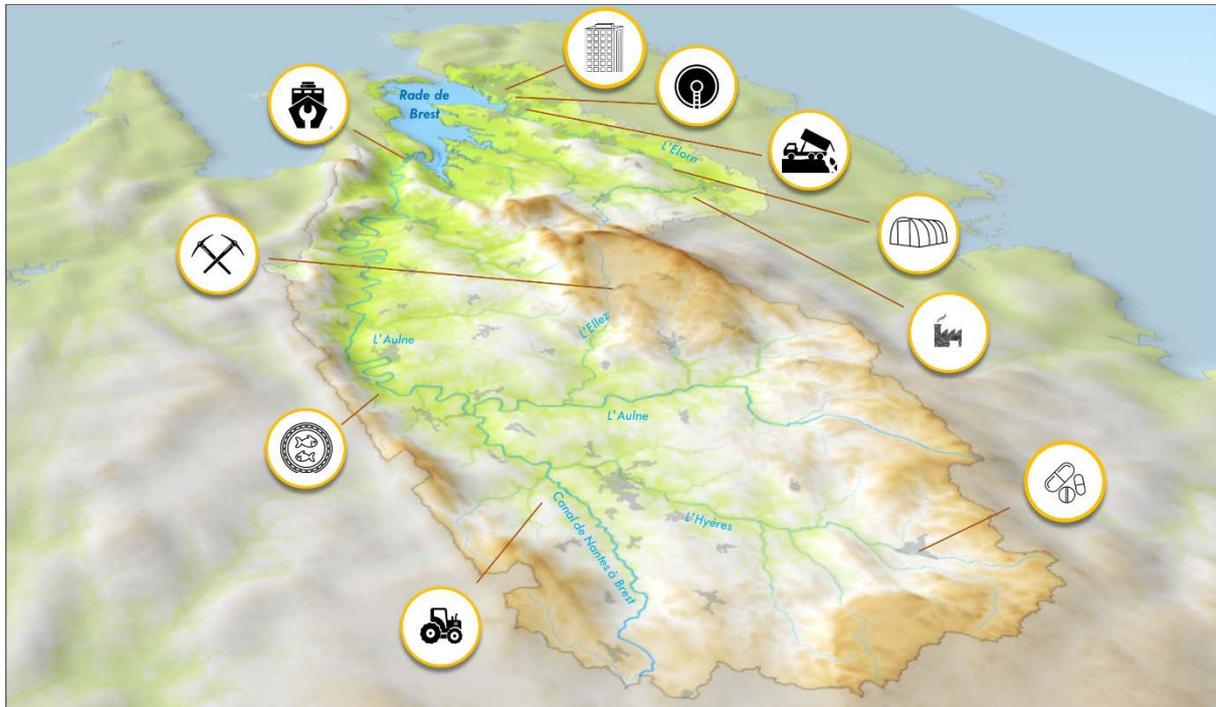
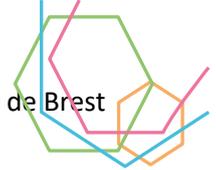


Figure 46 : Représentation schématique de certains usages identifiés sur le bassin versant de la rade de Brest qui par leurs rejets dégradent la qualité de l'eau. Dans le sens horaire depuis le bas de l'image, les activités agricoles, les activités piscicoles, les activités minières, les activités de carénage et de stationnement des navires, les usages domestiques et leurs rejets, le stockage de déchets, les serres, les usages industriels, et les rejets de substances médicamenteuses.

II.1.3.1. L'usage domestique

II.1.3.1.1. Rejets des stations d'épuration des eaux usées domestiques

84 stations d'épuration d'eaux usées domestiques sont implantées sur le bassin versant de la rade de Brest. 72 sont implantées en Finistère et 12 dans les côtes d'Armor. Leur capacité globale de traitement est de 518 000 équivalent-habitants. Le rapport de la pollution organique reçue rapporté à la capacité de traitement est de 43 % en moyenne et de 77 % en situation de pointe. Les stations de plus de 10 000 équivalent-habitants, au nombre de 8 (Tableau 3), représentent à elles seules 84 % de cette capacité épuratoire et, parmi celles-ci, les trois stations du territoire de Brest métropole qui traitent les eaux usées de 60 % de la population du bassin versant, constituent près de la moitié (45 %) de la capacité épuratoire globale.



| Commune d'implantation | Nom usuel de la station | Type de filière | Capacité épuratoire (Eq Hab)* | Milieu récepteur |
|------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------|
| Brest | Zone Portuaire | BAAP | 163 000 | Rade |
| Carhaix-Plouguer | Moulin Hézec | BAAP | 100 000 | Hyères |
| Brest | Maison Blanche | BF | 60 000 | Rade |
| Landivisiau | Blaise | BAAP | 39 000 | Elorn |
| Landerneau | ZI le Bois Noir | BAAP | 34 000 | Estuaire de l' Elorn |
| Chateaulin | Kerdour | BAAP | 25 000 | Aulne |
| Chateauneuf-du-Faou | Pontadig | BAAP | 12 000 | Aulne |
| Plougastel-Daoulas | Toul ar rannig | BAAP | 11 700 | riv. du Caro |

Tableau 3 : Les stations d'épuration de plus de 10 000 équivalent-habitants sur le bassin versant. L'équivalent-habitant est une unité de mesure correspond à une charge quotidienne de 60 g de DB5 et de 120 litres d'eau usée. Abréviations : BAAP, boues activées à aération prolongée ; BF, Biofiltres.

Les données sur les charges de pollution émises en moyenne dans le milieu ont été recueillies pour le département du Finistère sur la période 2018-2020 (infiltration dans le sol, rejet en cours d'eau ou dans le milieu marin). Ces données sont présentées dans le Tableau 4. Les données équivalentes pour le département des Côtes d'Armor n'ont pas pu être rapatriées. Cependant, elles ne représentent que 1.7 % de la capacité épuratoire sur l'ensemble du bassin versant.

Le flux de matière organique rejeté après traitement, exprimé par la DBO5 (matière organique biodégradable), s'élève à 97 tonnes/an avec un rendement de 98%. Ces chiffres témoignent de bonnes performances d'épuration dans l'ensemble mais ils méritent d'être nuancés en fonction de certaines situations locales ou du fait de l'existence de débordements du réseau d'assainissement par temps de pluie.

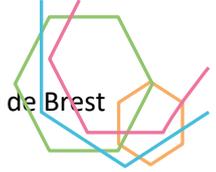
| Paramètre | Rendement épuratoire (%) | Concentration au rejet (mg/L) | Charge rejetée au milieu (tonnes par an) |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|
| Matières en suspension (MES) | 97,1 | 6,6 | 184 |
| Demande chimique en oxygène (DCO) | 93,6 | 27,7 | 768 |
| Demande biochimique en oxygène (DBO5) | 98,0 | 3,5 | 97 |
| Azote Kjeldahl (NTK) | 93,8 | 3,0 | 85 |
| Azote ammoniacal (N-NH4) | 94,3 | 1,8 | 50 |
| Azote global (NGL) | 84,0 | 7,5 | 210 |
| Phosphore total (Pt) | 89,7 | 0,7 | 19 |

Tableau 4 : Charges de pollution rejetées au milieu pour les stations d'épuration du Finistère.

Depuis 1975 les constructions d'installations par boues activées, considérées comme très performantes pour le traitement de la pollution carbonée, de l'azote et du phosphore (avec adjonction de réactif), ont augmenté afin de tenir compte de la sensibilité des milieux récepteurs sur ces paramètres. Aussi, la filière prédominante sur les plus grandes unités de traitement est aujourd'hui le traitement par boues activées (84% en capacité sur le bassin versant) compte tenu de ses performances et des contraintes de rejet liées au milieu naturel. C'est un procédé intensif particulièrement adapté aux besoins des moyennes à grandes collectivités.

II.1.3.1.2. Rejets des réseaux de collecte des eaux usées domestiques

Les systèmes d'assainissement collectif ne génèrent pas uniquement des rejets d'eaux usées traitées au niveau des stations d'épuration. En cas de surcharges hydrauliques par temps de pluie ou de pannes sur les postes de relevage, les réseaux de collecte peuvent déborder et causer des rejets d'eaux usées non traitées au milieu (Tableau 5). Sur les réseaux d'assainissement de type séparatif (canalisations distinctes pour les eaux usées traitées et pour les eaux pluviales non traitées), des erreurs de branchement sont parfois constatées. Ces mauvais branchements peuvent conduire à des rejets, et des actions de mise en conformité des branchements défectueux sont nécessaires. Sur les réseaux d'assainissement dit unitaires (mêmes canalisations recueillant les eaux usées et les eaux pluviales), les rejets directs au milieu par temps de pluie sont plus fréquents et plus conséquents. Ces rejets



directs sont observés au niveau des déversoirs d'orage. Ces réseaux unitaires sont présents dans les centres villes des grandes agglomérations, historiquement les premiers secteurs à disposer de réseaux de collecte 'unitaires'. C'est le cas pour le centre-ville de Brest Les rejets par temps de pluie aboutissent pour l'essentiel dans l'estuaire de la Penfeld, en rade abri et dans le port de commerce (Figure 47).



Figure 47 : Localisation des exutoires des déversoirs d'orage dans la rade (Document de travail Eau du Ponant).

Sur le territoire de Brest métropole, les rejets directs ne représentent « que » 16 % des volumes rejetés par le système d'assainissement (Tableau 6). En revanche, ils contribuent fortement aux apports de pollution au milieu pour certains paramètres comme *E. coli*, les matières en suspension et la matière organique biodégradable (DBO5). Pour la matière organique traduite sous forme de DCO, rejets directs et stations d'épuration apportent des quantités de pollution assez comparables (Tableau 6). En revanche, ce sont les stations d'épuration plus que les rejets directs qui génèrent l'essentiel des apports du système d'assainissement en azote (75%) et en phosphore (64 %) dans le milieu.

| | Volume annuel rejeté | E coli | MES | DCO | DBO5 | NGL | NTK | NH4 | Pt |
|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | m3 par an | nombre par an | tonnes par an | | | | | | |
| Délestages | 9 684 | 8,E+14 | 2 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Déversoirs d'orage | 3 193 636 | 7,E+16 | 305 | 516 | 185 | 46 | 45 | 31 | 7 |
| Trop-pleins de postes de relevage | 58 346 | 4,E+15 | 11 | 19 | 7 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Station d'épuration de Maison Blanche | 3 769 571 | 7,E+15 | 28 | 157 | 32 | 60 | 15 | 11 | 3 |
| Station d'épuration de Zone Portuaire | 12 423 773 | 1,E+16 | 101 | 360 | 42 | 92 | 61 | 56 | 11 |
| Station d'épuration de Plougastel | 484 963 | 1,E+15 | 3 | 11 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 |
| Total | 19 939 973 | 1,E+17 | 451 | 1 067 | 270 | 203 | 125 | 102 | 21 |

Tableau 5 : Charges de pollution émises par le système d'assainissement sur le territoire de Brest Métropole.



| Rejets du système d'assainissement | Contribution relatives des différents rejets du système d'assainissement en volume et en charge de pollution | | | | | | | | |
|--|--|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Volume | E coli | MES | DCO | DBO5 | NGL | NTK | NH4 | Pt |
| Délestages | 0,0% | 0,8% | 0,5% | 0,4% | 0,6% | 0,2% | 0,4% | 0,4% | 0,3% |
| Déversoirs d'orage | 16% | 73% | 68% | 48% | 69% | 22% | 36% | 30% | 32% |
| Trop-pleins de postes de relevage | 0,3% | 4,1% | 2,4% | 1,8% | 2,6% | 1,1% | 1,7% | 2,0% | 1,3% |
| Station d'épuration de Zone Portuaire et de Maison Blanche | 81,21% | 21% | 29% | 48% | 27% | 75% | 61% | 66% | 64% |
| Station d'épuration de Plougastel | 2,4% | 1,1% | 0,8% | 1,0% | 0,7% | 1,6% | 1,5% | 1,7% | 2,3% |

Tableau 6 : Contribution des différents types de rejet sur le territoire de Brest Métropole.

L'arrêté du 21 juillet 2015 prévoit que les systèmes de collecte des agglomérations ne génèrent pas de rejets directs d'eaux usées au-delà de 5 % du volume et du flux collecté - déversé, ou de 20 jours calendaires de déversement. Pour répondre à cette exigence, la Métropole de Brest s'est engagée à un programme de travaux qui prévoit la création de bâches de stockages et la mise en place d'une politique de déconnexion des eaux pluviales.

II.1.3.1.3. L'assainissement non-collectif

Le Service Eau et Assainissement du département du Finistère (SEA) a communiqué un état des connaissances sur la conformité des assainissements non-collectifs (ANC) des communes littorales de la rade de Brest. Seules les communes littorales font l'objet d'une évaluation ici du fait de leur proximité à la rade. La représentation des données pour les autres communes de la rade perdrait son sens ici compte-tenu de l'abattement bactériologique opéré naturellement sur les bassins versants. Cet état des connaissances fait apparaître environ 1600 dispositifs d'assainissement non conformes polluants en 2020 sur les communes du littoral (Tableau 7).

| Communes | % population sur le bassin de la rade | nb ANC recensés | nb ANC sur le bassin | Nb ANC non-conformes polluants | % ANC non-conformes polluants |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Argol | 60 | 400 | 240 | | |
| Crozon | 10 | 3055 | 306 | 58 | 19% |
| Le Faou | 100 | 222 | 222 | 31 | 14% |
| Lanveoc | 75 | 473 | 355 | 138 | 39% |
| Roscanvel | 85 | 250 | 213 | | |
| Rosnoen | 100 | 385 | 385 | 92 | 24% |
| Pont de Buis | 100 | 353 | 353 | | |
| Brest Métropole | 95 | 5439 | 5167 | 1008 | 20% |
| Daoulas | 100 | 99 | 99 | 11 | 11% |
| Dirinon | 100 | 345 | 345 | 32 | 9% |
| Hanvec | 100 | 837 | 837 | 77 | 9% |
| Hôpital-Camfrout | 100 | 244 | 244 | 11 | 5% |
| La Forest-Landerneau | 100 | 304 | 304 | 7 | 2% |
| Landerneau | 100 | 328 | 328 | 20 | 6% |
| Landévennec | 100 | | | | |
| Logonna-Daoulas | 100 | 731 | 731 | 95 | 13% |
| Loperhet | 100 | 483 | 483 | 20 | 4% |
| Total | | 13948 | 10611 | 1602 | 15,1% |

Tableau 7 : Nombre de dispositifs d'Assainissements Non-Collectifs (ANC) sur les communes littorales de la rade de Brest et sur Brest Métropole.

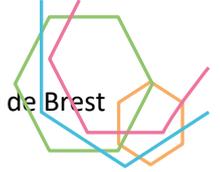


Figure 48 : Communes littorales de la rade et leur nombre d'assainissement non-collectifs non-conformes et polluants (données SEA 29)

Une partie des eaux usées collectées par les ANC polluants peut rejoindre sans traitement le réseau hydrographique. La pollution générée est principalement microbiologique. D'un point de vue microbiologique, le flux d'*E. coli* généré dans le milieu par équivalent habitant est important (environ $2 \cdot 10^9$ *E. coli*). Dans le cas où les effluents non traités aboutissent dans des cours d'eau récepteurs, cette pollution microbiologique s'atténue progressivement par autoépuration lorsque l'on s'éloigne du point de rejet vers l'aval. L'abattement bactérien par autoépuration (mortalité bactérienne, broutage des bactéries par des protozoaires) est généralement de l'ordre d'une unité logarithmique par km parcouru (diminution d'un facteur 10 pour chaque km parcouru). Autrement dit, il faut 9 km pour autoépurer totalement un rejet de $2 \cdot 10^9$ *E. coli*. L'incidence des assainissements non-collectifs non conformes polluants sur la qualité microbiologique du milieu marin est de ce fait d'autant plus significative que la distance entre le point de rejet et l'exutoire du cours d'eau récepteur est faible. Pour la rade de Brest, ce sont donc les dispositifs non conformes des communes littorales qui contribuent le plus à la pollution microbiologique du milieu marin. L'estimation des flux de bactéries qui rejoignent effectivement la rade depuis ces sources de contamination est difficile à établir. Potentiellement, 1600 dispositifs polluants recensés sur les communes littorales (Figure 48) peuvent représenter un flux global de l'ordre de $6 \cdot 10^{12}$ *E. coli* /j, c'est-à-dire l'équivalent de ce qu'apportent les effluents traités mais non désinfectés d'une grande station d'épuration comme celle de Maison Blanche à Brest. Ce flux théorique surestime sans doute le flux microbiologique parvenant à la rade, mais il explique les concentrations parfois élevées en bactéries fécales mesurées à l'exutoire des cours d'eau. Les ANC défectueux participent donc à la dégradation de la qualité de l'eau dans le milieu naturel. Leur mise en conformité doit constituer une priorité pour l'amélioration de la qualité microbiologique des eaux littorales.



II.1.3.2. Les industries

Les flux de pollution industrielle ont été déterminés à partir des fichiers Agence de l’Eau sur les industries soumises à redevance pour l’année 2020. A partir de ces fichiers, l’ensemble des industries non raccordées à un ouvrage d’assainissement collectif, présentes sur le bassin versant de la rade ont été extraites, soit 12 entreprises (Tableau 8). Les résultats des flux restitués au réseau hydrographique sont présentés pour les paramètres matières organique (DCO et DBO5), matières en suspension (MES), azote global (NGL) et phosphore (P total).

| Raison sociale | Commune | Activité | Pollution rejetée au milieu en kg/an | | | | |
|---|----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|-------|---------|
| | | | DCO | DBO5 | MES | NGL | P total |
| CFPES BREST | BREST | Industrie | 316 | 96 | 358 | 66 | 21 |
| JRS MARINE PRODUCTS LANDERNEAU SAS | LA FOREST-LANDERNEAU | Industrie chimique | 51 318 | 3 497 | 14 970 | 4 843 | 272 |
| ROLLAND SAS | TREFLEVEZ | Mécanique générale | 2 941 | 399 | 2 372 | 285 | 73 |
| DOUX SA USINE DE TRANSFORMATION | CHATEAULIN | Abattoirs | 6 910 | 712 | 925 | 1 891 | 80 |
| SOCOPA VIANDES SAS SITE DE CHATEAUNEUF | CHATEAUNEUF-DU-FAOU | Abattoirs | 17 099 | 939 | 2 414 | 1 469 | 300 |
| VOLAILLES DU POHER SAS ABATTOIR | CLEDEN-POHER | Abattoirs | 7 964 | 2 637 | 0 | 1 879 | 365 |
| COMPAGNIE LAMPAULAISE DE SALAISONS SAS | LAMPAUL-GUILMILIAU | Transf. produits d'origine animale | 2 370 | 205 | 696 | 158 | 16 |
| UCLAB INDUSTRIE SAS | PENCRAN | Industrie du lait | 24 868 | 4 049 | 7 787 | 2 280 | 489 |
| PISCICULTURE DE MENAOUEN SCEA | PLOUDRY | Pisciculture d'eau douce | | | 3 407 | 7 420 | 1 193 |
| LA SOURCE SAS | SAINT-SEGAL | Pisciculture d'eau douce | | | 3 578 | 7 588 | 1 220 |
| PISCICULTURES DE LA DOUFFINE SCEA | BRASPARTS | Pisciculture d'eau douce | | | 692 | 1 960 | 316 |
| LES TRUITES DU STER GOZ SAS PISCICULTURE DE L'ELORN | LOC-EGUINER | Pisciculture d'eau douce | | | 1 412 | 6 922 | 928 |
| Total (tonnes par an) | | | 114 | 13 | 39 | 37 | 5 |

Tableau 8 : Flux annuels de pollutions déclarés par les industriels assujettis la redevance pollution d’origine non-domestique (compilation).

Les autres rejets potentiels pouvant influencer la qualité de l’eau de la rade (ex : Arsenal, Ports, Damen) font l’objet de clauses de confidentialité. Elles ne sont pas traitées dans ce rapport.

II.1.3.3. L’agriculture

II.1.3.3.1. Occupation des sols

L’occupation des sols donne une idée des enjeux à l’échelle du bassin versant : Plus des trois quarts du territoire sont occupés par des terres agricoles (Figure 49), et près de 6% est occupé de manière très inégale par des zones urbaines (principalement au Nord et Nord-Ouest). Le reste du territoire est occupé par des forêts (env. 12%) et des landes et prairies (6%).

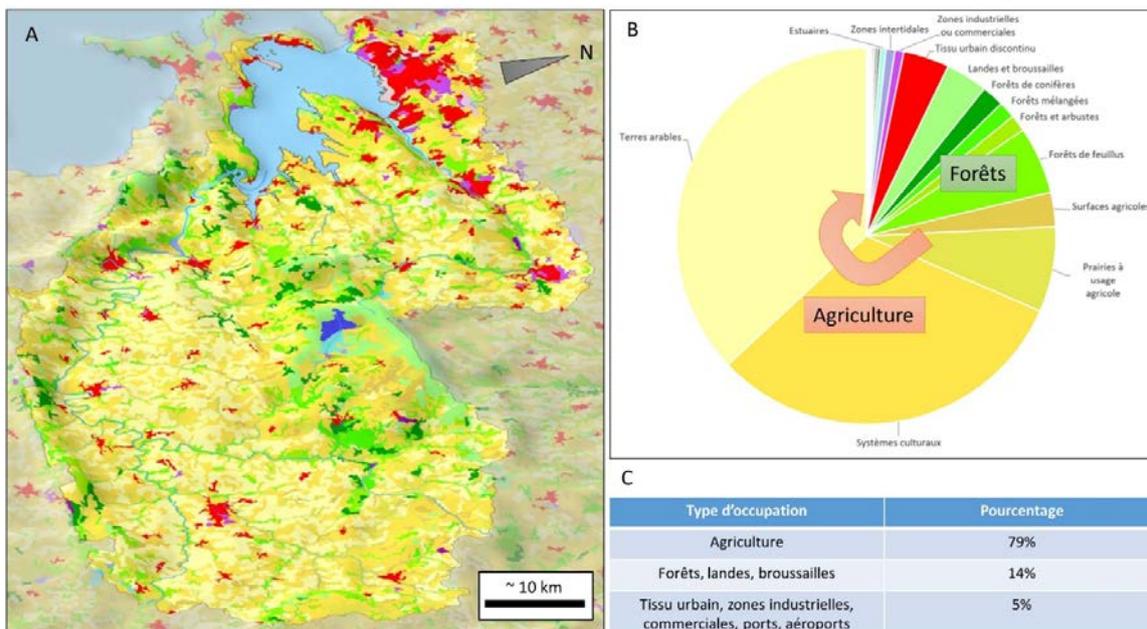
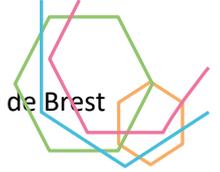


Figure 49 : (A) Carte et (B) répartition de l’occupation du sol sur les bassins versants de la rade de Brest. Les chiffres clés sont indiqués dans le tableau (C).



II.1.3.3.2. Exploitations agricoles

Le nombre d'exploitations sur les communes des bassins versants de la rade de Brest est très variable (de 2 à 83). Le nombre d'exploitations est plus important dans la vallée de l'Aulne et du Canal de Nantes à Brest, notamment sur les communes de Glomel, Langonnet, Gourin, Spézet, Poullaouen, Plonévez-du-Faou et Pleyben (d'amont en aval, respectivement, Figure 50). Ces communes présentent également la particularité de compter peu d'exploitations bio (moins de 20%). La partie Sud à Sud-Est des bassins versants concentre l'essentiel des exploitations, avec de faibles pourcentages d'exploitations bio. A l'inverse, la partie amont de l'Ellez (en jaune au centre de la Figure 50) concentre peu d'exploitations, et des pourcentages conséquents d'exploitations bio (plus de 60% dans les communes de La Feuillée ou Saint-Rivoal).

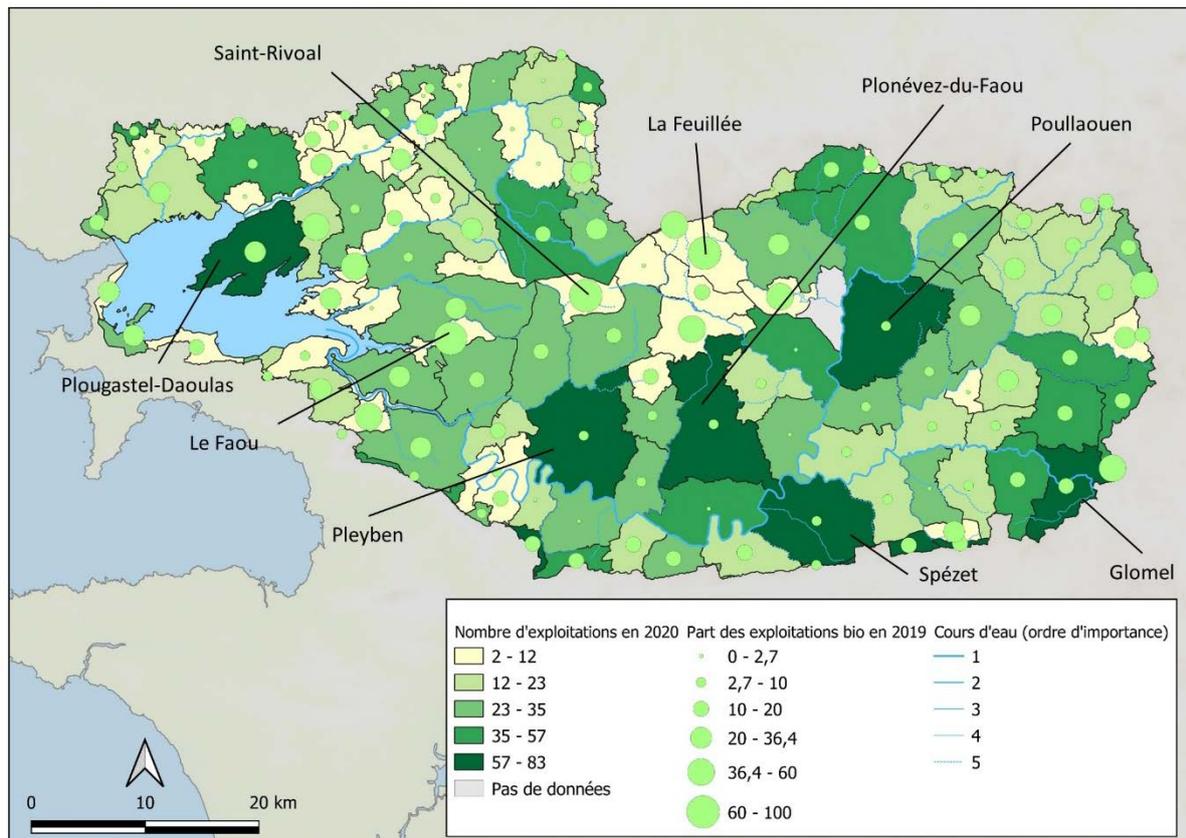
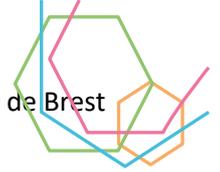


Figure 50 : Nombre d'exploitations agricoles sur les bassins versant de la rade en 2020, et part des exploitations biologiques, statistiques par commune (données Agreste et Observatoire des Territoires, 2020). Les données sont localisées à la commune où se situe le lieu principal de production de chaque exploitation. Une exploitation pouvant exercer son activité sur plusieurs communes, ou plusieurs départements voire plusieurs régions.

La surface agricole utile ou SAU rassemble l'ensemble des sols agricoles non artificialisés : terres arables, cultures, surfaces en herbe, jardins privés des agriculteurs. Pour visualiser l'importance de la SAU sur les communes des bassins versants de la rade de Brest, deux indicateurs sont pris en considération (Figure 51). La SAU par commune est associée au pourcentage de SAU par rapport à la superficie de la commune pour éviter les effets d'échelle (ex : SAU importantes pour les communes les plus grandes). Les communes de Poullaouen, Plonévez-du-Faou, ou Pleyben concentrent des SAU conséquentes (> 5 000 Ha). C'est également le cas dans la plupart des communes sur le bassin versant de l'Aulne, très agricole, avec des pourcentages de SAU par commune excédent fréquemment les 70%. Seule la partie amont de l'Ellez fait exception, avec moins de SAU (> 500 Ha) et un pourcentage de SAU



inférieur à 40%. Les statistiques de SAU sur le bassin versant de l'Elorn et les petits bassins versants côtiers (Mignonne, Camfrout, Faou) montre une nette différenciation entre les communes situées au Nord de l'Elorn (SAU souvent > 70% de la commune, excepté pour les communes de BM) et les communes situées au Sud de l'Elorn, avec des SAU rarement supérieurs à 50%. Ces statistiques de SAU ne comprennent cependant pas les serres, qui font l'objet d'un traitement à part (cf. II.1.3.4).

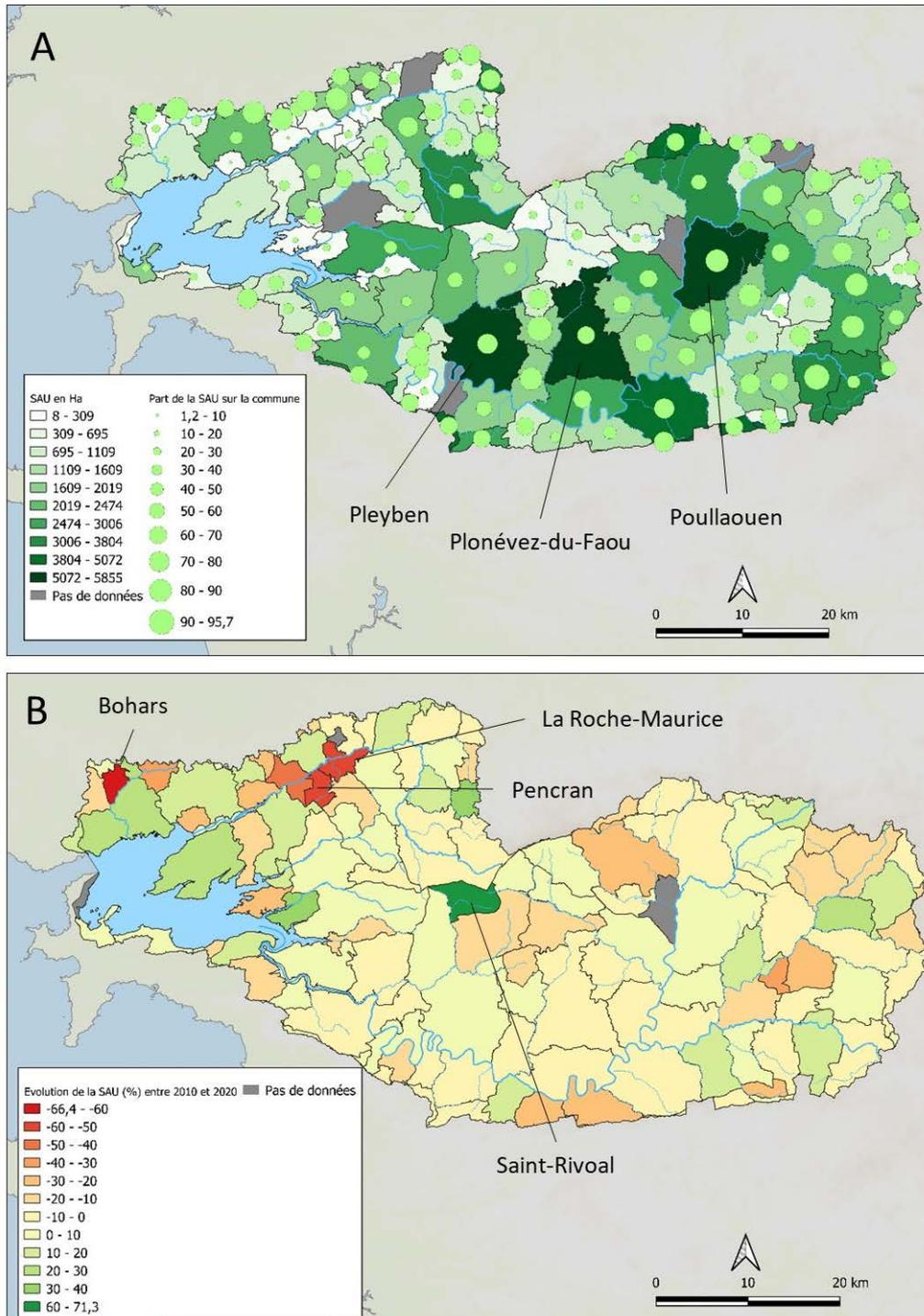
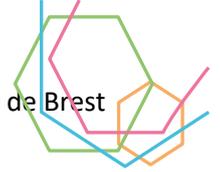


Figure 51 : (A) Surface Agricole Utile (SAU) en hectares (Ha) pour chaque commune des bassins versants de la rade de Brest et part de cette SAU par rapport à la superficie de la commune (données Agreste, 2020). La SAU est indicative car localisée à la commune où se situe le lieu principal de chaque exploitation. Une exploitation peut exercer son activité sur plusieurs communes, plusieurs départements ou plusieurs régions. (B) Evolution de la SAU entre 2010 et 2020 sur les bassins versants de la rade de Brest.



Les années 2010 et 2020 sont prises en référence pour l'évaluation de la SAU (données Agreste 2020). Une évolution faible de la SAU (plus ou moins 10%) caractérise l'essentiel des communes sur le bassin versant de l'Aulne (Figure 51). Les communes où la perte de SAU est >10% sont deux fois plus nombreuses que les communes dont le gain de SAU est >10%. Les évolutions les plus marquées sur le bassin versant de l'Aulne sont situés sur le sous bassin versant de l'Hyères, au Sud de l'Aulne, et sur le sous bassin versant de la Douffine (notamment à Saint-Rivoal ;). Les évolutions sont plus marquées sur le bassin versant de l'Elorn et les petits sous bassins versant côtiers (Mignonne, Camfrout, Faou), principalement dans leurs parties aval. Une déprise franche de la SAU (> 60%) est particulièrement visible pour les communes de Bohars, Pencran et la Roche-Maurice (Figure 51).

Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) permet de représenter la part des cultures dans la SAU pour chaque sous bassin versant de la rade de Brest (voir spécifications de la classification en Annexe 1). Une comparaison des données entre 2010 et 2020 permet de caractériser l'évolution de ces surfaces sur cette même période (Figure 52). D'un point de vue général, les prairies et surfaces fourragères occupent une proportion dominante des surfaces agricoles (un tiers à la moitié de la surface). Les cultures céréalières (Blé tendre, orge, autres) et le maïs (grain et ensilage) sont souvent en proportion comparables, à hauteur d'un quart des surfaces, et jusqu'à un tiers pour les sous bassins versant de l'Hyères, de l'Aulne Moyen et du Canal de Nantes à Brest (extrême Sud-Est). Il n'y a pas d'évolution franche de l'emploi des surfaces agricoles entre 2010 et 2020. On peut néanmoins remarquer les évolutions suivantes :

- Une augmentation générale de la surface de culture de colza et de tournesol entre 2010 et 2020 (en noir sur les cartes de la Figure 52). Si ces deux cultures sont classées dans la même catégorie, on peut considérer que c'est surtout la culture du colza qui a fortement progressé (doublement voire triplement des surfaces pour quasiment tous les sous bassin versants).
- La surface de prairies a diminué sur l'ensemble des sous bassins versants de l'Aulne, Aulne aval mis à part. A l'inverse, pour le sous bassin versant de l'Elorn et les petits bassins versants côtiers, une tendance à l'augmentation de la surface des prairies est observable entre 2010 et 2020 (Figure 52).

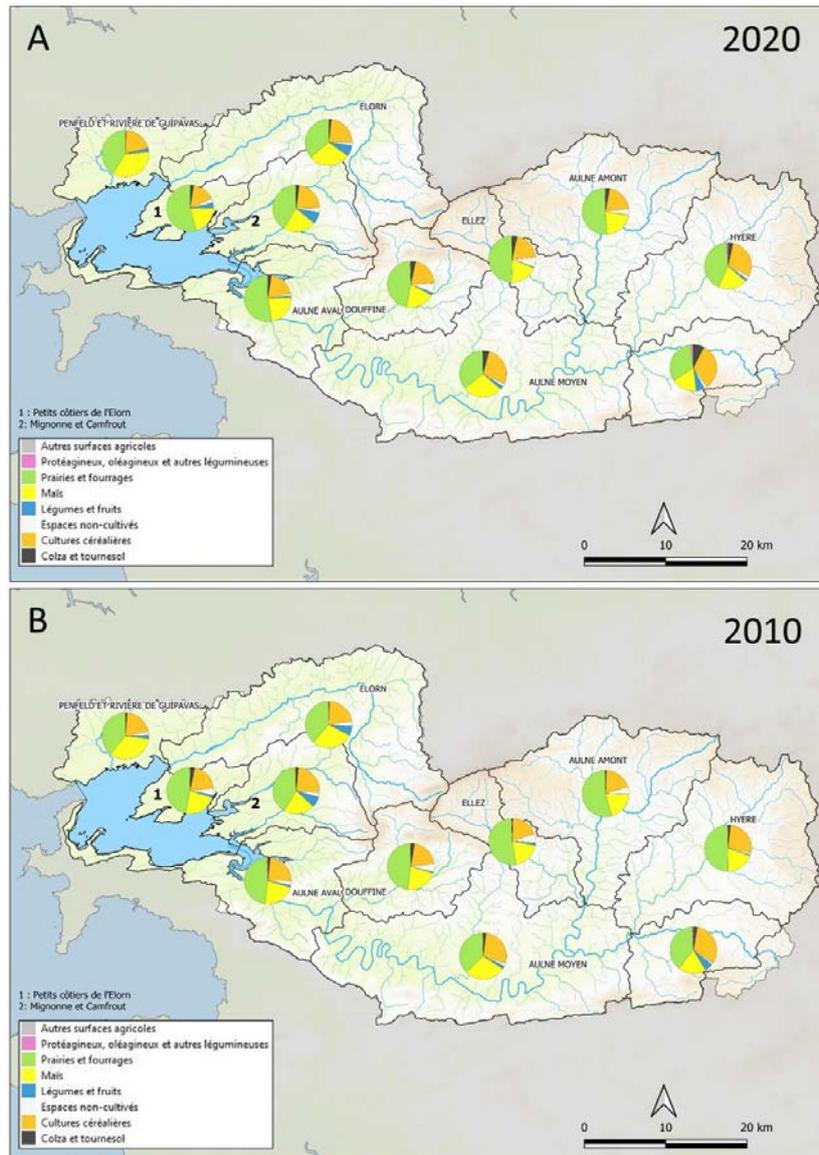
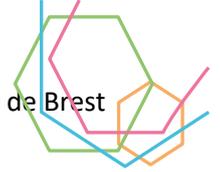


Figure 52 : Proportions des types de production agricole sur chacun des sous-bassins versants du territoire (Registres parcellaires graphiques de 2010 et 2020).

II.1.3.3.3. Spécialisation et Cheptel

Les exploitations agricoles des bassins versants de la rade de Brest sont positionnés sur quatre filières dominantes : le porc, le lait, les légumes et la volaille. Les productions de porcs et de volailles sont particulièrement intensives, et souvent destinées à l'export (Adeupa, 2020). Sur le bassin versant de l'Aulne, quatre spécialisations dominantes sont représentées : 1) Porcins, volailles ; 2) Polyculture, polyélevage ; 3) Bovins mixte ; et 4) Bovin lait (Figure 53). Sur les bassins versants de l'Elorn et des petits fleuves côtiers (Mignonne, Camfrou et Faou), seules les communes du Faou, de l'Hôpital-Camfrou et de Saint-Divy présentent des spécialisations dominantes en bovins (lait et mixte). Pour le reste du territoire sur ces bassin versants, la partie amont de l'Elorn présente majoritairement des élevages porcins et volailles, et la partie aval est dominée par le maraîchage et l'horticulture, avec notamment un grand nombre de serres (cf. II.1.3.4).

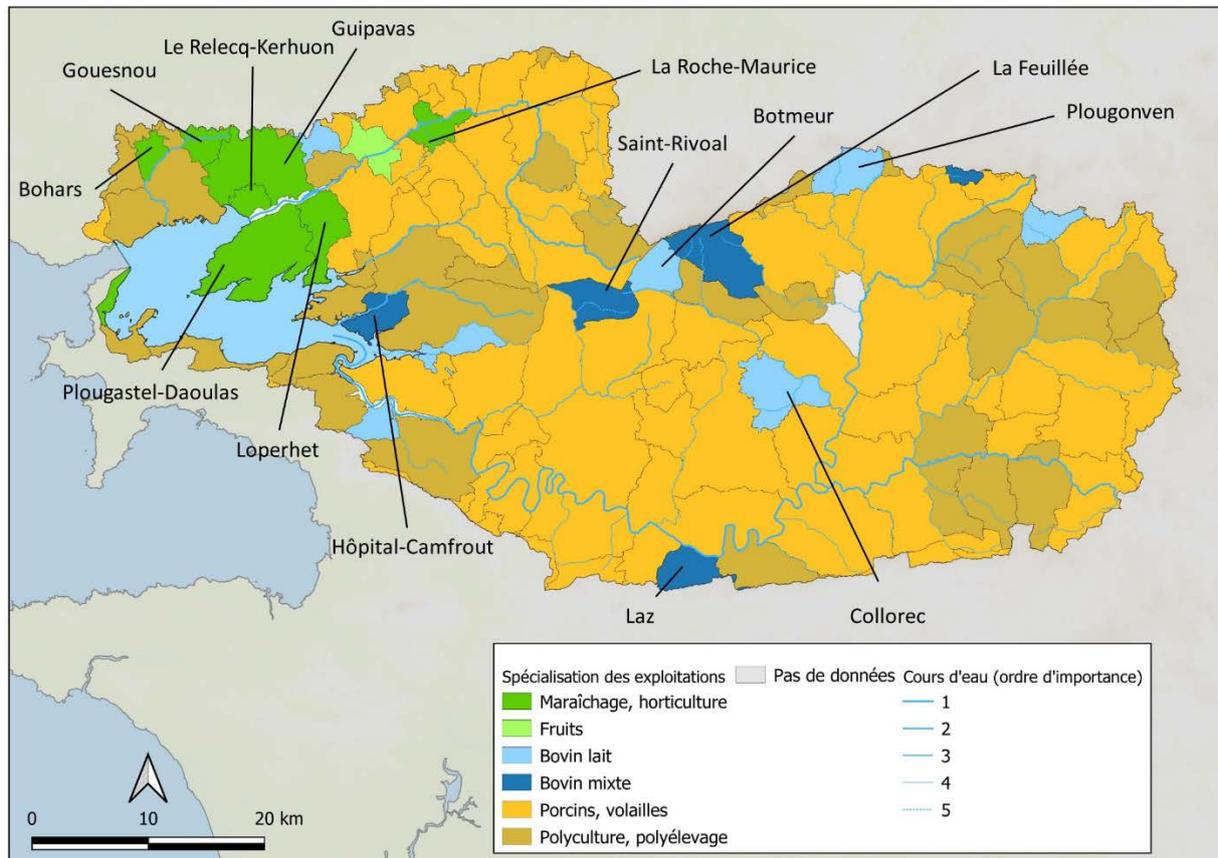


Figure 53 : Spécialisation dominante des exploitations sur les communes des bassins versants de la rade de Brest⁵ (Agréste, 2020).

La taille du cheptel par commune est largement influencé par le type d'élevage, les communes dominées par l'élevage de volailles présentent les cheptels les plus importants (Figure 54). A l'échelle du bassin versant un gradient Sud-Est / Nord-Ouest de diminution du cheptel est visible, avec des cheptels fréquemment supérieurs à 400 000 individus au Sud-Est du bassin versant (principalement volailler), et des cheptels inférieurs à 200 000 individus (principalement bovin et/ou porcin). Différents secteurs d'élevage se dégagent sur le territoire du bassin versant de la rade de Brest

⁵ L'orientation technico-économique (spécialisation dominante) dépend de la production agricole dominante observée à l'échelle communale. Elle correspond à l'activité qui génère au moins les deux tiers de la production brute standard (PBS) de la commune. Les surfaces agricoles et cheptels sont valorisés selon des coefficients permettant le calcul de la production brute standard par hectare ou par tête d'animal présent dans la commune. Pour le recensement agricole 2020, les coefficients utilisés pour le calcul de la PBS résultent des valeurs moyennes des rendements et des prix observés sur la période 2015 à 2019.

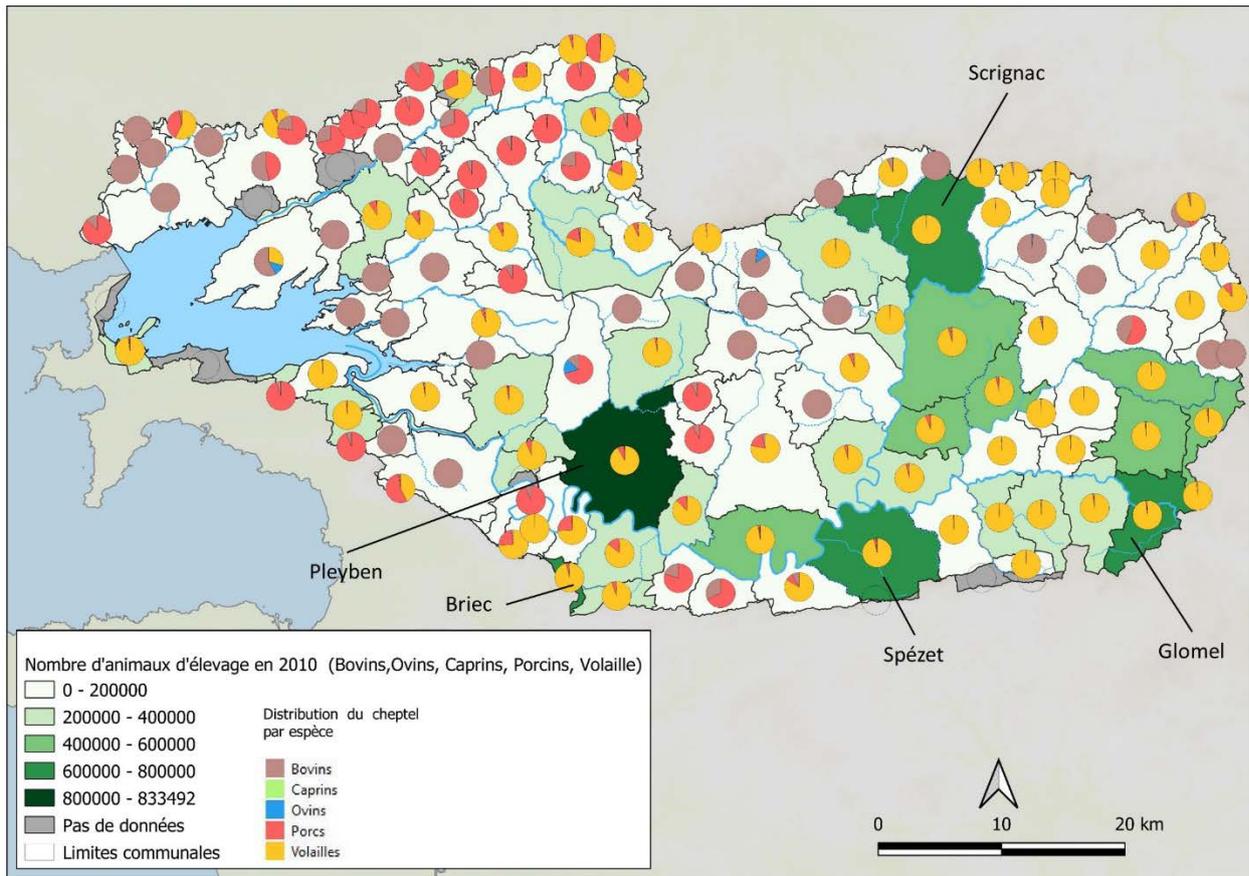


Figure 54 : Représentation du cheptel par commune (Agreste, 2020).

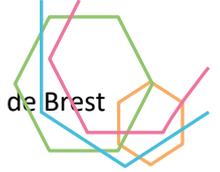
II.1.3.4. Les serres

II.1.3.4.1. Exploitation de la ressource en eau

La tomate sous serre représente plus de 80% de la SAU en serres en Bretagne en 2010 avec un besoin moyen estimé entre 7 000 et 10 000 m³/ha/an selon la Chambre d'agriculture (Ballihaut et al., 2021). Pour l'irrigation des serres, 30-35% des exploitations utilisent l'eau de pluie récupérée dans des réserves et complètent par forage, le reste utilisant exclusivement le forage (Chambre d'Agriculture). Les besoins d'irrigation pour les serres sont fluctuants durant l'année. Les besoins d'irrigation s'échelonnent de mars à octobre, avec une pression plus forte de mai à août (Tableau 9).

| | Jan. | Fév. | Mar. | Avr. | Mai. | Jui. | Juil. | Août. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Prélèvement direct | 0% | 0% | 4% | 9% | 14% | 18% | 21% | 18% | 11% | 6% | 0% | 0% |

Tableau 9 : Répartition mensuelle des besoins d'irrigation pour les serres (Ballihaut et al., 2021)



II.1.3.4.2. Fonctionnement d'une serre industrielle

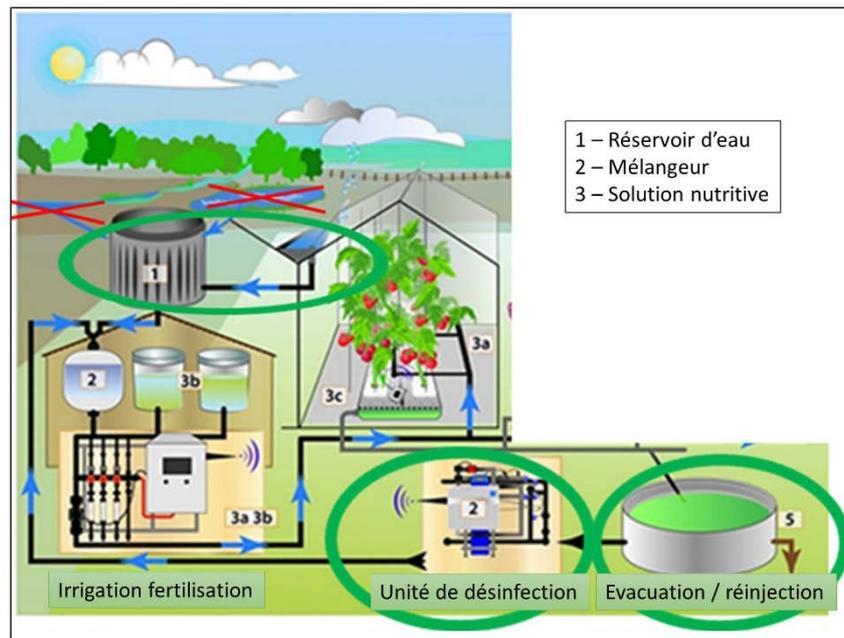


Figure 55 : Système de fonctionnement d'une serre industrielle

La production légumière ou fruitière dans les serres industrielles ne consomme pas l'intégralité des solutions nutritives en circulation. Une partie appelée 'eau de drainage' constitue un volume à gérer. Celui-ci représente environ 30% du volume total soit 3 000 m³/ha/an. Les concentrations en nitrates observées sont de l'ordre de 50 à 100 mg/L. Une grande partie des serres est équipée de système de recyclage qui permet de réintroduire ces eaux de drainage dans la solution nutritive des plants de tomates (Figure 55). Néanmoins, l'accumulation d'éléments non assimilables par les plantes (sodium et chlore) oblige les exploitants à réaliser des purges (rejets ultimes) du système d'irrigation plusieurs fois dans l'année. Ce volume représente environ 300 m³/ha/an. Les concentrations en nitrates observées sont alors de l'ordre de plusieurs centaines de mg/L. Ces exploitations doivent donc gérer l'absence de rejet au milieu pour les eaux de drainage et les rejets ultimes qui représentent de fortes teneurs en azote et en phosphore (com. pers. AELB, 2022).

II.1.3.4.3. Implantation des serres sur le territoire

La culture de tomates en serres chauffées est très inégalement répartie sur le territoire national, avec quatre régions particulièrement équipées : l'île de France – Grand-Est, l'Auvergne – Rhône Alpes, l'Aquitaine, et la Bretagne – Pays-de-la-Loire. Le Finistère concentre le nombre de serres le plus important du territoire national, avec plus de 200 hectares de serres chauffées (Figure 56).

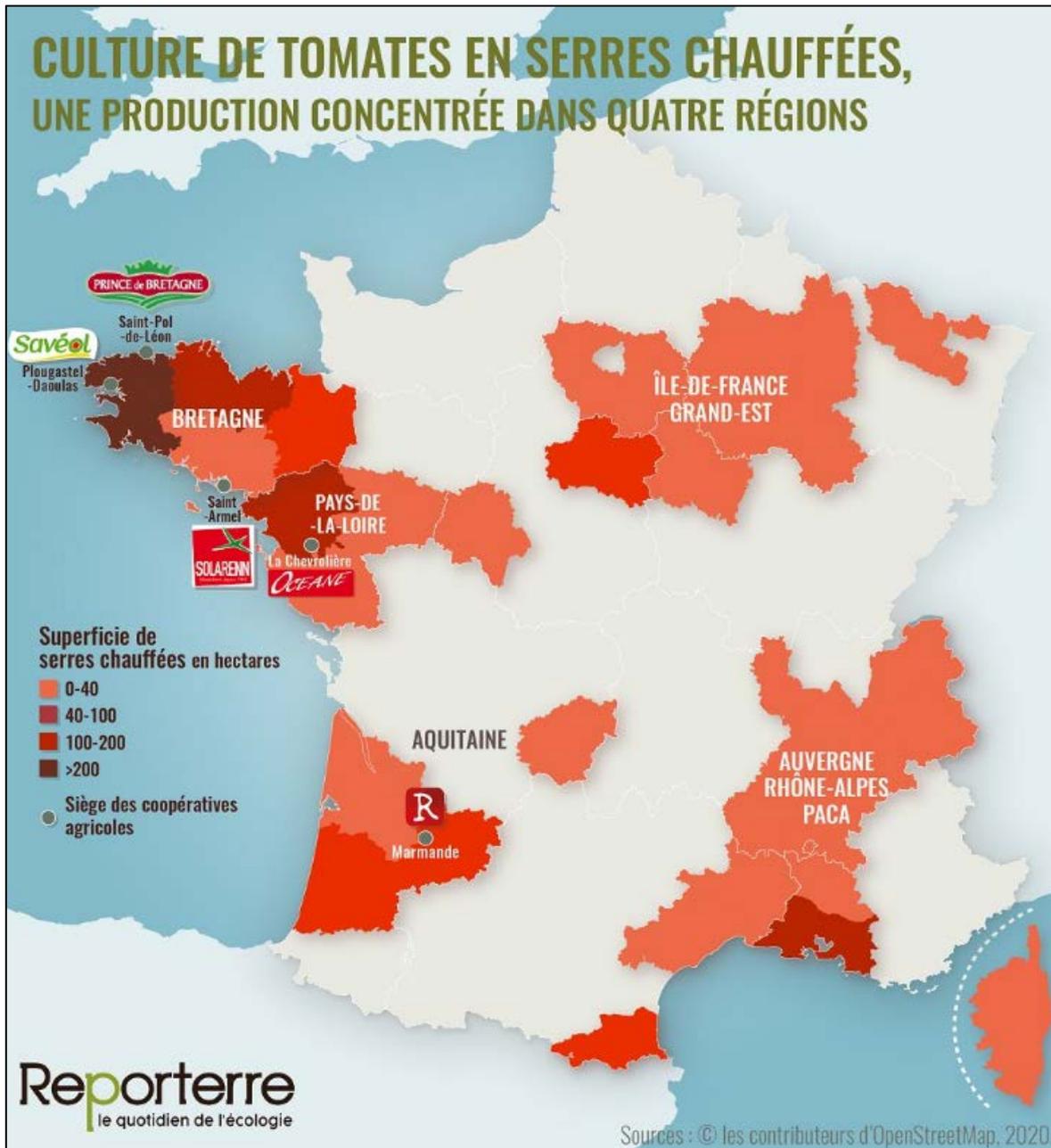
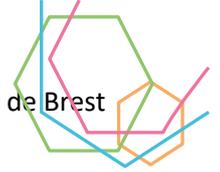


Figure 56 : Superficie des serres chauffées en hectares en France (Reporterre.net d'après une enquête du Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes - Ctifl, 2016)

Sur les bassins versants de la rade de Brest, les serres chauffées sont présentes sur l'ensemble du territoire, avec une nette densification des installations selon une direction Est-Ouest (Figure 57). La presque-île de Plougastel-Daoulas présente une densité de serre particulièrement importante. Les territoires de l'Elorn aval et de la Penfeld présentent également un grand nombre d'installations (Figure 57).

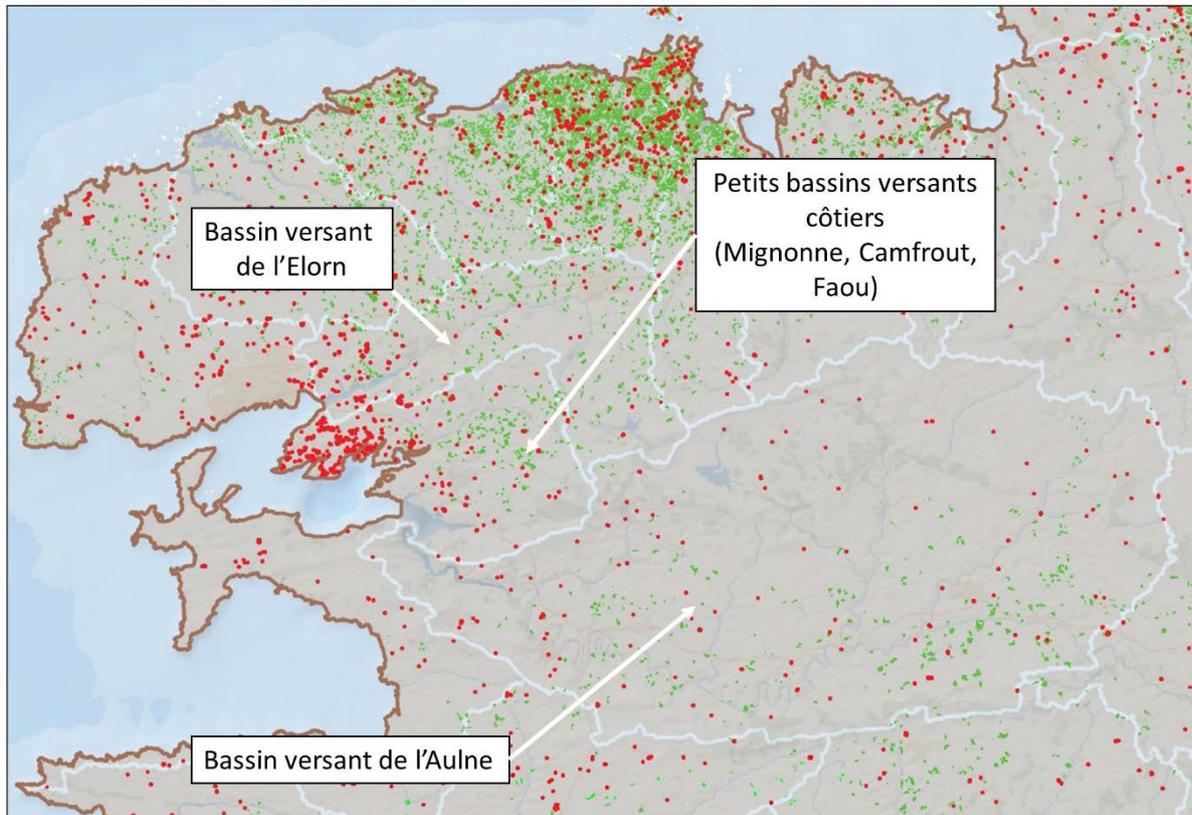
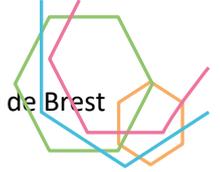


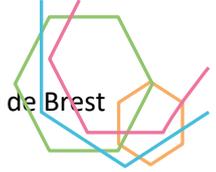
Figure 57 : Irrigation, localisation des serres (en rouge) et des cultures de plein champ (en vert) sur les bassins hydrographiques du Nord Finistère (DREAL Bretagne 2020)

II.1.3.5. Les piscicultures

Les établissements piscicoles implantés sur les rivières sont alimentés en eau par dérivation à partir du cours d'eau principal. La dérivation d'une partie des eaux du milieu naturel est soumise à obligation légale du maintien d'un débit réservé (article L.432-5 du Code de l'Environnement sur les débits minimums). Ce débit réservé minimum permet la libre circulation des poissons sauvages ainsi qu'une dilution des rejets des piscicultures.

L'incidence des piscicultures sur le milieu aquatique est essentiellement d'origine nutritionnelle (DRIRE-DIREN, 2008). Elle résulte de l'alimentation des poissons qui produit des déchets à la fois solides et dissous. Les piscicultures affectent la qualité des eaux de surface en libérant des éléments nutritifs sous leur forme dissoute (NH_4 , PO_4) lesquels ne sont que partiellement éliminés par les traitements mis en œuvre sur leurs effluents. Les dispositifs de traitement sont le plus souvent axés sur la rétention des matières particulaires. Les rejets sont constitués pour l'essentiel de deux composants : (1) les fèces, qui représentent la part non digestible de l'aliment et pertes endogènes ; et (2) les produits d'excrétion, ou produits finaux de la part digestible des nutriments ingérés. Ces deux composants participent à l'enrichissement du milieu aquatique.

Les flux de polluants sont directement liés aux quantités d'aliments distribuées et consommées. On considère comme négligeables les apports polluants liés à la part d'aliment non consommé. Les piscicultures sont également susceptibles de générer une dégradation spécifique des eaux, liée aux traitements sanitaires appliqués et aux risques de transmission de maladie en cas d'épidémie (bactéries pathogènes, parasitisme). Les incidences sur le milieu aquatique peuvent être révélées au travers de mesures comme les I.B.G (Indice Biologique Global).



Sur le **bassin versant de l'Aulne**, les piscicultures sont principalement localisées sur La Douffine (Figure 58). L'activité repose essentiellement sur l'élevage de la truite arc-en-ciel, de la truite fario et le saumon atlantique. L'élevage de truite arc-en-ciel est destiné à la commercialisation à des fins alimentaires. La production d'alevins (truites fario, smolts de saumon) est destinée au repeuplement des cours d'eau (Pisciculture Fédérale du Favot), ou à l'aquaculture marine.

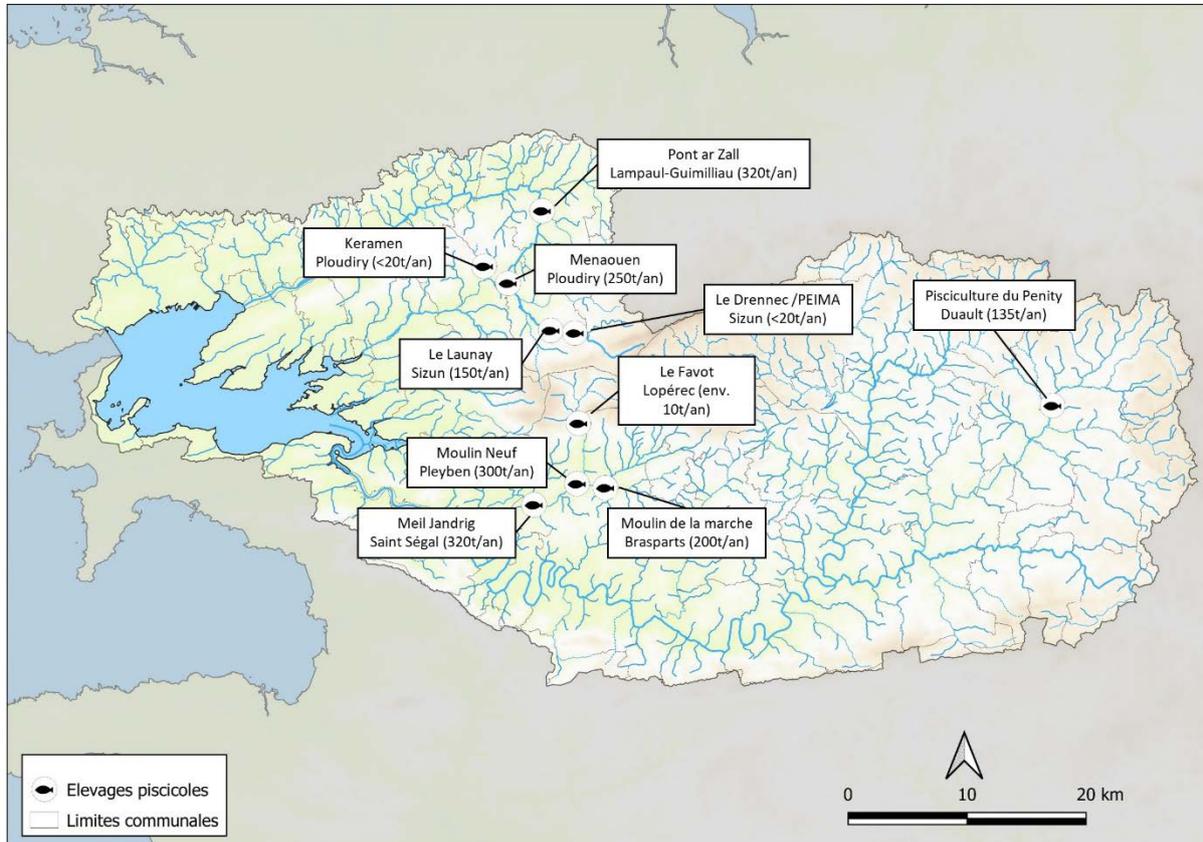
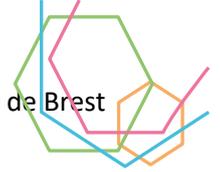


Figure 58 : Localisation des piscicultures et leur production associée en tonnes (données DREAL, 2016) et DDTM, 2022)

II.1.3.6. Carénage et stationnement des navires

Le carénage a pour principaux objectifs d'enlever les organismes marins fixés sur la coque des bateaux, de déceler et réparer les points de corrosion et de repeindre la carène à l'aide de peinture limitant l'adhésion des formes vivantes (peintures dites « antifouling ». Ces opérations sont réalisées sur différents types de matériaux (bois, matériaux composites, acier, aluminium). Selon la nature du matériau, différentes techniques sont utilisées. Les opérations de carénage ont une périodicité variable selon les conditions climatiques, les modalités d'utilisation du bateau et l'efficacité de la peinture « antifouling » appliquée. Pour les bateaux de plaisance, les carénages sont réalisés tous les ans à tous les 5 ans, préférentiellement d'avril à septembre (Droit et Besançon, 2018).

Le carénage génère des déchets sous forme de poussières ou de paillettes lors du nettoyage, et de coulures lors de la mise en peinture. Ces déchets peuvent contaminer le milieu marin par ruissellement ou par voie aérienne. Ces résidus contiennent différents agents chimiques (TBT, cuivre, hydrocarbures, micro-plastiques, herbicides, solvants, etc.) qui potentiellement peuvent contaminer l'environnement et affectent la santé humaine (Droit et Besançon, 2018).



Le développement de formes vivantes (parfois appelées « salissures » ou « *fouling* ») sur les carènes des bateaux est un processus naturel (Figure 59). Il débute par la formation d'un film macromoléculaire (protéines, acides gras, polysaccharides...) sur la surface immergée (œuvres vives) de la coque dès la mise à l'eau du bateau. La matière organique présente va servir de substrat énergétique et de source de carbone à des formes bactériennes (*Pseudomonas sp.*) qui aboutit à la formation d'un biofilm bactérien. Ce biofilm offre un support à des organismes unicellulaires (protozoaires et diatomées) qui seront plus tard recouverts par d'autres organismes sessiles végétaux ou animaux de plus grande taille (Figure 59).

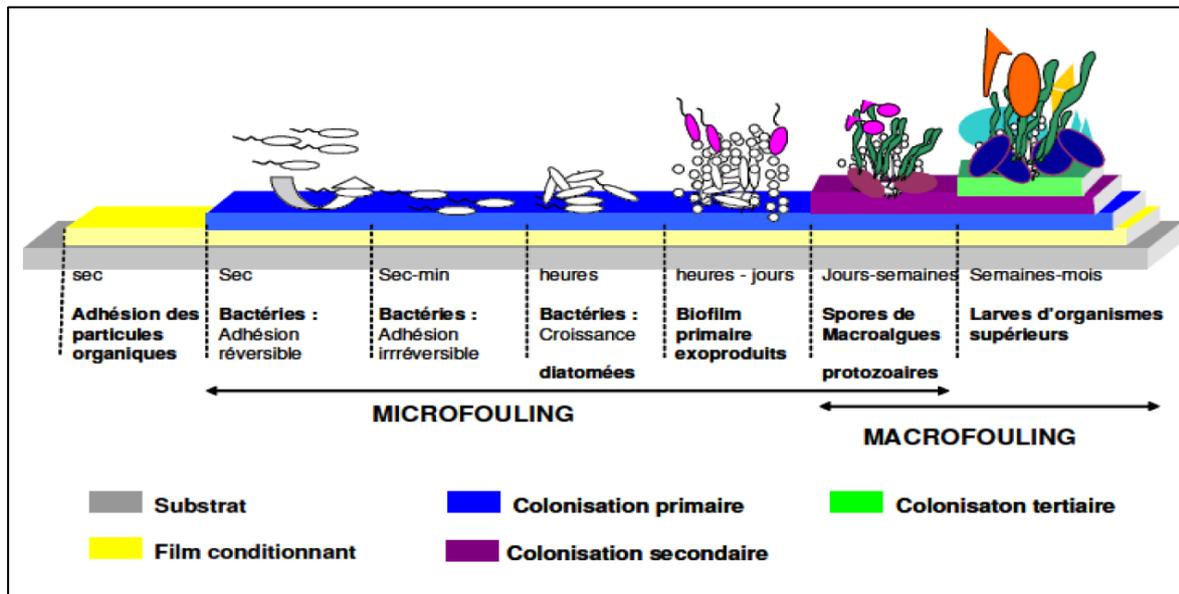


Figure 59 : Colonisation progressive (ou *fouling*) de la coque d'un bateau par les organismes marins (Droit et Besançon, 2018).

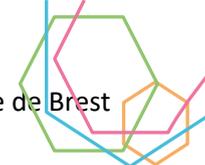
L'activité de carénage vise à éliminer le *fouling* pour des raisons liées à 1) l'hydrodynamisme : Le *fouling* entraîne une perte de vitesse, une augmentation du poids de la coque, une modification de la flottabilité, induisant une augmentation du frottement donc de la résistance à l'avancement du bateau conduisant à une surconsommation de carburant, et 2) à éviter le développement de points de corrosion et limiter les coûts de maintenance.

II.1.3.6.1. Le carénage de plaisance

Les étapes du carénage comprennent (1) le nettoyage, (2) le sablage, et (3) l'application de la peinture.

(1) Le nettoyage de la coque s'opère généralement à l'aide d'un nettoyeur haute-pression (100 - 300 bars). Cette opération provoque le décollement de la peinture de la coque du navire. De l'eau de javel ou un diluant spécial *antifouling* peuvent parfois être utilisés. Cette opération peut être complétée par une phase de grattage-ponçage réalisé tous les 15 à 20 ans pour les bateaux de plaisance (Droit et Besançon, 2018).

(2) Le sablage de la coque (pour certains types de coques) est nécessaire pour atteindre un niveau de porosité et de rugosité minimum pour permettre à la peinture de s'accrocher. La méthode consiste à pulvériser des abrasifs à sec sous pression. D'autres techniques de sablage existent : 1) l'aérogommage, avec projection sur la coque d'un mélange d'air et de micro-abrasifs à basse pression (0,5 à 5 bars), le blé pouvant être utilisé comme abrasif ; 2) l'hydrogommage, avec projection basse pression d'un mélange d'eau, d'air et de micro-granulats abrasifs sur la coque ; 3) l'hydrojetting, avec



jet à très haute pression 700 - 3000 bars ; 4) la lacryogénie, avec impact de la neige carbonique (CO2 sous forme de glace) sur la coque qui fait éclater la couche de peinture en place.

(3) L'application de la nouvelle couche de peinture au rouleau, au pinceau, ou au pistolet (Droit et Besançon, 2018).

Les risques environnementaux liés à l'activité de carénage comprennent la contamination chimique du milieu marin par ruissellement, par la production de macrodéchets et par les projections atmosphériques qu'elle provoque. Seuls les deux premiers points sont traités dans le présent rapport.

Le ruissellement des eaux de carénage non traitées peut avoir un impact environnemental important via la contamination des écosystèmes par les biocides contenus dans les peintures antisalissures, les solvants, les détergents et les hydrocarbures (Figure 60). Il existe deux types de biocides : 1) *les biocides minéraux* (oxyde de cuivre, oxyde de dicuivre, pyrithione de cuivre, thiocyanate de cuivre, oxyde de zinc, zinc pyrithione) et 2) *les biocides organiques* (chlorothalonil, dichlofluanide, diuron, irgarol, tolylfluanide, zinèbe). Ces différents biocides peuvent être combinés dans les peintures pour obtenir des effets conjugués (renforcement, élargissement du spectre d'action). Actuellement, le principal composé utilisé est le cuivre contenu dans 70% des peintures *antifouling*. Le cuivre a remplacé le tributylétain dans les peintures depuis son interdiction dans les peintures antifouling en 2003. Le cuivre est généralement associé à un herbicide (ex : irgaol, zinc pyrithione – on parle alors de cuivre pyrithione). Les composés organiques les plus couramment rencontrés sont l'Irgarol 1051 (ou Cybutrine, proche de l'atrazine), le Diuron, le Tolyfluanide, le Dichlofluanide, le Chlorothalonil, le Zinc pyrithione, le TCMTB, le Thirame, le Zinèbe, le TCMS pyridine, le Zirame, le Kathon5287, le DCOIT, et le Manèbe. Les biocides peuvent persister plus ou moins longtemps dans le milieu marin. Le temps de demi-vie des biocides dans l'eau de mer peut ainsi varier de quelques heures à plusieurs centaines de jours (Tableau 10). Dans les sédiments la dégradation de ces produits et de leurs métabolites peut être beaucoup plus longue (de Mora et al., 2008).

| Molécule | Temps de 1/2 vie dans l'eau de mer |
|-----------------|------------------------------------|
| Irgarol | 201 à 350 jours |
| Diuron | 120 jours |
| DCPMU | 33 jours |
| DCPU | 50 jours |
| Dichlofluanide | 0,75 à 0,8 jours |
| Thirame | 7 h à 3,5 jours |
| Chlorothalonil | 16,1 jours |
| TCMTB | 31 jours |
| Zineb | 1 jour |
| Zinc pyrithione | ≤ 4 heures |
| TBT | 60 à 90 jours |

Tableau 10 : Temps de demi-vie (temps mis par une substance pour perdre la moitié de son activité pharmacologique ou physiologique) pour certaines molécules biocides présentes dans les peintures antifouling (Droit et Besançon, 2008).



Les produits de dégradation de certains biocides, comme le tolyfluanide, le dichlofluanide, le diuron, ou l'irgarol sont connus pour présenter une écotoxicité élevée, et parfois supérieure au polluant d'origine. Les temps de demi-vie de ces biocides sont plus importants lorsqu'ils sont stockés dans les sédiments marins (Droit et Besançon, 2018).

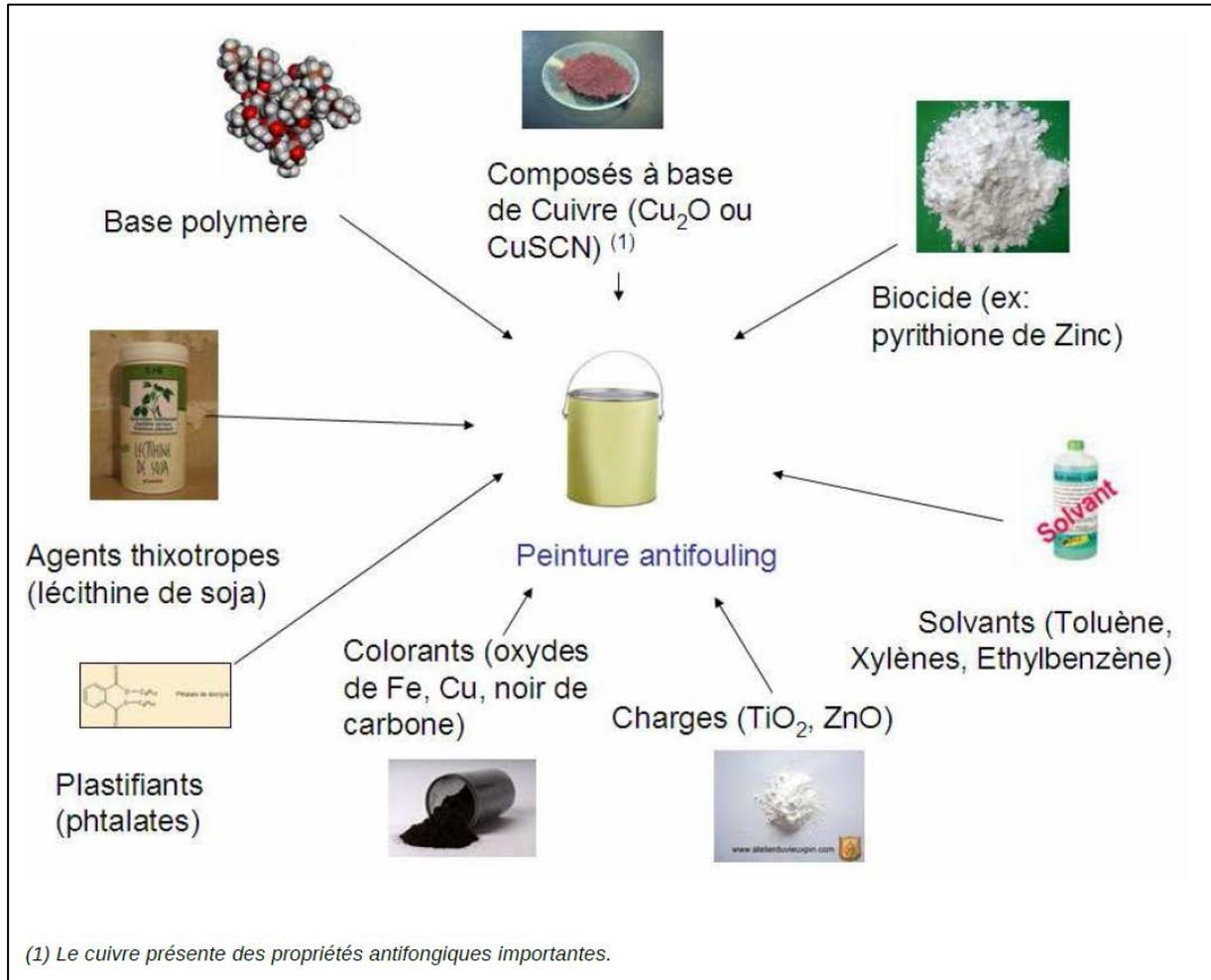


Figure 60 : Composition chimique des peintures antifouling (Droit et Besançon, 2018)

Des macro-déchets sont générés par les activités de carénage. On distingue les déchets industriels spéciaux (DIS) : chiffons ou emballages souillés, solvants, particules de peintures, particules abrasives, et les macro-déchets biologiques (Figure 61). Ces derniers sont associés aux coquillages, aux algues et aux autres organismes retirés de la carène au nettoyeur haute-pression (Figure 62). Ces déchets biologiques sont mélangés avec une couche de peinture. A ce titre, ils sont aussi considérés comme des déchets industriels spéciaux. En l'absence de mise à disposition de bacs de récupération des déchets sur les aires ou cales de carénage, ces derniers, s'ils sont rejetés en mer, peuvent avoir un impact important sur les écosystèmes marins.



Figure 61 : Déchets dangereux issus de l'activité de carénage (Droit et Besançon, 2018)

La phase de sablage, qui consiste à nettoyer la coque en utilisant un abrasif projeté à grande vitesse génère également de grandes quantités de déchets. En l'absence de traitement, les matériaux de sablage se retrouvent au sol, mêlés aux copeaux de peintures et peuvent, s'ils ne sont pas ramassés, se retrouver dans le milieu marin par lessivage de l'aire. Cela provoque à la fois un relargage de matières en suspension ainsi qu'un apport de contaminants chimiques.



Figure 62 : Salissures marines issues du carénage (Droit et Besançon, 2018)

Les dispositifs de traitement liés à l'activité des aires de carénage s'inscrit dans l'application de la section 6 du code de l'environnement et de son article L 216-6 qui stipule que « *Le fait de jeter, déverser ou laisser écouler dans les eaux superficielles, souterraines ou les eaux de la mer dans la limite des eaux territoriales, directement ou indirectement, une ou des substances quelconques dont l'action ou les réactions entraînent, même provisoirement, des effets nuisibles sur la santé ou des dommages à la flore ou à la faune, ou des modifications significatives du régime normal d'alimentation en eau ou des limitations d'usage des zones de baignade, est puni de deux ans d'emprisonnement et de 75 000 euros d'amende* ».



En complément, le code des ports maritimes, via les articles R 322-1 et R 353-4 du livre III du code des ports maritimes (Décret n° 93-726 du 29 mars 1993), indiquent que « *Nul ne peut porter atteinte au bon état des ports et havres tant dans leur profondeur et netteté que dans leurs installations* ». « *Sont punis, les infractions concernant le non-respect des emplacements prévus pour l'évacuation des résidus et des déchets* ». Enfin, il est important de préciser que les sédiments issus des dragages portuaires ne peuvent pas être rejetés en mer s'ils sont contaminés par des métaux lourds. Ils doivent être retraités à terre.

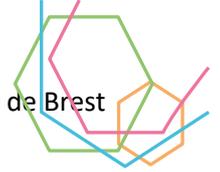
Réglementairement, les opérations de carénage réalisées sans récupération des effluents et entraînant un rejet direct de ces derniers dans l'environnement est interdit. Cependant, les opérations de carénage ne sont pas toujours réalisées au niveau de sites dédiés et équipés de systèmes de récupération et de traitement des effluents (ex : domicile des plaisanciers, estran à l'échouage ou sur béquilles, sur une cale équipée ou non d'un système de traitement, sur une aire équipée ou non d'un système de traitement, sur un ponton équipé ou non d'un système de traitement, à flot, par des stations de lavage ou des robots immergés).

Les aires ou cales de carénage doivent être équipées de systèmes de collecte des effluents souillés. Les effluents souillés doivent être ensuite traités avant d'être rejetés dans le milieu naturel, le réseau d'eaux pluviales ou celui des eaux usées. Ils sont parfois réutilisés pour le lavage des bateaux (installation en circuit fermé).

Les cuves de stockage concernent les petits chantiers de carénage. Le principe consiste à stocker les eaux usées avant traitement. Les cuves doivent permettre une autonomie des chantiers d'au moins une semaine en période de pointe. D'après l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, elles ont un volume maximal de 10 m³ en raison du foncier limité de ces très petites entreprises. À défaut de couvrir le chantier de carénage, un système de by-pass doit être mis en place de façon à ne pas collecter les eaux pluviales. Les effluents peuvent ensuite être enlevés en tant que déchets dangereux, ou traités par une unité de traitement mobile. Dans ce cas, un système de prétraitement de type débourbeur - décanteur lamellaire/déshuileur est souvent installé en amont de la cuve de stockage. Ce système permet d'éviter la collecte de boues au fond de la cuve de stockage, et d'éviter la réduction de capacité de stockage et de ne pas perturber le traitement mobile. La filière mobile consiste à traiter les effluents par une unité d'ultrafiltration, ce qui permet de retenir la pollution métallique.

Les filières exhaustives de traitement sont composées de trois installations : (1) **Un dégrilleur**, qui permet de collecter les macrodéchets ; (2) **Un système de prétraitement** composé d'un média filtrant dit « Big Bag ». Il s'agit d'un sac permettant de filtrer les particules en suspension supérieures à 25-30 µm. Un décanteur lamellaire, qui être complété par un filtre oléophile de façon à retenir la matière non miscible dans l'eau. Une centrifugeuse et des filtres coton. La centrifugation à 8000 tours/minute permet de séparer les boues de l'eau, tandis que les filtres en coton permettent d'éliminer plus de 90 % des MES ; (3) **Un système de traitement** composé d'un-lit de charbon actif, qui permet l'adsorption des substances organiques hydrophobes, des matières oxydantes (comme le chlore et l'ozone), et de certains métaux lourds. Un substrat zéolithe (structure minérale microporeuse d'origine volcanique) qui est utilisé pour retenir la pollution bactériologique et les métaux. Les rendements épuratoires de ce type de traitement pour les différents paramètres mesurés, particulaires et dissous, sont au minimum de 80 %.

L'AELEB (2014) recommande la filière exhaustive composée avec (Figure 63) : (1) **Un dégrilleur** à fonctionnement gravitaire pour la récupération des macrodéchets ; (2) **Un système de prétraitement** muni d'un débourbeur/décanteur/déshuileur/ et filtre coalesceur à fonctionnement gravitaire. Ce système vise à récupérer des boues de carénage et à réduire la concentration en matières en suspension (MES), hydrocarbures et huiles ; (3) **Un système de traitement** composé d'une unité



d'ultrafiltration. Il est équipé de membranes céramiques permettant de retenir les MES résiduelles, la pollution bactériologique et les métaux. Son fonctionnement est asservi à une pompe de relevage (non gravitaire) ; (4) **Un second système de traitement** composé d'un filtre à charbon actif, pour éliminer les micropolluants organiques.

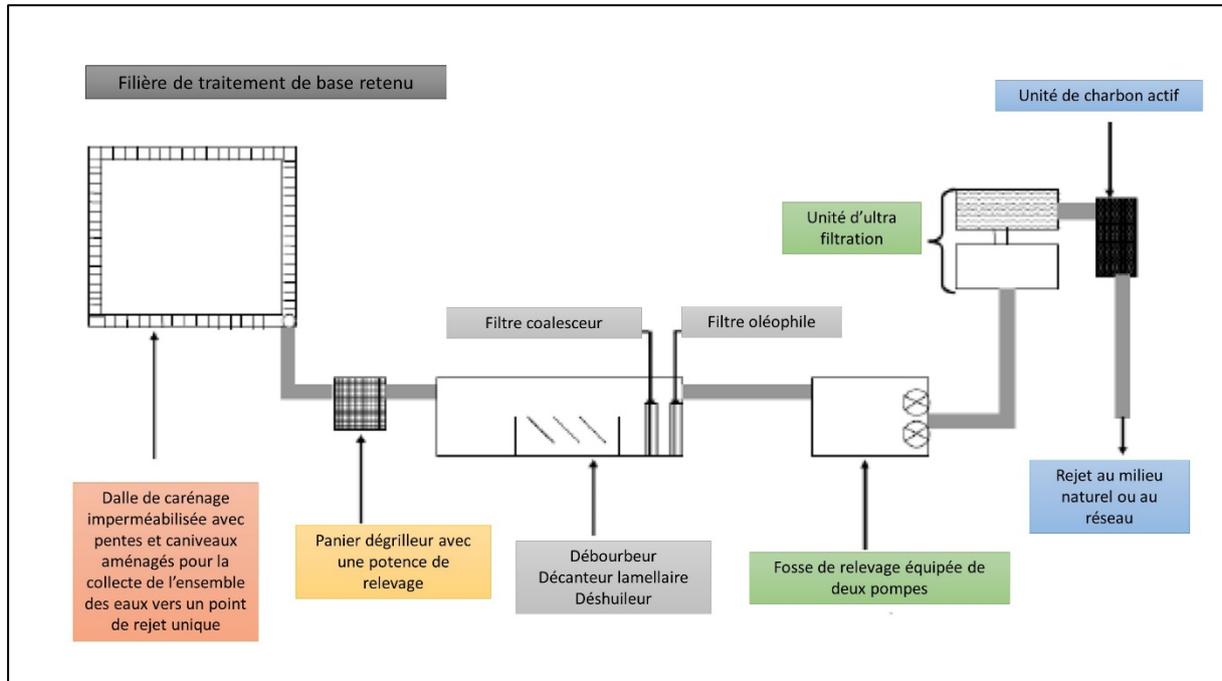


Figure 63 : Filière de traitement de base préconisée par l'AELB (Droit et Besançon, 2008, modifié)

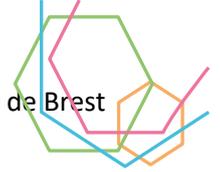
Le label 'Vague bleue' vise à mettre en valeur les pratiques vertueuses en matière de carénage. L'obtention de ce label suit plusieurs étapes comme (1) la déclaration de chantier auprès de la DDTM, (2) la réalisation d'une étude environnementale complète, (3) la réalisation des travaux, (4) la promotion de l'entreprise qui réalise ces travaux ; (5) la déclaration au services de l'Etat.

Les normes de rejet pour les aires de carénage concernent plusieurs paramètres physico-chimiques, pour certains métaux, pesticides, solvants, etc. (Tableau 11).



| Paramètres | Unités | Valeurs de référence |
|---------------------------|------------|----------------------|
| Coloration | mg/L Pt-Co | 100 |
| MES | mg/L | 100 |
| DCO | mg O2/L | 100 |
| DBO5 | mg O2/L | 100 |
| NTK | mg/L | - |
| Hydrocarbures | mg/L | 10 |
| Aluminium | µg/L | 5000 |
| Arsenic | µg/L | 50 |
| Plomb | µg/L | 500 |
| Zinc | µg/L | 2000 |
| Nickel | µg/L | 500 |
| Cadmium | µg/L | - |
| Cuivre | µg/L | 500 |
| Chrome | µg/L | 100 |
| Fer | µg/L | 5000 |
| Manganèse | µg/L | 1000 |
| Etain | µg/L | 2000 |
| Mercure | µg/L | - |
| TBT | ng/L | 1500 |
| Atrazine | µg/L | 2.5 |
| Diuron | µg/L | |
| Isoproturon | µg/L | |
| Simazine | µg/L | |
| Hexachlorobutadiène | µg/L | 2.5 |
| Chloroforme | µg/L | 2.5 |
| Tetrachlorure de carbone | µg/L | 2.5 |
| Chloroprène | µg/L | 2.5 |
| 3-chloroprène | µg/L | 2.5 |
| 1,1-dichloroéthane | µg/L | 2.5 |
| 1,2-dichloroéthane | µg/L | 2.5 |
| 1,1-dichloroéthylène | µg/L | 2.5 |
| 1,2-dichloroéthylène | µg/L | 2.5 |
| Trichloroéthylène | µg/L | 2.5 |
| Hexachloroéthane | µg/L | 2.5 |
| 1,1,2,2-tetrachloroéthane | µg/L | 2.5 |
| Tetrachloroéthylène | µg/L | 2.5 |
| 1,1,1-trichloroéthane | µg/L | 2.5 |
| 1,1,2-trichloroéthane | µg/L | 2.5 |
| Chlorure de vinyle | µg/L | 2.5 |
| Dichlorométane | µg/L | 2.5 |
| AOX | mg/L | - |
| Matières inhibitrices | équitox/m3 | - |

Tableau 11 : Valeurs guide de rejet dans le milieu récepteur pour les différents paramètres (Arrêté du 2 février 1998 dans l'annexe 3 des audits de chantiers de carénage de bateaux de plaisance – version 4 du 01/03/2012 – AELB)



Sur le secteur de la rade de ses bassins versants, quatre aires et cales de carénage labélisées Vague Bleue par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne sont recensées par la DDTM du Finistère en 2021 (Figure 64).

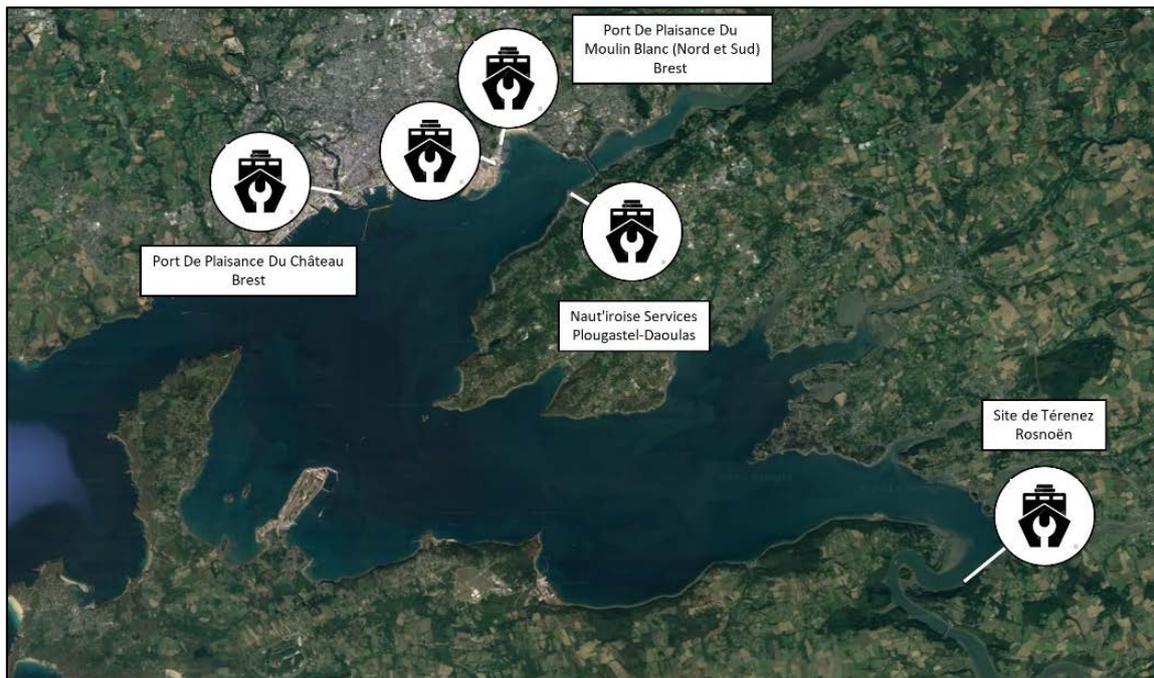


Figure 64 : Localisation des aires et cales de carénage en rade de Brest.

➤ **Le port de plaisance du Moulin Blanc** comprend une cale de carénage (au Nord, qui comprend deux secteurs dédiés) et une aire de carénage (Sud, Figure 65). Les deux unités de traitement sont équipées de manière identique. La filière de traitement est schématisée en Figure 66. Elle comprend un déversoir triangulaire avec mesure de débit, un décanteur lamellaire particulière, un hydro-filtre bi-étage à vocation d'adsorption des pollutions dissoutes, métaux lourds et pesticides, un filtre à sable SIMPLEX multicouches, et un système de traitement tertiaire du TBT (Figure 66). Environ 500 bateaux sont carénés à Moulin Blanc chaque année. En 2019, la marina du Moulin Blanc, ainsi que celle du Château, ont obtenu la certification européenne « Ports propres » et ont reçu le label complémentaire « actif en biodiversité ». Ce label, spécifiquement pensé pour les ports de plaisance, récompense leur engagement en faveur de leur environnement. Il s'agit d'une démarche volontaire des marinas de Brest, appréciée des plaisanciers qui sont de plus en plus nombreux à vouloir pratiquer une activité respectueuse de l'océan.



Figure 65 : Localisation de la cale de carénage (Nord) et de l'aire de carénage (Sud) au port de plaisance du Moulin Blanc (Brest).

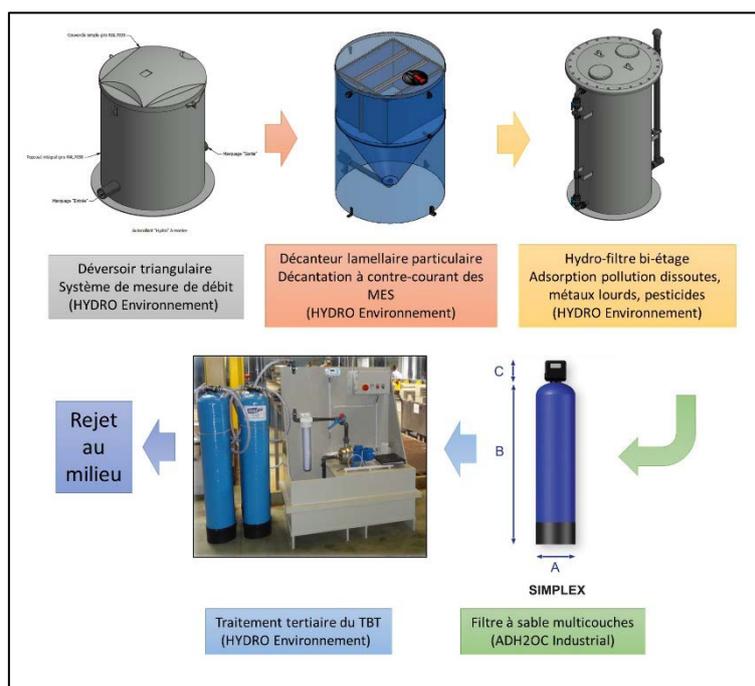
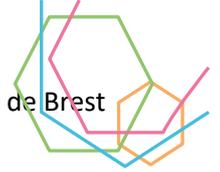


Figure 66 : Equipement de traitement de l'eau issue des opérations de carénage sur les deux sites du Port de Moulin Blanc (compilé d'après HYDRO Environnement, 2015, 2018a, b ; ADH2OC, 2018)

- **Le Port du Château** est équipé d'une unité de traitement pour la station de carénage (Figure 67). Celle-ci est constituée (1) d'un décanteur –débourbeur ayant pour but d'éliminer une partie des matières en suspension ; (2) d'un filtre dit «filtre BIG-BAG» situé dans la fosse de réception. Le seuil de filtration de ce filtre est de 80 microns ; (3) d'un pré filtre à cartouche en acier inoxydable de 316 L et équipé de 10 cartouches de 20 pouces à seuil d'un micron en polypropylène pur ; (4) d'un filtre séparateur hydrocarbure en acier inoxydable de 316L. Le filtre séparateur est équipé au moyen d'une vanne manuelle en point haut du corps de filtre pour évacuation des hydrocarbures séparés, et d'une vanne de vidange. Les hydrocarbures séparés sont stockés en partie haute du



séparateur d'hydrocarbures ; (5) d'un filtre à cartouche de charbon actif an acier inoxydable d'une capacité de 316 L et équipé 10 cartouches de 20 pouces de charbon actif haute performance. Le carénage d'environ 200 bateaux est effectué sur l'aire de carénage du Port du Château chaque année (Com. pers. exploitant).



Figure 67 : Synthèse de la filière de traitement de la station de carénage du Port du Château à Brest (Kerlan Industrie, sd)

- **La société Naut'Iroise Services, à Plougastel Daoulas** est spécialisée dans l'hivernage, la réparation et l'entretien de bateaux. De par son activité et au vu de l'évolution réglementaire, l'entreprise s'est dotée d'une aire de carénage et d'une filière de traitement permettant de traiter les eaux de carénage avant leur rejet dans le milieu naturel (Figure 68). L'installation de traitement est conçue par Névez Marine Service, le modèle mis en place est le DOUR 180. L'ensemble de la filière de traitement est conçu dans un caisson galvanisé qui comprend un système centrifuge qui transmet l'effluent à une série de filtres intégrés dans une cuve inoxydable. Une deuxième étape de filtration sur charbon actif permet de compléter le traitement avant rejet au milieu (Figure 68). Le carénage d'environ 80 bateaux est effectué sur l'aire de carénage de Plougastel-Daoulas chaque année (Com. pers. exploitant).

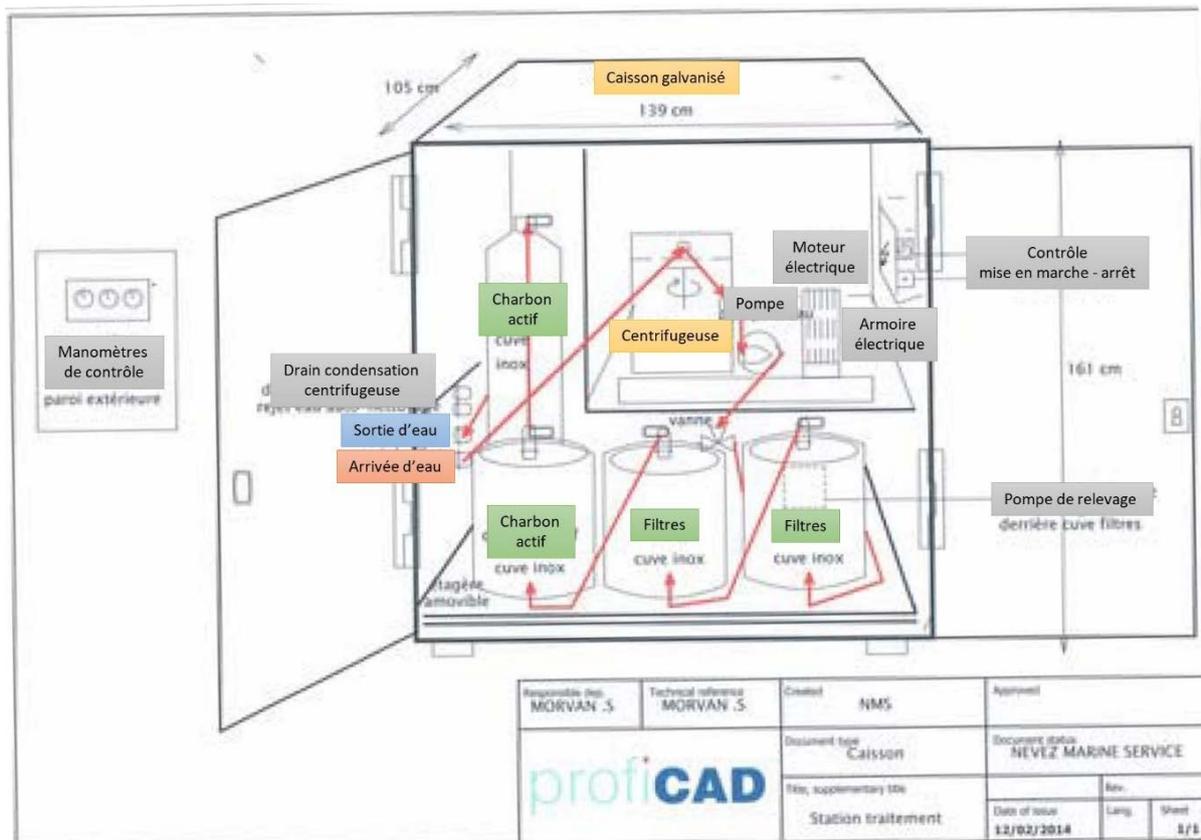
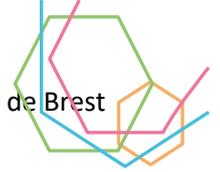


Figure 68 : Schéma de la station de dépollution utilisée à Plougastel-Daoulas (Morvan, 2014 dans Duvail et Moreau-Haug, 2017, modifié).

Le bilan d'efficacité du traitement à fait l'objet d'une évaluation (Duvail et Moreau-Haug, 2017). Les résultats de cette évaluation montrent un léger dépassement de valeurs de référence du pH dans les eaux rejetées (9.1 contre 7-9 pour les valeurs de référence, voir Tableau 11). Tous les autres paramètres se situent bien en dessous des valeurs de l'arrêté du 2 février 1998.

- **L'aire de carénage de Térenez à Rosnoën** est équipée d'une aire de carénage. La filière de traitement est enterrée (Figure 69). Elle est constituée (de gauche vers la droite en Figure 69) d'une arrivée des eaux brutes en provenance de l'aire de carénage, d'un ouvrage de traitement de 15m³ muni de filtres à sable (ouvrage central en Figure 69) puis d'un relevage vers une filtration sur charbon actif (filtres ADH2OC). Malgré la mise à disposition de cette installation de traitement, aucun plaisancier ne fait le carénage de son bateau sur cette aire de Térenez (Com. pers. de l'exploitant).

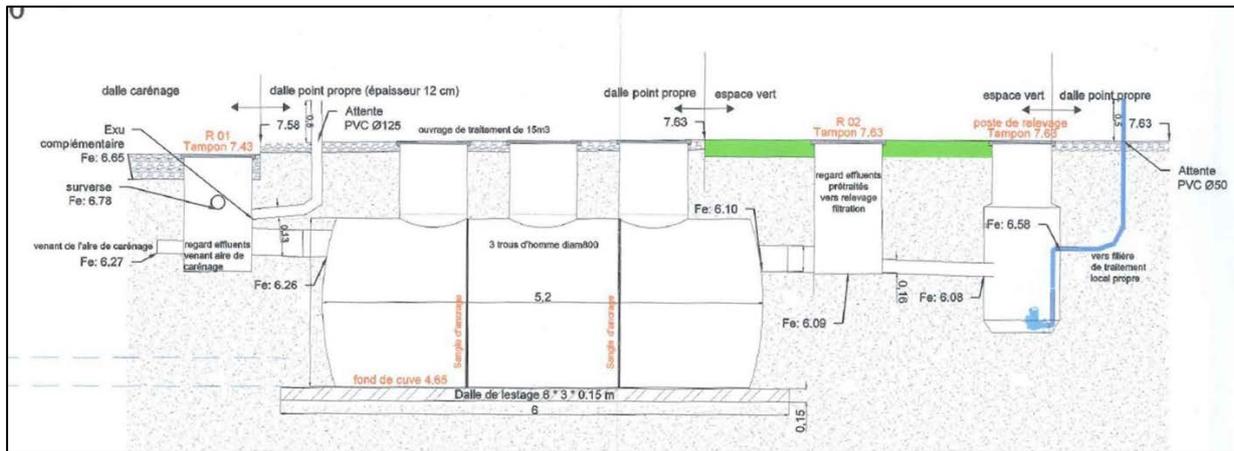


Figure 69 : Coupe longitudinale de fonctionnement de l'aire de carénage de Térenéz à Rosnoën. Les effluents à traiter proviennent de la partie gauche de la coupe, et le rejet au milieu s'effectue sur la droite de la coupe.

II.1.3.6.2. La réparation navale des navires de commerce

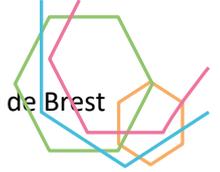
Les navires qui viennent en réparation navale sont des navires de commerce (transport de gaz liquéfié et pétroliers principalement) ou de passagers (ferries). Il y a environ 60 navires en réparation navale chaque année.

Le port de Brest est équipé de trois formes de radoub. La forme de radoub n°1 a fait l'objet d'importants travaux d'élargissement et de modernisation entre 2006 et 2009. Les formes n°2 et 3 reçoivent en moyenne 13 à 16 bateaux par an en moyenne (données 1993-2008, CCI, 2009, Figure 70). Les travaux de réparation navale en forme de radoub comprennent les activités suivantes :

- Lavage de la coque au jet haute pression ;
- Décapage de la carène par sablage ou décapage à l'eau à Ultra Haute Pression. L'abrasif de carénage utilisé par la réparation navale à Brest est du Rugos 2000 (cristaux de silicate d'aluminium provenant de cendres de centrale thermique distribué par SEMANAZ) contenant en majorité de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer ainsi que du potassium, de la chaux et du titane (CCI, 2009) ;
- Application des peintures anti-salissures à l'aide de jet haute pression ;

Les composés organostanniques utilisés pour le traitement antifouling des coques de bateau sont interdits en France depuis 1982 dans les peintures antisalissures pour les bateaux de moins de 25 m. Depuis 2003 (règlement européen n°782/20032), l'interdiction d'usage a été portée à tous les navires battant pavillon de l'UE (sauf Marine Nationale) avant que l'Organisation Maritime Internationale en 2008 proscrive tous les systèmes antisalissures susceptibles de libérer des composés organostanniques. Le règlement européen impose, à compter du 1^{er} juillet 2008, l'élimination de ces composés (sauf si un revêtement formant barrière en empêche la fuite).

L'armateur du navire choisit et fournit la peinture au chantier naval. Sur la période 2003-2013, aucune peinture ne contenant du TBT n'a été appliquée sur les navires en entretien à la SOBRENA, et sur la période 2004-2013, aucune peinture au TBT n'a été enlevée, à une exception près (CCI, 2009). Les peintures anti-salissures disponibles sur le marché sont constituées d'oxydes métalliques et divers sels métalliques et de pesticides organochlorés. Les dérivés du mercure et de l'arsenic ont été progressivement abandonnés au profit de l'oxyde cuivreux (Cu₂O). Les peintures à base de cuivre renferment en moyenne environ 40 % de Cu₂O mais certaines formulations particulièrement chargées peuvent en contenir jusqu'à 90 %. L'oxyde cuivreux présente l'inconvénient d'être une cause de corrosion importante lorsqu'il



est appliqué sur des coques métalliques. L'adjonction de certains sels de zinc, de plomb et d'aluminium tend à limiter ce phénomène.

La méthode d'application des peintures par l'ex-SOBRENA permet de limiter les pertes de peinture. Il est utilisé des sprays à air comprimé à haute pression, afin d'avoir des gouttelettes plus fines et mieux réparties. Cependant cette technique n'empêche pas le ré-envoi de micro-gouttes.

- Réparation de la carène (découpe, remplacement des tôles) ;
- Diverses opérations de maintenance à l'intérieur du bâtiment ;
- Maintenance des hélices et des appareils à gouverner.

Ces opérations sont réalisées par les entreprises utilisatrices de la forme (SOBRENA, DCNS, Entreprise François Meunier...).

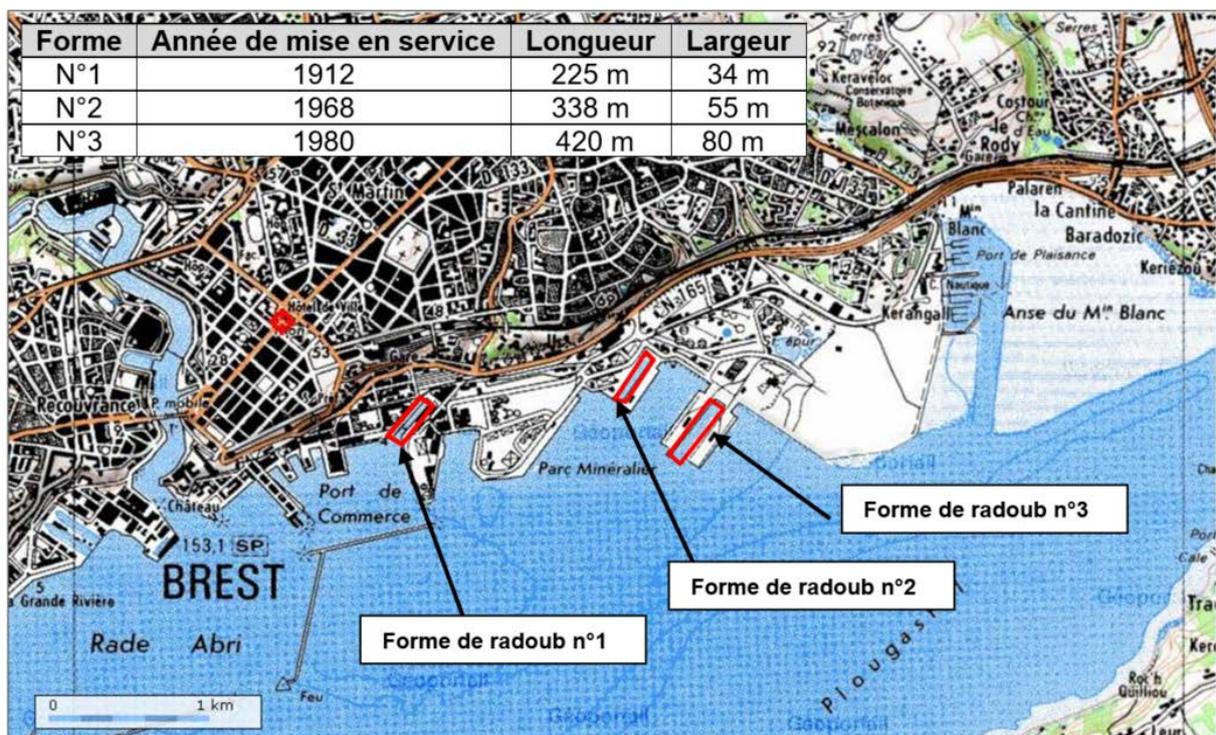


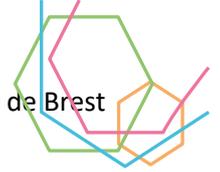
Figure 70 : Descriptif et localisation des formes de radoub dans le port de commerce (CCI, 2009)

Les eaux rejetées en rade de Brest depuis les formes de radoub sont constituées d'un mélange :

- D'eau de mer qui s'infiltrent au niveau de la porte, des parois ou de fond du bassin durant les opérations de réparation navale. Il s'agit de l'entrée majoritaire de la forme ;
- D'eau de pluie ;
- D'eaux de ballast du navire (le bateau vide ses ballasts dans la forme lorsqu'il est posé sur les tins) ;
- D'effluents de carénage (eaux de lavage des coques et sable contenant des résidus de peinture, peintures).

Les travaux d'élargissement de la **forme n°1** ont permis la réfection du radier avec la mise en place de 2 caniveaux distincts :

- L'un positionné sur l'extérieur récupère les eaux propres d'infiltration,



- Celui placé à l'intérieur récupère les eaux potentiellement souillées autour du navire (eaux de ruissellement, effluents de carénage, eaux de rinçage du fond de forme réalisé à la fin des opérations de carénage). Ce caniveau à fente dispose en plus de 13 bâches de sable permettant une récupération du sable de carénage. Les bâches à sable sont vidangées tous les 6 mois par la CCI.

Les eaux des 2 caniveaux s'écoulent dans des fosses de relevage des eaux. Les eaux propres d'infiltration sont évacuées en rade de Brest par le circuit d'assèchement de la forme. Les eaux chargées sont quant à elles relevées vers l'unité de traitement installée sur les quais (stockage tampon/unité de traitement/unité de séchage des boues).

Pour les formes n°2 et 3 le caniveau est unique, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de séparation des eaux propres d'infiltration depuis les parois et les eaux souillées. Des pièges à sable permettent cependant de retenir les particules avant que ces eaux ne rejoignent les eaux d'infiltration du bateau porte et les pompes d'assèchement. Sur la forme n°3, deux fosses de décantation munies de déflecteurs (dispositif permettant de bloquer les surnageants) sont disposées en sortie des pièges à sable et avant la galerie d'assèchement. Pendant les travaux de sablage, les caniveaux sont recouverts afin que le sable ne puisse s'y écouler. Les eaux collectées par les caniveaux rejoignent les aqueducs souterrains et se mélangent avec les eaux d'infiltration du bateau porte. Des pompes d'assèchement rejettent ensuite ces eaux en rade. Le nettoyage pendant l'occupation des formes est assuré par les usagers qui sont tenus d'évacuer quotidiennement les matières provenant du grattage et du sablage des carènes. Après chaque carénage, le fond des formes est systématiquement nettoyé par l'ex-SOBRENA (raclage au godet des sables de carénage usagés et passage d'une balayeuse). Les sables récupérés sont ensuite envoyés en CSDU. Sur la forme n°1, un nettoyage du fond de forme à la lance à incendie est réalisé par l'utilisateur à la fin des opérations de carénage afin de diriger vers les caniveaux tous les débris irrécupérables par engins.

Afin de caractériser la nature des rejets des formes 2 et 3 (la forme 1 était en rénovation au moment de la campagne) vers la rade de Brest, une campagne de prélèvements et d'analyses a été réalisée en 2007 et 2008 par SOCOTEC INDUSTRIES (CCI, 2009). Les échantillons ont été prélevés sur les eaux d'assèchement de la forme au niveau du refoulement d'une pompe d'assèchement. Certains échantillons ont fait l'objet d'un prélèvement en simultané dans le caniveau de collecte des eaux de la forme. Les prélèvements ont été conduits pendant les opérations de lavage, sablage ou de peinture entreprises sur un minimum de trois navires. Les résultats obtenus au niveau des pompes sont les suivants (Tableau 12).

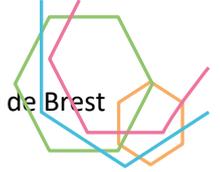


| FORME N°2 | | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------|----------------------|
| Substances | Nombre d'échantillons | Fréquence de quantification | Concentration maximale mesurée | unité | Flux journalier (kg) |
| Indice hydrocarbures | 5 | 0 % | <0,50 | mg/l | - |
| AOX | 5 | 100 % | 1,50 | mg/l | 6,48 |
| Arsenic | 5 | 20 % | 0,02 | mg/l | - |
| Cadmium | 5 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Chrome | 5 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Cuivre | 5 | 100 % | 0,23 | mg/l | 0,99 |
| Nickel | 5 | 20 % | 0,05 | mg/l | - |
| Plomb | 5 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Zinc | 5 | 80 % | 0,21 | mg/l | 0,22 |
| Mercuré | 5 | 0 % | <0,50 | µg/l | - |
| FORME N°3 | | | | | |
| Substances | Nombre d'échantillons | Fréquence de quantification | Concentration maximale mesurée | unité | Flux journalier (kg) |
| Indice hydrocarbure | 4 | 0 % | <0,50 | mg/l | - |
| AOX | 4 | 100 % | 0,89 | mg/l | 5,64 |
| Arsenic | 4 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Cadmium | 4 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Chrome | 4 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Cuivre | 4 | 100 % | 0,16 | mg/l | 0,48 |
| Nickel | 4 | 25 % | 0,01 | mg/l | - |
| Plomb | 4 | 0 % | <0,01 | mg/l | - |
| Zinc | 4 | 50 % | 0,49 | mg/l | 0,48 |
| Mercuré | 4 | 0 % | <0,50 | µg/l | - |

Tableau 12 : Extrait des résultats d'analyses sur les effluents de carénage des formes n°2 et n°3 (CCI, 2009)

Les analyses et les calculs de flux donnent des valeurs très faibles pour les prélèvements réalisés au niveau des rejets des pompes. Ces valeurs très faibles sont dues à une dilution très importante par les eaux d'infiltration notamment au niveau de la porte. Cette dilution est telle que beaucoup de paramètres analysés restent sous le seuil de quantification (indice hydrocarbures, Cd, Cr, Pb, Hg). Malgré cette dilution, certains composés présents dans les peintures ressortent quasi systématiquement des analyses : il s'agit des **AOX (Organo Halogénés Absorbables), du cuivre, du nickel et du zinc.**

Les analyses réalisées directement à l'exutoire des caniveaux (Tableau 13) montrent des teneurs supérieures (facteur 2 pour le cuivre notamment) à celles obtenues au niveau de la pompe, ce qui atteste bien de l'importance de la dilution par les eaux d'infiltration (NB : les caniveaux collectent également des eaux d'infiltration depuis les parois et le fond du bassin mais la dilution est plus limitée) :



| Substances | Caniveau Forme n°2 | Caniveau Forme n°3 | unité |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Indice hydrocarbure | <0,50 | 1,03 | mg/l |
| AOX | 0,86 | 0,97 | mg/l |
| Arsenic | <0,01 | <0,01 | mg/l |
| Cadmium | <0,01 | <0,01 | mg/l |
| Chrome | <0,01 | <0,01 | mg/l |
| Cuivre | 3,94 | 0,52 | mg/l |
| Nickel | 0,01 | <0,01 | mg/l |
| Plomb | 0,01 | 0,02 | mg/l |
| Zinc | 0,96 | 0,26 | mg/l |
| Mercure | <0,50 | <0,50 | µg/l |

Tableau 13 : Extrait des résultats d'analyses obtenus directement à l'exutoire des caniveaux des formes de radoub n°1 et 2

Les analyses ne permettent pas de mettre en évidence de différence significative sur les rejets entre les différentes phases d'activités (lavage, sablage, peinture). Ceci peut s'expliquer par les infiltrations importantes d'eau ainsi que le volume important de la galerie de pompage qui ont pour conséquence d'homogénéiser les rejets.

La station de déballastage (Figure 71) actuelle a été construite par l'Etat à la fin des années 1970 lors de la construction de la forme de radoub n°3.

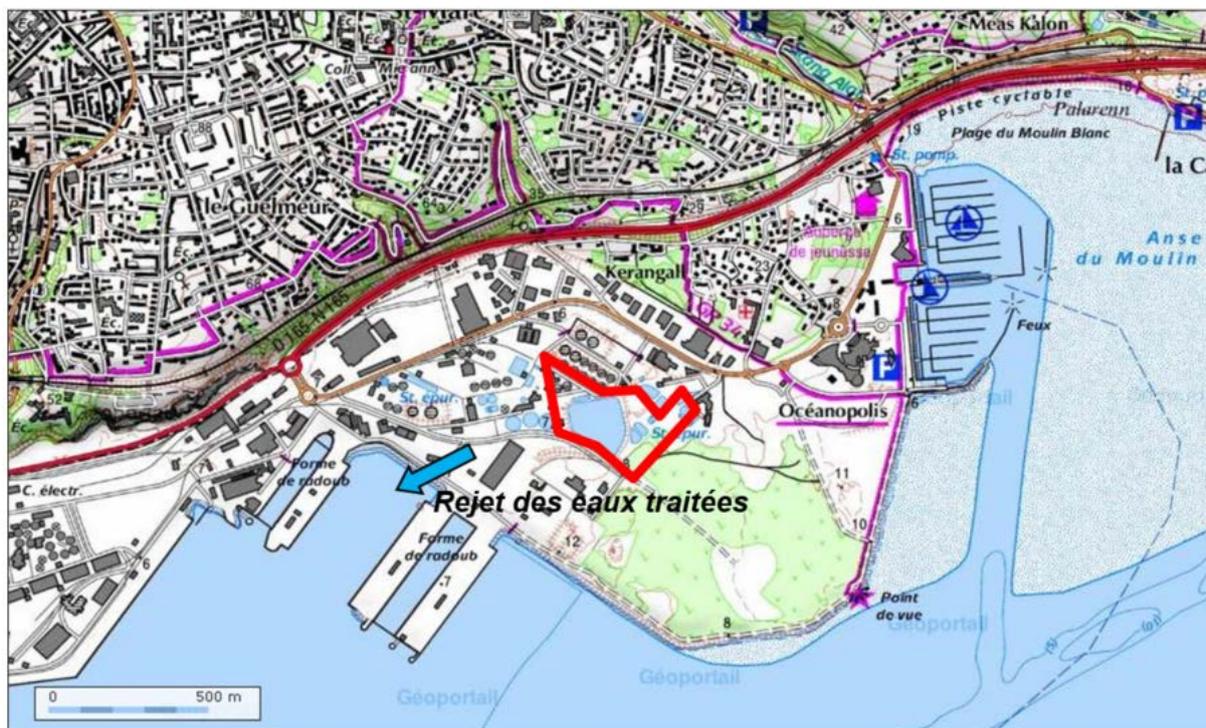


Figure 71 : Localisation de la station de déballastage de Brest et son point de rejet en rade de Brest

La station de déballastage permet de récupérer les eaux de rinçage des cuves de cargaison des pétroliers (Figure 72). Cette opération de déballastage est nécessaire pour effectuer l'opération de dégazage permettant de récupérer l'ensemble du pétrole contenu dans les navires avant de procéder



aux travaux d'entretien. Elle permet de recevoir également les eaux de lavage des compartiments machines des navires en escale à Brest, via des camions-citernes.

Depuis sa création, cette station a connu plusieurs modifications de sa file de traitement. Les étapes du traitement actuel sont schématisées ci-après.

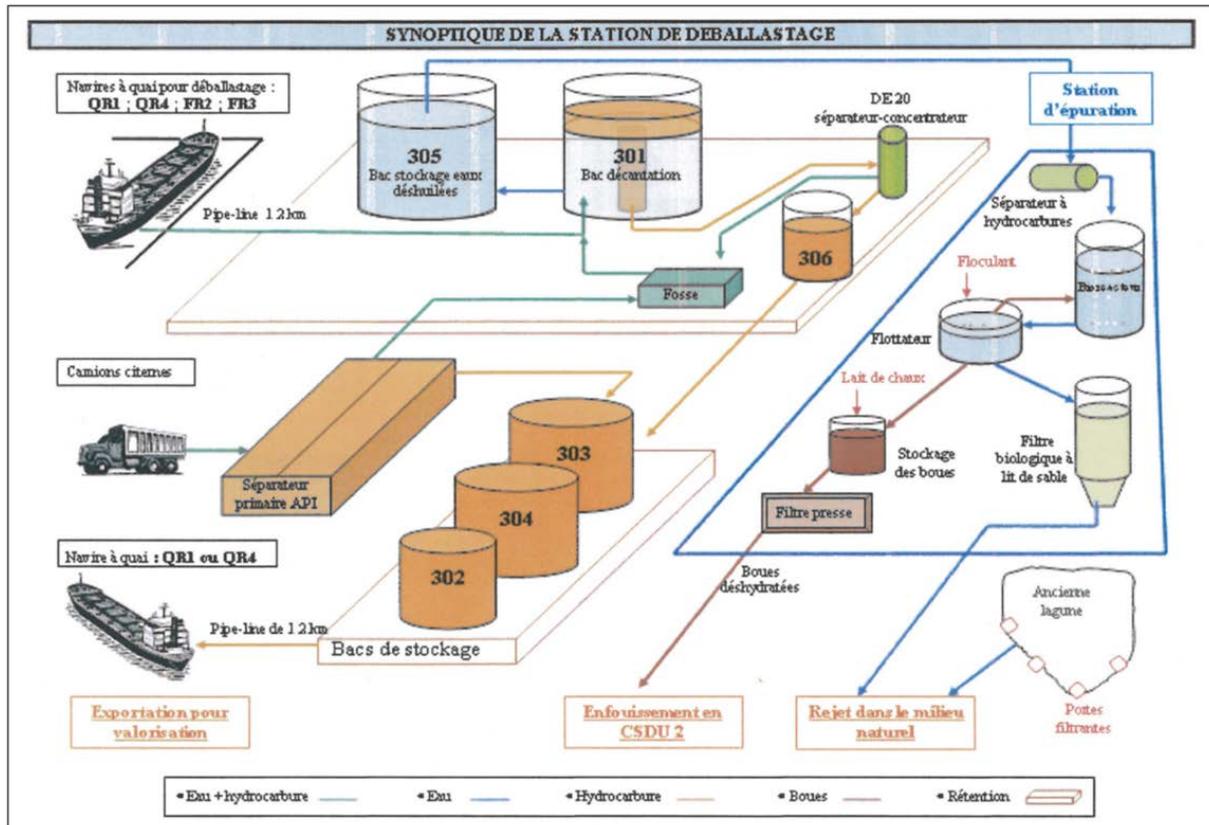


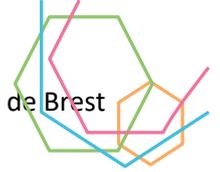
Figure 72 : Synoptique de la station de déballastage (CCI, 2006)

Les effluents de la station de déballastage sont rejetés en rade de Brest, entre les deux formes de Radoub n° 2 et 3. Ces effluents comprennent les eaux traitées de la station d'épuration ainsi que les eaux de l'ancienne lagune réhabilitée en 2001. Le volume d'eau rejetée est de l'ordre de 17 000 m³/an (données 2008-2009, CCI Brest). Le tableau suivant (Tableau 14) indique les charges rejetées en 2008 et 2009 par la station de déballastage (CCI Brest).

| trimestre | année | Volumé rejeté m3 | nombre de jours | MES | | COT | | Indices phénol | | Hydrocarbures* |
|--|-------|------------------|-----------------|------------|-----------|------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| | | | | flux moyen | flux max | flux moyen | flux max | flux moyen | flux max | |
| trimestre 1 | 2008 | 0 | 0 | | | | | | | |
| trimestre 2 | 2008 | 4310 | 38 | 5.62 | 9.75 | 6.76 | 26.88 | 0.1 | 0.14 | |
| trimestre 3 | 2008 | 5394 | 54 | 4.3 | 9.39 | 4.58 | 9.39 | 0.08 | 0.1 | |
| trimestre 4 | 2008 | 6307 | 63 | 5.91 | 7.51 | 7.61 | 9.41 | 0.08 | 0.17 | |
| Seuil autorisé | | | | 14,4 kg/j | 14,4 kg/j | 19,2 kg/j | 19,2 kg/j | 0,14 kg/j | 0,14 kg/j | 10 mg/l |
| charge annuelle rejetée en rade de Brest | | | | 820 kg | | 986 kg | | 13 kg | | - |
| trimestre 1 | 2009 | 6230 | 60 | 4.22 | 6.5 | 6.92 | 15.6 | 0.2 | 0.35 | |
| trimestre 2 | 2009 | 6109 | 56 | 5.81 | 15.26 | 3 | 3.43 | 0.06 | 0.17 | |
| trimestre 3 | 2009 | 3671 | 32 | 2.94 | 9.46 | 27.28 | 53.35 | 0.02 | 0.03 | |
| trimestre 4 | 2009 | 2246 | 31 | 1.91 | 3.24 | 14.21 | 24.7 | 0.01 | 0.01 | |
| Seuil autorisé | | | | 14,4 kg/j | 14,4 kg/j | 19,2 kg/j | 19,2 kg/j | 0,14 kg/j | 0,14 kg/j | 10 mg/l |
| charge annuelle rejetée en rade de Brest | | | | 714 kg | | 2080 kg | | 15 kg | | - |

Tableau 14 : Charges rejetées en 2008 et 2009 par la station de déballastage. *analyse en continu (NFT 90 114) Pas de rejet si la concentration est supérieure à 8 mg/l

II.1.3.6.3. Stationnement et entretien des navires militaires



Les navires de la marine sont raccordés au réseaux d'eaux usées de la base navale de Brest, via un système de collecte installé sur les pontons. En cas de problème technique (avarie pompe de relevage...), des citernes de collecte sont mises à disposition. Les données qui suivent sont extraites d'un rapport de 2013 (Gahagnon et al., 2013). Trois zones d'activité caractérisent la base navale de Brest :

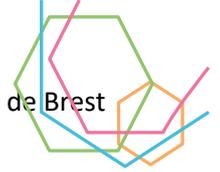


Figure 73 : Cartographie des bassins quais et épis pour porte-avions le long de la Penfeld et dans la rade abri.

➤ A l'est en bordure de la Penfeld, le terre-plein du Château où se situe la préfecture maritime au sein de laquelle est conduite l'ensemble des opérations maritimes de défense et de l'action de l'État en mer (Figure 73) ;

➤ Une partie centrale, autour des quais industriels (quai d'armement et quai oblique), des bassins de la zone de la Pointe et de la Penfeld, dédiée à l'entretien des bâtiments. La base navale compte 9 bassins, pour la plupart construits dans l'estuaire de Penfeld :

- Au niveau du Salou, en amont du pont de l'Harteloire : bassins n° 4, 6 et 7. Étant l'une des plus grandes formes de l'arsenal, le bassin n°4 a servi à la fois à la construction et à l'armement de navires militaires (construction et armement du Dunkerque et du Richelieu), mais également à la construction d'ouvrages plus originaux comme la travée mobile du pont de Recouvrance en 1954 ou au démantèlement de navire civil (Winner, navire battant pavillon cambodgien arraisonné par la Marine au large du Sénégal en 2002) ;
- Dans l'anse de Pontaniou, les bassins n°2 et 3 entièrement rénovés en 2004-2007. Ces bassins disposent dorénavant d'une installation de traitement des effluents de carénage. Les flux d'effluents de fond de bassin ont été séparés des flux de collecte des eaux claires issues des



infiltrations des portes et du drainage des radiers d'entrée. Les flux d'effluents de fond de bassin sont recueillis par un dispositif de pompage spécifique et renvoyés dans une station d'épuration enterrée à la tête des bassins. Le traitement est réalisé par un déboureur statique avec un module de décantation particulaire dimensionné pour un débit de 150 m³/h. Les effluents sont ensuite rejetés vers l'aqueduc de refoulement (DDTM) ;

- Le bassin n°1, seule forme située en rive gauche de la Penfeld ;
- Les bassins de Lannion du côté de la rade abri : bassins n°8 (dans lequel a été construit le Charles de Gaulle 1989-1994), n°9 et 10.
- Les deux quais, quai d'armement et quai oblique, servent à la finition avant neuvage des navires construits à Brest (dernièrement, le Mistral et le Tonnerre), à l'amarrage des grandes unités de la Marine nationale, et à l'entretien à flot de tout type de navire. Depuis 2004, plus aucun bâtiment de la Marine nationale n'est peint avec une peinture au TBT (LASEM/LCA, 2005). Les décisions prises par la Marine nationale dans le cadre du Contrat de Baie de la rade de Brest et de la mise en place d'une politique de protection de l'environnement avaient déjà permis de réduire significativement les surfaces de carènes traitées avec des peintures au TBT, depuis 1996 (Figure 74).

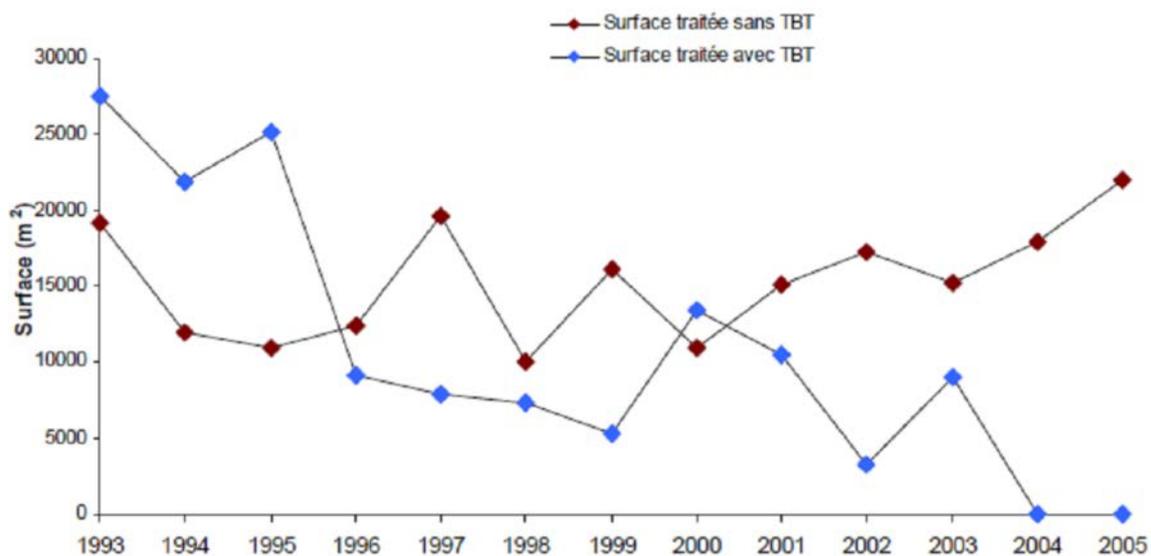
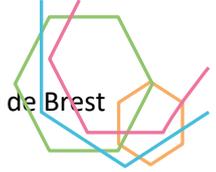


Figure 74 : Evolution des surfaces de carènes traitées par le service Peinture de DCN Services Brest sur la période 1993-2005 (LASEM/LCA, 2005).

- A l'ouest, un espace dévolu au stationnement des bâtiments (quais des flottilles et des épis Porte-avions) au soutien et à l'entraînement des forces. Bordé de 8 lignes de pontons lancées perpendiculairement à la magistrale du quai, le quai des flottilles est la zone privilégiée pour l'accostage des unités de la Marine nationale basées à Brest (en particulier, chasseurs de mines, avisos, bâtiments-école...). Deux lignes de pontons, parallèles, sont embossées devant la base sous-marine et ont un rôle similaire. Port d'entretien et d'escale pour les bâtiments militaires français à propulsion nucléaire tels que les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (sous-marin nucléaire lanceur d'engins) et le porte-avion Charles de Gaulle, la base navale comprend également deux sites particuliers et protégés permettant l'entretien majeur et la maintenance des équipements des bâtiments à propulsion nucléaire (rechargement du cœur en éléments combustibles neufs). Enfin, des postes aménagés accueillent sur la rive de gauche

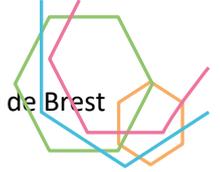


de la Penfeld, en aval du pont de Recouvrance, les vieux gréements de la marine, la batellerie du port et les transrades assurant les services entre Brest et l'île Longue et Lanvéoc (représentant 12 000 mouvements de bateaux par an ; CREOCEAN, 2005). Les navires de guerre amarrés au port militaire sont des bâtiments anciens qui ne sont pas équipés d'un système intégré de traitement des eaux. Des bouches de quai de récupération des eaux noires des navires amarrés au quai ont été installées sur certains pontons de la base navale mais ce système s'est révélé peu pratique et plus ou moins efficace (STEOERCKEL, 2009). Un suivi des pollutions accidentelles est réalisé par le CECLANT. Pour chaque incident, l'origine de la pollution, les milieux récepteurs impactés ainsi que les moyens anti-pollution utilisés sont renseignés. Il s'agit pour l'essentiel de pollution par des hydrocarbures (déversement accidentel de gazole, fuite sur une canalisation de chaufferie, fuite d'huile...).

Les effluents de carénage rejetés sur la période 2020-2022 (Tableau suivi des rejets, 2022) font l'objet d'une quantification sur les paramètres pH, Matières en suspension, Composés organiques totaux, Hydrocarbures totaux, Fer, Cuivre, Zinc, Etain, Aluminium, Chrome, Plomb, Nickel, Fluoranthène, Cyanure, Arsenic et Manganèse. Sur l'ensemble de ces paramètres, des dépassements ponctuels et non préoccupants (Directive gestion des eaux issues des activités de carénage, 2020, Tableau 15) sont observés pour les paramètres zinc et cuivre.

| Paramètres | Directive EMM de 2007 (Pour comparaison) (directive abrogée) | Seuils de la présente directive | Remarques |
|---|--|--|---|
| Volume eau en amont installations de carénage | | | Volume à mesurer ou à estimer si absence de compteurs |
| Volume eau rejetée dans le milieu naturel | | | Volume rejeté >= volume amont S'assurer que toutes les eaux de carénage (ou polluées) font bien l'objet d'un traitement avant rejet. |
| | | | |
| T°C | | T < 25°C | |
| pH | 5,5 ≤ pH ≤ 8,5 | Compris entre 5,5 et 9 | |
| Propreté du rejet | | - absence de matières sumageantes ; - absence de substances capables d'entraîner l'altération ou des mortalités dans le milieu récepteur - absence de substances de nature à favoriser la manifestation d'odeurs ; - absence de coloration inhabituelle du milieu récepteur du fait du rejet. | |
| MEST (matière en suspension totale) | 150 mg/L | 100 mg/l | |
| COT (Composés organiques totaux) | 70 mg/L | 70 mg/l | |
| Hydroc. totaux | 15 mg/L | 5 mg/l | |
| Fe | 15 mg/L | 5 mg/l | Pas de difficulté de seuil |
| Cu | 10 mg/L | 5 mg/l | Seuil difficile à respecter |
| Zn | 2 mg/L | 2 mg/l | Seuil difficile à respecter |
| Sn | 1 mg/L | 1 mg/l | Pas de difficulté de seuil |
| Al | | Suivi | Suivi sans seuil |
| Pb | | Suivi | Suivi sans seuil |
| Cr | | Suivi | Suivi sans seuil |
| Ni | | Suivi | Suivi sans seuil |
| CN TOT (Cyanure libre total) | | Suivi | Suivi sans seuil |
| Fe + Al | | Suivi | Suivi sans seuil |
| HAP Fluoranthène (hydrocarbure aromatique polycyclique) | | Suivi | Suivi sans seuil |

Tableau 15 : Seuils à respecter lors des opérations de carénage pour le rejet des eaux filtrées (Annexe II de la directive relative à la gestion des eaux issues des activités de carénage)



II.1.3.7. Le transport maritime depuis et vers la rade de Brest

Les pressions inhérentes au transport maritime sur les écosystèmes de la rade peuvent être liées au bruit émis par les navires, aux rejets volontaires ou involontaires dans le milieu naturel, ou encore aux collisions avec la faune marine. Les transports réguliers, largement militaires, en rade de Brest s'organisent selon un triangle entre l'île longue au Sud-Ouest de la rade, la base aéronautique navale de Lanvéoc-Poulmic au Sud, et la rade abri et l'estuaire de la Penfeld au Sud de Brest (Figure 75).

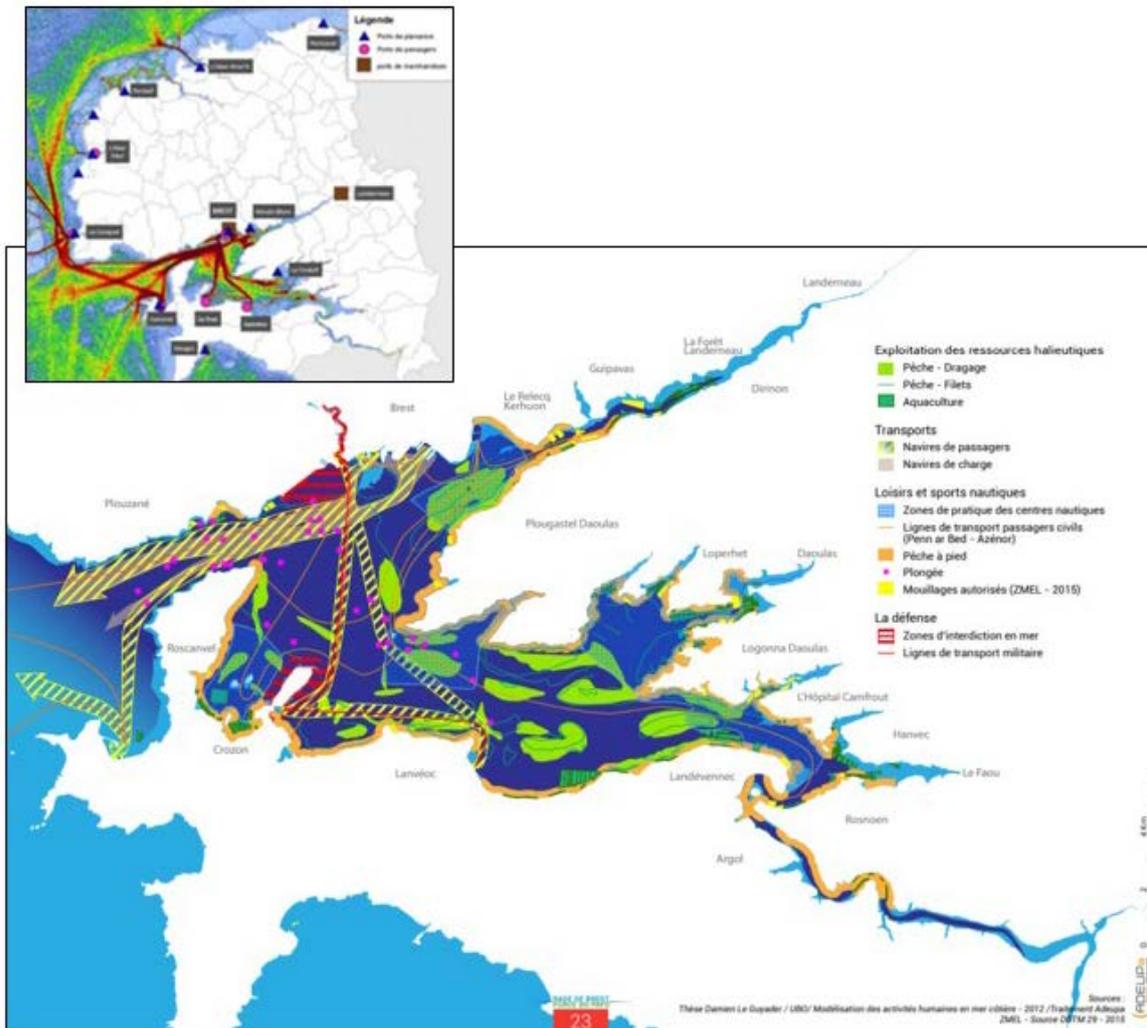


Figure 75 : Voies maritimes dans la rade de Brest et en Mer d'Iroise (en haut, rapport Brest Pêche 2016) et cartographie des usages en rade de Brest (Adeupa).

Depuis Brest, les transports sont largement organisés selon une direction ENE-WSW qui relie la Mer d'Iroise à la rade par le « Goulet » (Figure 75). Les zones de pratiques des centres nautiques sont distribuées dans la partie estuarienne des fleuves côtiers (ex : Elorn, Mignonne, Aulne).

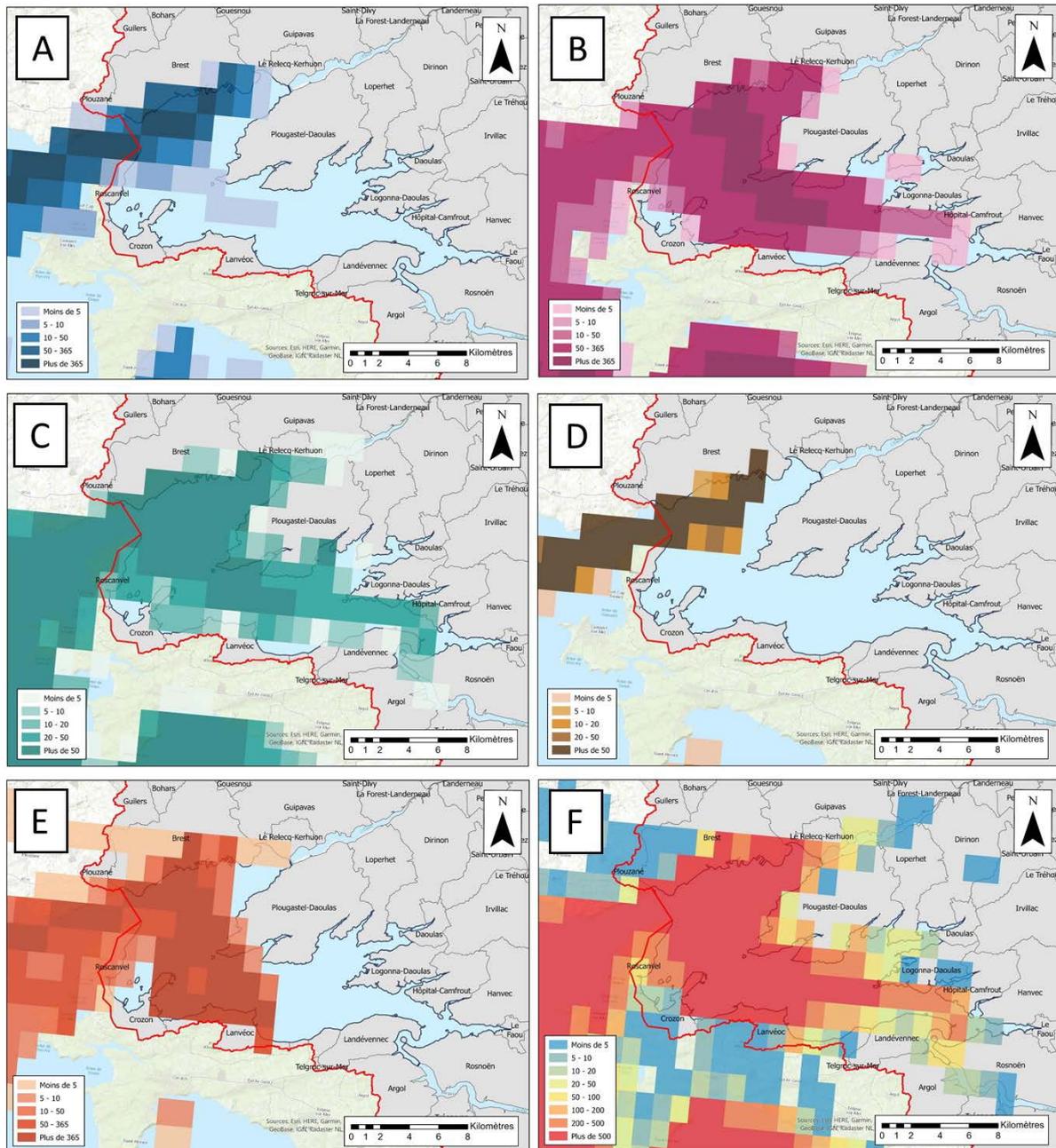
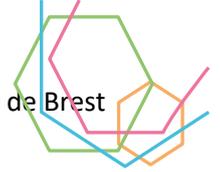


Figure 76 : Intensités de transport (A) de cargos ; (B) de bateaux de pêche ; (C) de Yachts ; (D) de tankers ; (E) de passagers ; et (F) de tous les navires confondus. Données issues du système d'identification automatique (AIS) transmises par les navires sous forme de point puis ventilées dans un carroyage de 1 minute (longitude) sur une minute (latitude). Les chiffres indiqués correspondent au nombre de navires par an (données Géolittoral, le portail de la mer et du littoral).

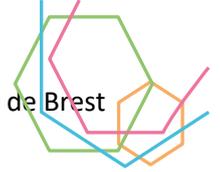
L'intensité de transport (autre que militaire) fait l'objet d'un suivi grâce au système d'identification automatique (SIA ou AIS en anglais). Ce système d'échanges automatisés de messages entre bateaux par radio VHF permet aux systèmes de surveillance de trafic (CROSS, pour Centre Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage) de connaître l'identité, le statut, la position et le trajet des navires se situant dans la zone de navigation (remarque : tous les navires ne sont pas assujettis à une obligation d'émettre en AIS, c'est notamment le cas pour les plus petites embarcations ou les militaires). Les données AIS mises en ligne sur le portail Géolittoral permettent de visualiser la présence des navires de différentes catégories (cargos, pêche, yachts, tankers, et passagers) présents dans la rade de Brest (Figure 76). Les cargos (Figure 76A) et les tankers (Figure 76D) restent strictement dans



l'alignement du goulet pour atteindre la zone industrielle du Port de Brest. Les fréquences de passage des cargos sont sept à huit fois plus importante que celle des tankers, avec plus de 365 cargos par an sur certaines zones (environ un par jour), contre une cinquantaine de tankers. Les navires de pêche occupent largement le centre de la rade de Brest avec des fréquences maximales de présence autour de la presqu'île de Plougastel-Daoulas (Figure 76B). Les yachts (bateaux de tourisme, Figure 76C) ont l'aire de recouvrement la plus importante de toutes ces catégories de navires avec des fréquences de passage jusque dans les secteurs estuariens de l'Elorn et de l'Aulne. Les transports de passagers s'effectuent principalement entre le port de Brest, le Port du Fret, et Lanvéoc (Figure 76E). Lorsque les fréquences de passages de tous les navires sont additionnées (Figure 76F), les fréquences de présence des navires montrent une augmentation vers le centre de la rade, avec des fréquences minimales en Baie de Roscanvel et dans les petits fonds de baie à l'Est de la rade.

II.2. Quelles pressions ?

La rade et son bassin versant rassemble une grande variété de milieux, accueillant chacun des faunes et des flores spécifiques. Certains de ces milieux sont aujourd'hui fragilisés, notamment par les activités humaines. Les actions de réduction des apports de macropolluants (azote, phosphore) conduites dans le domaine de l'assainissement et des pratiques agricoles ont eu un effet bénéfique sur les rejets au cours des 20 dernières années. Cependant, ces rejets restent encore largement excédentaires pour rétablir l'équilibre écologique de la rade de Brest. Les flux totaux émis par les rivières et les stations d'épuration sur le bassin versant de la rade s'élèvent respectivement à 6 000 et 81 tonnes par an, pour l'azote nitrique N-NO₃ et le phosphore P. Pour les micropolluants organiques, dans le cas des pesticides, le bassin versant de la rade fait l'objet d'une surveillance des ventes de substances actives et des mesures de concentrations sur le terrain. Plus de 100 tonnes de substances actives sont vendues sur chacun des SAGE Elorn et Aulne chaque année. Le nombre de substances mesurées et détectées dans les eaux ne cesse d'augmenter (555 substances en 2019 pour l'Aulne, contre 284 en 2008). Cette évolution s'explique notamment par la persistance de la détection de substances interdites (ex : Atrazine), et la transformation de substances actives en molécules dérivées appelées métabolites (ex : ESA Metolachlor). D'autre part, des anomalies de concentrations en certains métaux (ex : Zinc, Cuivre, Mercure, Cadmium, Plomb) sont constatées, particulièrement dans l'estuaire de l'Aulne. Ces contaminations dépassent pour beaucoup les seuils 'hauts' fixés par la convention OSPAR et trouvent pour certains d'entre eux leur origine au niveau d'une ancienne mine située dans la région de Huelgoat-Poullaouen. D'autres micropolluants comme les substances médicamenteuses sont mesurées dans les eaux potables brutes et traitées du bassin versant. Certains neuroleptiques sont systématiquement détectés dans les eaux de l'Elorn et de l'Aulne. Pour les microplastiques (polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène principalement), les premières estimations font état d'un flux quotidien pouvant atteindre près de 100 000 particules sur une journée sur l'Aulne. La qualité microbiologique s'est sensiblement améliorée sur les zones de baignade déclarées grâce à des actions de mise en conformité du réseau d'assainissement collectif mais cette qualité reste encore bien trop dégradée au niveau des zones conchylicoles.



II.2.1. Macro et micropolluants

II.2.1.1. Les macropolluants

II.2.1.1.1. Phosphore

Le transfert du phosphore des sols agricoles vers les cours d'eau est fortement dépendant des événements climatiques à l'origine d'érosion, de ruissellement et de crues, lors desquelles les concentrations dans les rivières peuvent varier d'un facteur 10, voire bien plus, en quelques heures. Ainsi, une fréquence d'échantillonnage infra-journalière est généralement nécessaire pour en capter toute la variabilité et calculer précisément les flux de phosphore. Des échantillonnages à fréquence journalière ou infra-journalière sont très rarement réalisés car difficiles à mettre en place (contraintes techniques et/ou financières). Le plus souvent, les suivis effectués le sont à des fréquences beaucoup plus faibles. Les bases de données sur les concentrations en phosphore des rivières bretonnes rassemblent des suivis effectués au mieux à une fréquence hebdomadaire, le plus souvent à une fréquence mensuelle, voire inférieure. Ce manque de données adaptées engendre des difficultés méthodologiques et de calculs (calculs précis des flux, différenciation de la contribution agricole et non-agricole).

Les flux de phosphore générés par les stations d'épuration font l'objet d'un suivi. Le flux en tonne par an fait ici l'objet d'une évaluation (Figure 77). Cette représentation est suivie de l'évaluation des rendements pour le phosphore, pour les stations d'épuration de plus de 10 000 équivalents habitants (Figure 78). Ces représentations permettent de visualiser des apports très contrastés sur le territoire, avec des stations d'épuration de petite taille sur l'essentiel du bassin versant de l'Aulne, et des stations plus conséquentes qui rejettent davantage de phosphore sur la partie littorale de la rade de Brest et le long de la vallée de l'Elorn (Figure 77).

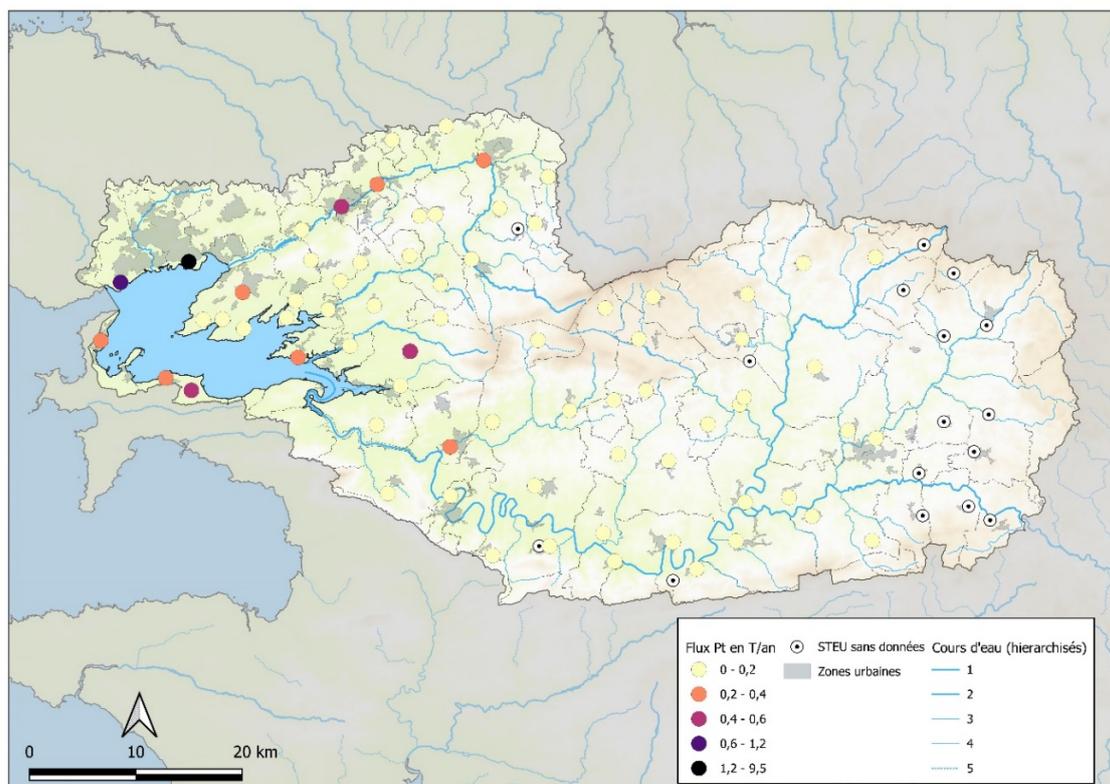


Figure 77 : Flux de phosphore total en tonne/an pour les stations d'épurations des bassins versants de la rade de Brest. Les flux les plus faibles (0 – 0.2 T/an) apparaissent en jaune (Données du Service Eau potable et Assainissement 29)

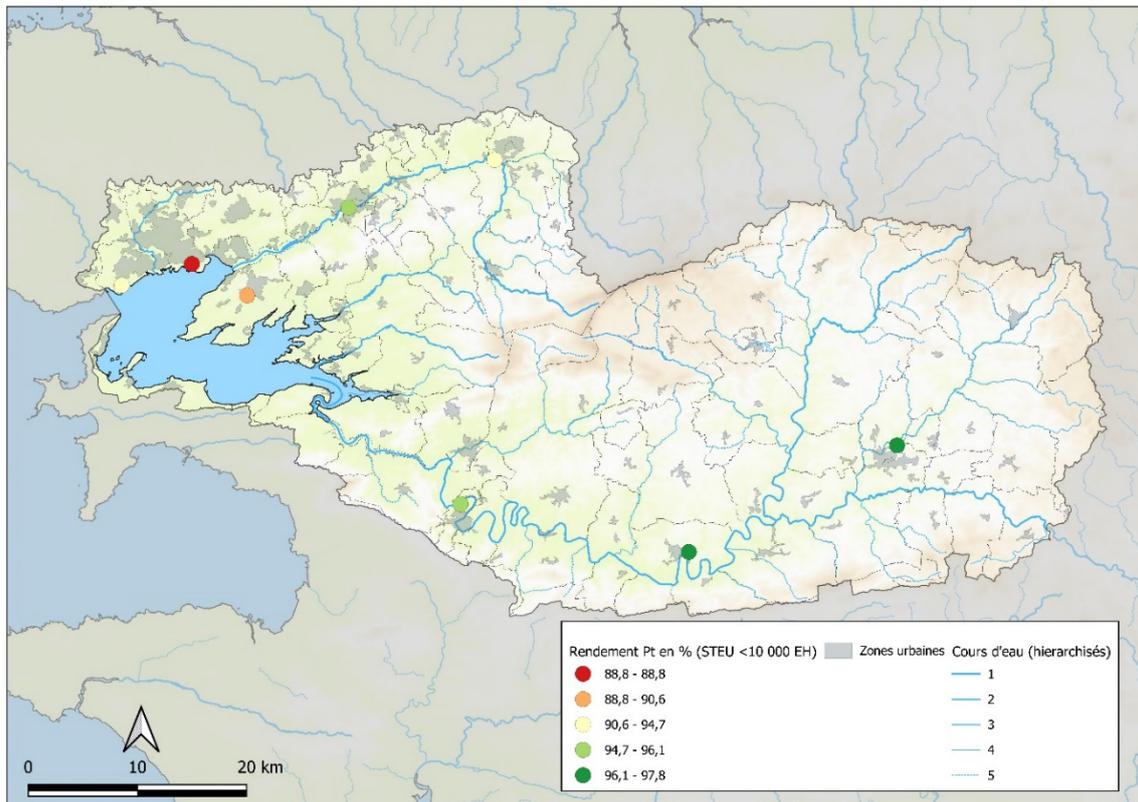
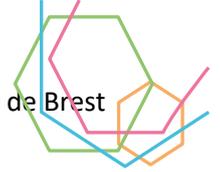


Figure 78 : Rendement épuratoire pour le Phosphore total pour les stations d'épurations dont la capacité excède 10 000 équivalents habitants. Erratum (STEU > 10 000 EH)

Le Programme Trans-P (*Transfert du phosphore des terres agricoles au cours d'eau : stocks et flux. De l'observation à la modélisation*), financé par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne et édité en mars 2017 a tenté de répondre à ces biais de méthodologie et de calcul en utilisant la densité de mesure sur le réseau pour palier la fréquence de mesure. Le travail a consisté à rassembler toutes les données existantes à l'échelle régionale en les couplant aux données de débit puis, à l'aide de méthodologies appropriées, d'utiliser cette base pour estimer les flux de phosphore et connaître leur évolution depuis le début des années 90. Ce programme a abouti à deux grandes conclusions à l'échelle régionale :

- Les émissions de phosphore total dans le réseau hydrographique et en mer ont diminué d'un facteur 2.3 entre le début des années 90 et la fin des années 2000 en passant de 86.3 à 37.5 Kg/km²/an. Ces améliorations sont principalement le fait de modifications des pratiques agricoles.
- La part des sources domestiques et industrielles sur les flux de Phosphore total est aujourd'hui très inférieure à ce qu'elle était il y a 15 ans, ne représentant plus en moyenne que 20 % du flux global de Pt. Les sources agricoles de phosphore semblent donc être aujourd'hui très largement dominantes dans les rivières de Bretagne.

Une estimation des apports de phosphore total en rade a été réalisée par LABOCEA en utilisant les données de débits et de concentrations des principaux cours d'eau et des stations d'épuration dont les rejets aboutissent directement dans la rade (Tableau 16). Pour les apports des cours d'eau, les calculs de flux reposent sur des données de débit moyen et des valeurs médianes de concentration ; ce mode de calcul ne peut rendre compte que du bruit de fond correspondant aux apports de phosphore total car il n'intègre pas les fortes charges rejetées lors des périodes de crue. Sur la période 2016 - 2019, le nombre d'analyses pris en compte pour l'estimation des médianes des concentrations dans les cours d'eau s'élève en moyenne à 48.



| Rivières rade de Brest | Pt (mg/L) | Surface bv km2 | Débit moyen l/s | Charge Pt (tonnes par an) |
|---|-----------|----------------|-----------------|---------------------------|
| Elorn à Landerneau | 0,10 | 291 | 5966 | 19 |
| Aulne à Chateaulin | 0,03 | 1490 | 24734 | 23 |
| La Douffine | 0,15 | 139 | 3002 | 14 |
| Rivière du Faou | 0,04 | 76 | 1368 | 2 |
| La Mignonne (Irvillac) | 0,05 | 70 | 1519 | 2 |
| Le Camfrou (Hopital-camfrou) | 0,03 | 68 | 1224 | 1 |
| Bassins de Brest métropole | 0,07 | 133 | 2587 | 6 |
| Sous-total : | | 2267 | 40400 | 67 |
| Stations d'épuration avec rejet en rade | | | | |
| Stations d'épuration de Brest Zone Portuaire et Maison Blanche, Landerneau, La Forêt Landerneau, Lanveoc, Roscanvel | | | | 13 |

Tableau 16 : Estimation des charges de phosphore total rejetées en rade sur la période 2016-2019.

Le flux total rejeté en rade est de 81 tonnes de phosphore par an. Il est du même ordre de grandeur que celui obtenu en prenant le ratio de 37.5 Kg/km²/an annoncé dans les conclusions du programme Trans-P (85 tonnes de phosphore par an). Ce flux est vraisemblablement sous-estimé du fait de la méthode de calcul utilisée. Les résultats présentés doivent donc être considérés comme valeurs indicatives ; ils permettent avant tout de comparer entre elles les différentes sources d'apport qui contribuent à l'enrichissement de la rade en phosphore.

Deux cours d'eau du bassin de la rade se distinguent des autres de par les forts ratios surfaciques de phosphore qui les caractérisent :

- La rivière du Caro (sur la presqu'île de Plougastel-Daoulas) à son exutoire en rade (190 Kg/km²/an), ce qui est à mettre en relation avec le rejet de la station d'épuration de Toul Ar Rannic en amont de ce cours d'eau.
- La Douffine (102 Kg/km²/an) est un cours d'eau affecté par de fortes concentrations en phosphore, et, notamment en phosphore dissous (orthophosphates) du fait de la présence de piscicultures sur son cours.

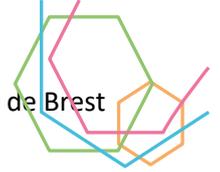
Depuis le classement de la Bretagne en zone sensible à l'azote et au phosphore, les flux de phosphore apportés par les stations d'épuration ont fortement chuté. Ainsi, lors de la réalisation des états des lieux pour les SAGE de l'Elorn et de l'Aulne en 2003, l'ensemble des stations d'épuration du bassin de la rade rejetaient 114 tonnes Pt/an. Elles n'en rejettent plus que 13 tonnes en 2020. Les rejets industriels, piscicultures comprises, représentent un apport de d'ordre de 5 tonnes de phosphore par an.

II.2.1.1.2. Azote

Les nitrates sont une forme soluble, assimilable et majoritaire de l'azote dans l'environnement. Le paramètre nitrates est retenu pour la caractérisation de l'état des masses d'eau en application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Des normes de concentrations en nitrates sont fixées pour juger de l'état écologique des cours d'eau concernant le paramètre nitrates (critères DCE : très bon état (Q90 ≤10mg/l), bon état (10<Q90≤50 mg/l), mauvais (Q90>50 mg/l).

A l'échelle nationale, l'évolution des postes constitutifs de la balance azotée peut être décrite au travers des tendances suivantes (Poisvert, 2018) :

- L'export d'azote correspondant à l'azote capté par le végétal récolté présente une évolution en trois phases, la première assez stable entre 1917 et les années 1950, la seconde avec une augmentation forte entre les années 1950 et les années 1970-80, la troisième, jusqu'à nos



jours, avec une croissance faible ou une baisse. Les surplus azotés, responsables notamment de l'enrichissement des cours d'eau en nitrates sont constitués de la part d'azote non consommée par le végétal après fertilisation. Les tendances d'évolution observées sur les exports d'azote et les surplus azotés sont assez similaires. Les surplus d'azote calculés et leurs imprécisions à l'échelle nationale sont présentés en Figure 79.

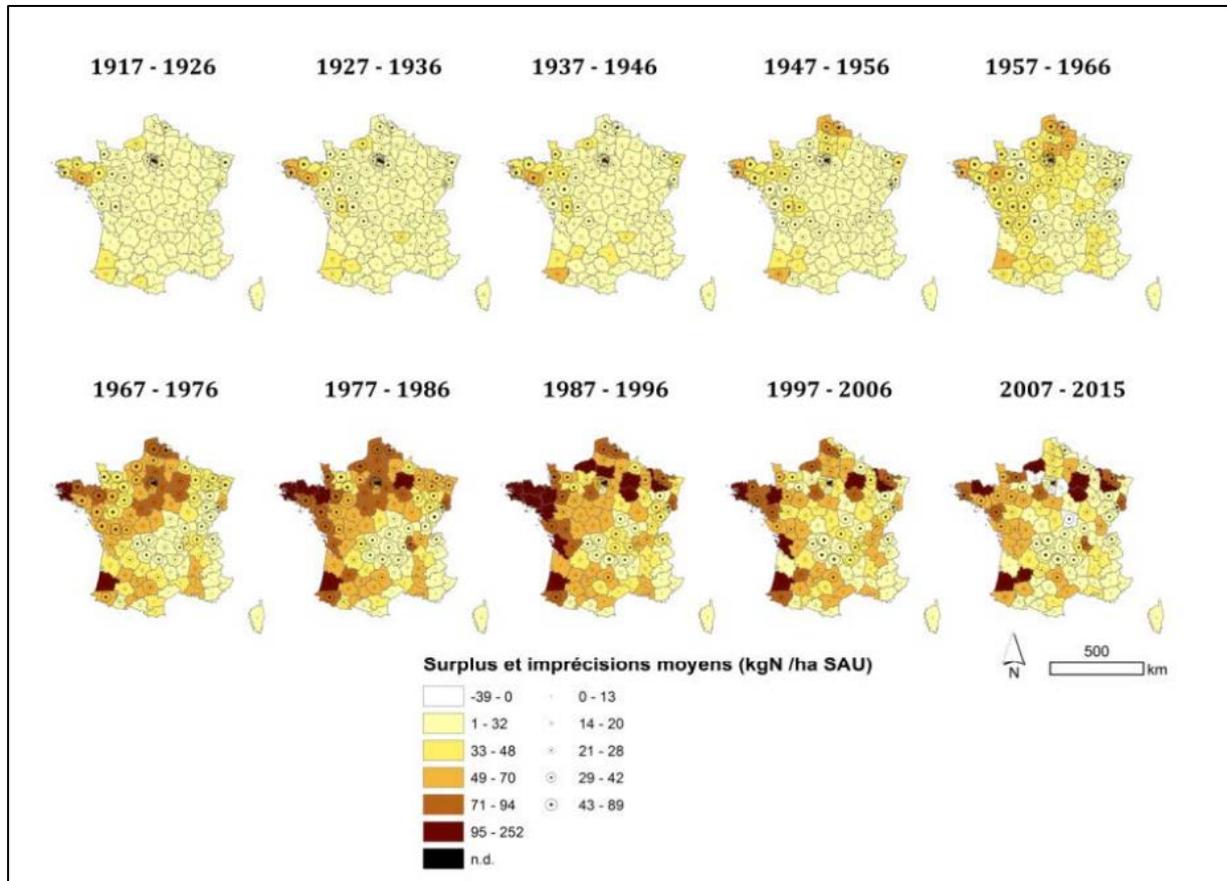


Figure 79 : Evolution et répartition des surplus départementaux moyens (sur 10 ans ; Poisvert, 2018)

- Pour les départements orientés vers la production de viande, la fertilisation organique (apport d'engrais organiques, fumier, lisier etc.) est généralement en augmentation sur l'ensemble de la chronique (Figure 80). Dans les départements orientés vers la production de grandes cultures ou vers la production de lait, la fertilisation organique évolue en deux phases: la première est croissante, la deuxième est caractérisée par une décroissance démarrant de façon relativement synchrone avec l'apparition des quotas laitiers dans les départements tournés vers la production de lait (Figure 80).
- La fixation symbiotique par les légumineuses est de façon générale en décroissance sur l'ensemble de la période (Figure 80).
- La fertilisation minérale (engrais minéraux de type N, P, K) augmente de façon importante entre les années 1940 et les années 1990, puis présente une décroissance ou une stabilité. Cette inversion de tendance est à l'origine de la baisse des pressions totales dans nombre de départements. La fertilisation minérale est le poste qui contrôle le plus l'évolution des surplus. Dans le Finistère et les côtes d'Armor, la quantité d'azote apportée par la fertilisation organique et la fixation symbiotique permettraient quasiment de s'affranchir de la fertilisation minérale.



Les surplus azotés reflètent l'évolution des pratiques agricoles qui découlent elles-mêmes de choix face à un ensemble complexe de facteurs. En font partie la situation du commerce mondial des denrées alimentaires, les coûts des engrais minéraux, les politiques européennes et nationales comme les caractères physiques (sol, climat, pente, etc.).

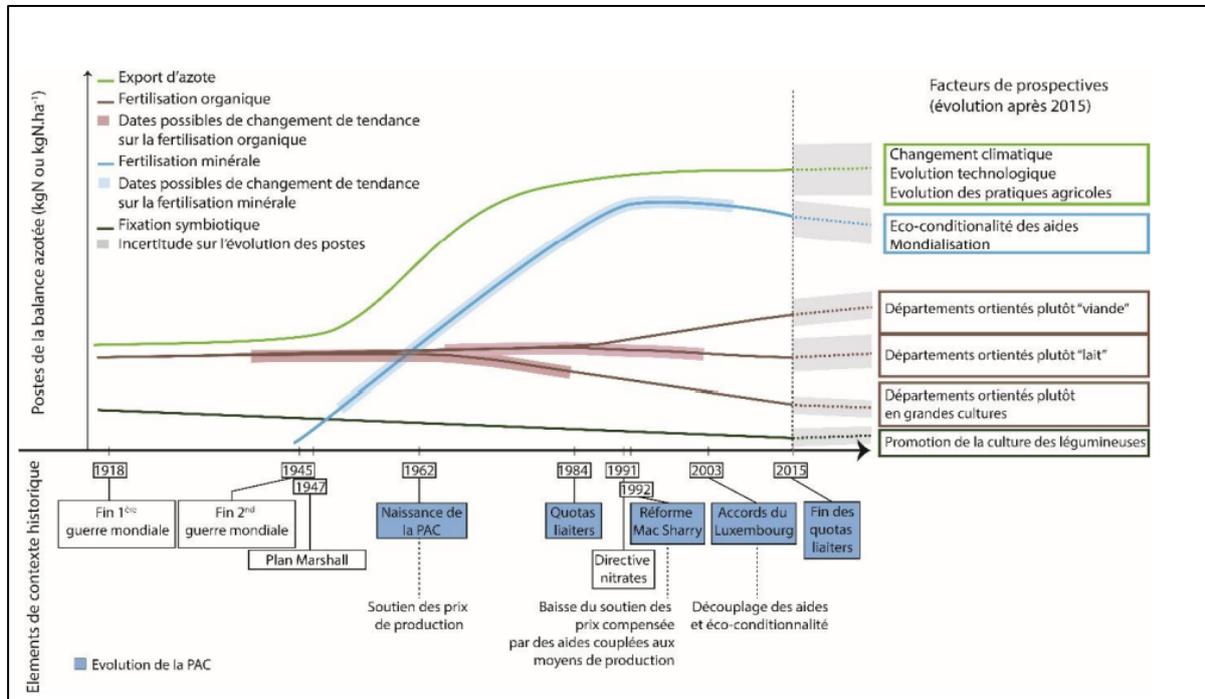


Figure 80 : Schéma d'évolution des postes de la balance azotée en France et mise en relation du contexte historique avec l'évolution de l'export d'azote pour les différents types de culture (Poisvert, 2018)

A l'échelle régionale, la DRAAF Bretagne a publié en 2020 une cartographie de la pression d'azote d'origine agricole en exploitant les déclarations de flux d'azote des exploitations agricoles issues des déclarations des surfaces de la PAC 2019. Pour chaque déclaration d'azote, une pression à l'exploitation a été déterminée conformément à l'arrêté du 7 mai 2012. Cette pression est calculée à partir de l'azote produit par les animaux avec ajout des apports d'azote minéraux et apports extérieurs et auxquels on soustrait les traitements et exports (prise en compte les effets de stockage). Les quantités obtenues ont ensuite été réparties dans les départements au prorata des surfaces exploitées dans chaque département (Figure 81).

En Bretagne, la pression d'azote total épandu en 2019 s'élève à 176 kgN/ha de SAU dont 108 kgN/ha attribuables aux effluents d'élevage. La Bretagne est la première région française pour la production de lait, de porc, de volailles et d'œufs, ce qui explique cette part élevée de pression d'azote d'origine animale.

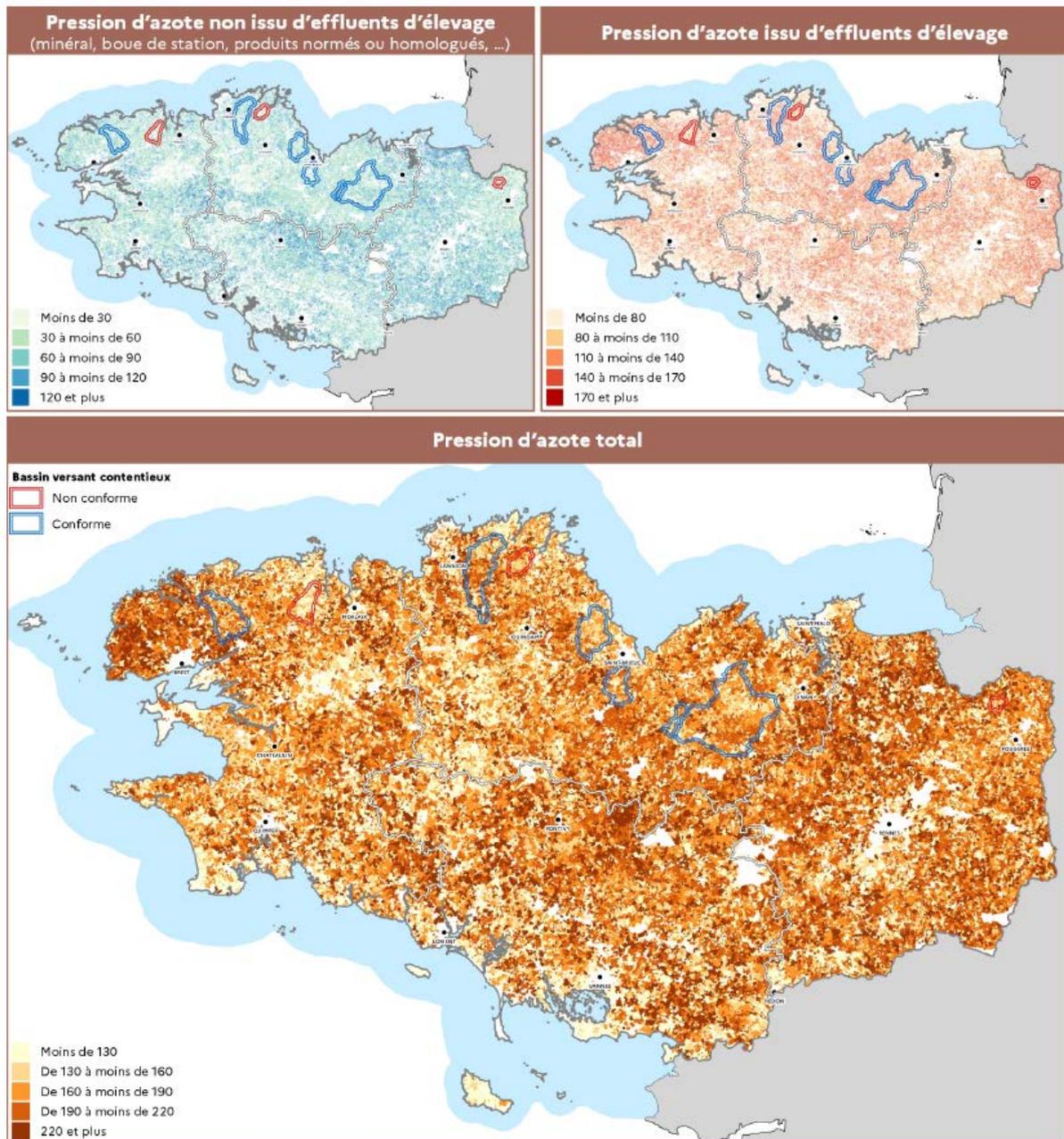
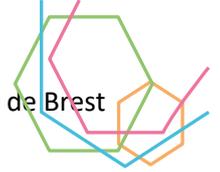
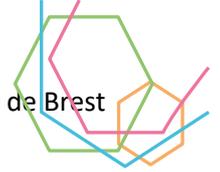


Figure 81 : Déclarations de flux d'azote (en kgN/ha de SAU) pour la Bretagne (Préfecture Région Bretagne, 2020)

Le transfert de quantités d'azote excessives vers le réseau hydrographique résulte d'apports fertilisants supérieurs aux besoins des cultures. Les surplus d'azote correspondent à la différence entre les entrées (fertilisants minéraux et organiques, fixation symbiotique, dépôt atmosphérique) et les sorties (exportations par les cultures ou les prairies, émissions gazeuses vers l'atmosphère ; Legeay et al., 2016).

Pour évaluer le devenir de ces surplus d'azote, plusieurs modèles sont utilisés dont celui nommé Nutting'N (pour NUTrient Transfer modelling ; Dupas et al., 2013). Ce modèle consiste à associer aux pressions (agricoles, domestiques et industrielles) des coefficients de transfert qui caractérisent la part effective des pressions transférée vers le milieu aquatique après soustraction de la part d'azote qui est exportée, retenue (adsorption, stockage dans les sols ou la nappe) ou transformée (dénitrification, incorporation dans la matière organique des sols...). Cette approche conceptuelle et statistique est un



compromis entre la représentation des phénomènes physiques en jeu (qui implique le recours à un nombre important de paramètres difficiles à acquérir), et une représentation plus générale reposant sur des données homogènes et accessibles à l'échelle de régions ou d'un pays (Dupas et al., 2020). Ce modèle conceptuel est calé statistiquement sur des observations. Il permet de relier les pressions d'azote aux exutoires de bassins versants à partir des caractéristiques intrinsèques de ces bassins versants et du réseau hydrographique. Ce modèle, appliqué aux bassins versants de l'Aulne et de l'Elorn sur 40 années d'excédents d'azote et d'exportations fluviales d'azote permet de dégager les résultats suivants présentés en Figure 82.

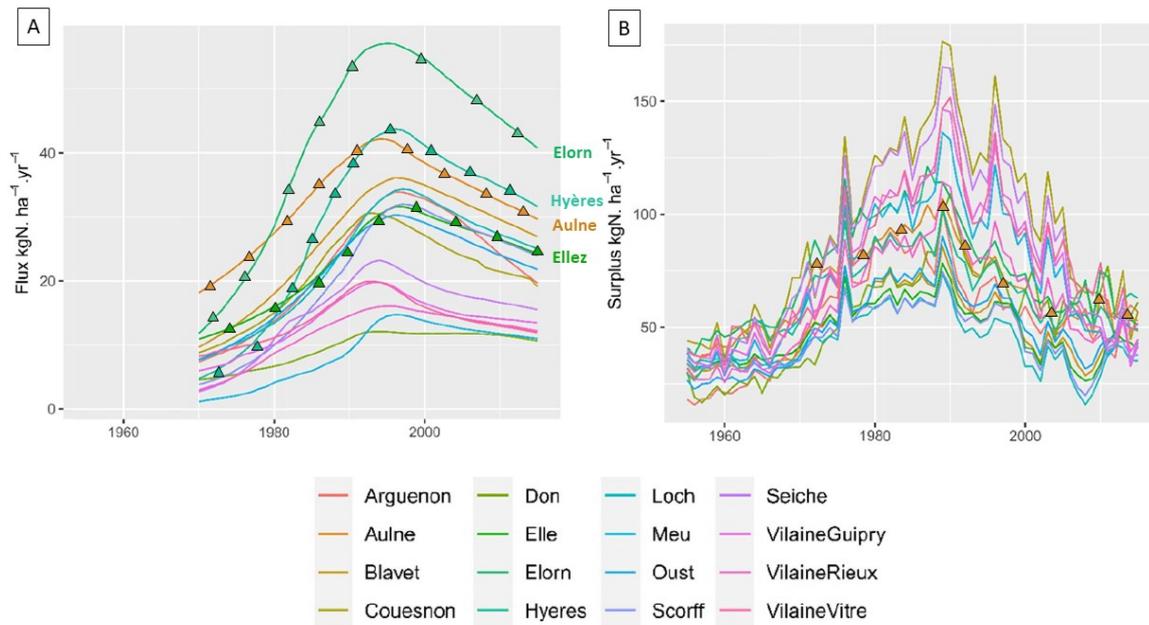
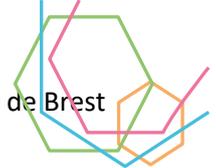


Figure 82 : (a) Flux d'azote normalisés (1976-2015) et (b) Surplus azotés (1955-2015) sur 16 bassins versants bretons (Dupas et al., 2020, modifié). Les rivières et fleuves du bassin versant de la rade sont individualisés sur la figure (a) (Elorn, Hyères, Aulne, Ellez).

Les bilans massiques font apparaître un N manquant (ou retenu) qui correspond à la différence entre les flux d'azote et les exportations fluviales. Ce N manquant représente sur le bassin de la rade environ 50 % de l'apport net d'azote (45 % sur l'Elorn ; 53 % sur l'Aulne). Cet azote retenu est en transit dans le continuum sol-zone non-saturée-eau souterraine (Figure 83), ou éliminé par dénitrification. Les deux-tiers de cet azote se sont accumulés dans la couche arable à raison de 32,4 kg.ha⁻¹.an⁻¹ dans les 30 premiers cm de terre végétale agricole. La saturation pourrait être atteinte dans un avenir proche (quelques années). Cet héritage biogéochimique est à la fois une menace potentielle pour les écosystèmes aquatiques et une ressource potentielle qui pourrait être recyclée dans les agroécosystèmes.



| Catchment | Cumulative surplus (kg N ha ⁻¹) | Observed cumulative flux (kg N ha ⁻¹) | Observed retention (%) | Modeled cumulative flux (kg N ha ⁻¹) | p10 (year) | p50 (year) | p90 (year) | Mode (year) |
|----------------|---|---|------------------------|--|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Arguenon | 2645.5 | 981.4 | 62.9 | 918.6 (790.7-1057.5) | 7.7 (4.1-13.4) | 12.3 (9.2-16.5) | 20.0 (12.9-30.1) | 10.4 (6.2-15.7) |
| Aulne | 2964.3 | 1382.0 | 53.4 | 1364.2 (1235.1-1497.1) | 4.6 (2.2-8.9) | 10.1 (7.0-13.4) | 22.2 (14.6-33.5) | 6.9 (2.9-11.4) |
| Blavet | 2244.9 | 1140.8 | 49.2 | 1102.1 (964.4-1245.0) | 7.8 (3.9-14.0) | 12.9 (9.7-17.2) | 21.7 (13.4-32.9) | 10.9 (5.8-16.4) |
| Couesnon | 4424.1 | 920.0 | 79.2 | 902.6 (789.8-1023.7) | 3.0 (0.8-7.2) | 6.7 (4.0-10.6) | 16.0 (8.7-31.1) | 4.3 (0.8-9.2) |
| Don | 2787.0 | 411.8 | 85.2 | 379.8 (352.9-406.9) | 3.1 (1.7-5.9) | 6.9 (5.0-9.6) | 15.4 (12.1-20.5) | 4.6 (2.4-8.2) |
| Elle | 2096.2 | 992.6 | 52.6 | 972.6 (861.4-1094.1) | 8.6 (4.4-16.3) | 14.3 (11.1-19.3) | 24.0 (15.5-36.2) | 11.8 (6.6-18.5) |
| Elorn | 3317.7 | 1820.1 | 45.1 | 1771.4 (1562.2-2029.2) | 7.1 (3.3-12.8) | 12.8 (9.2-17.0) | 23.7 (14.1-36.2) | 10.1 (4.8-15.9) |
| Hyerès | 2864.2 | 1289.3 | 55.0 | 1245.2 (1084.0-1397.3) | 10.1 (5.5-17.0) | 14.2 (11.3-19.8) | 21.7 (13.8-31.6) | 12.6 (8.3-19.1) |
| Loch | 1872.9 | 1008.7 | 46.1 | 1001.3 (858.4-1132.8) | 10.4 (5.8-16.2) | 15.7 (12.5-20.9) | 25.2 (16.3-40.4) | 13.8 (8.7-19.7) |
| Meu | 3402.0 | 397.9 | 88.3 | 377.7 (318.6-444.5) | 8.4 (4.1-15.2) | 13.0 (9.4-18.2) | 21.3 (11.9-33.2) | 11.0 (6.1-17.2) |
| Oust | 2341.3 | 935.1 | 60.1 | 888.6 (776.4-1011.6) | 6.7 (3.2-13.0) | 11.0 (8.1-15.5) | 19.4 (11.7-30.1) | 9.2 (4.7-14.6) |
| Scorff | 1987.3 | 917.7 | 53.8 | 901.2 (769.0-1007.0) | 10.8 (6.3-17.0) | 15.2 (12.0-21.1) | 22.0 (14.2-36.0) | 13.4 (9.4-19.8) |
| Seiche | 4106.0 | 676.8 | 83.5 | 666.1 (581.6-758.7) | 3.8 (1.5-8.5) | 8.3 (5.8-11.8) | 18.8 (10.5-32.7) | 5.6 (1.8-10.5) |
| Vilaine Guipry | 3624.5 | 592.4 | 83.7 | 577.5 (521.0-644.5) | 2.6 (1.1-6.2) | 6.9 (4.8-9.8) | 18.4 (11.4-29.8) | 3.9 (1.2-8.4) |
| Vilaine Rieux | 2906.6 | 517.2 | 82.2 | 497.5 (439.3-562.6) | 4.4 (1.7-9.2) | 8.7 (5.9-12.2) | 18.2 (10.5-30.3) | 6.5 (2.2-11.2) |
| Vilaine Vitre | 3778.7 | 587.5 | 84.5 | 569.1 (513.2-641.7) | 1.2 (0.2-4.8) | 3.8 (1.8-7.3) | 12.7 (5.6-26.2) | 1.6 (0.1-6.1) |

Tableau 17 : Excédent cumulé d'azote (entrée de N), flux d'azote sortant (1976-2015) et centiles de distribution du temps de transit. Le mode (à droite du tableau) correspond à la valeur moyenne estimée du temps de transfert vers le réseau hydrographique (Dupas et al., 2020).

Le modèle permet de mettre en évidence des décalages temporels entre la trajectoire des surplus azotés et les exportations fluviales d'azote mesurées. Le mode de distribution (pic) du temps de transit des nitrates serait ainsi de l'ordre de 7 ans sur l'Elorn et de 10 ans sur l'Aulne (Tableau 17).

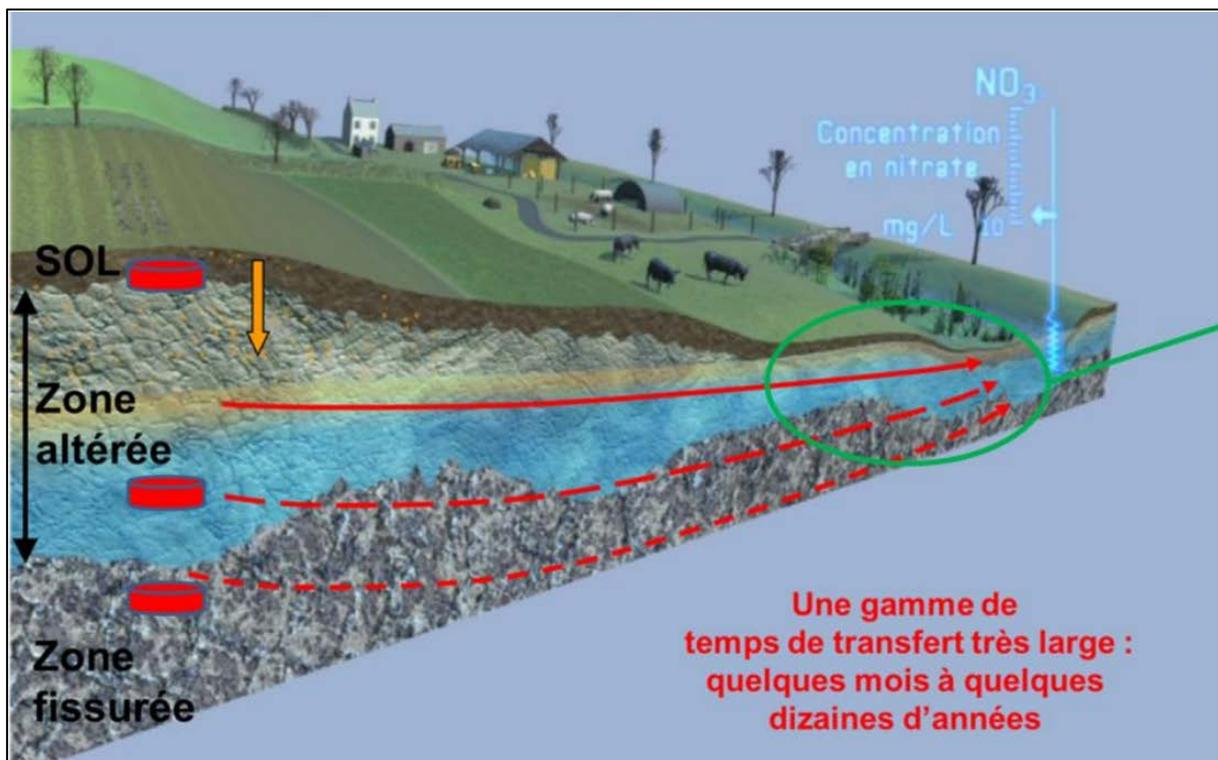


Figure 83 : Schématisation des transferts de d'azote en surface et en subsurface (Durand, 2021). En rouge, la représentation des stocks d'azote et en vert les interactions sol-nappe.

Depuis la fin des années 90, les concentrations en nitrates ont baissé d'environ 40% dans les rivières de la rade de Brest (Figure 84). La concentration moyenne sur le bassin de la rade est aujourd'hui de 20 mg NO₃ /L (moyenne pondérée par les débits pour les différences sources contributrices), valeur atteinte en 2015 et qui semble stable depuis.

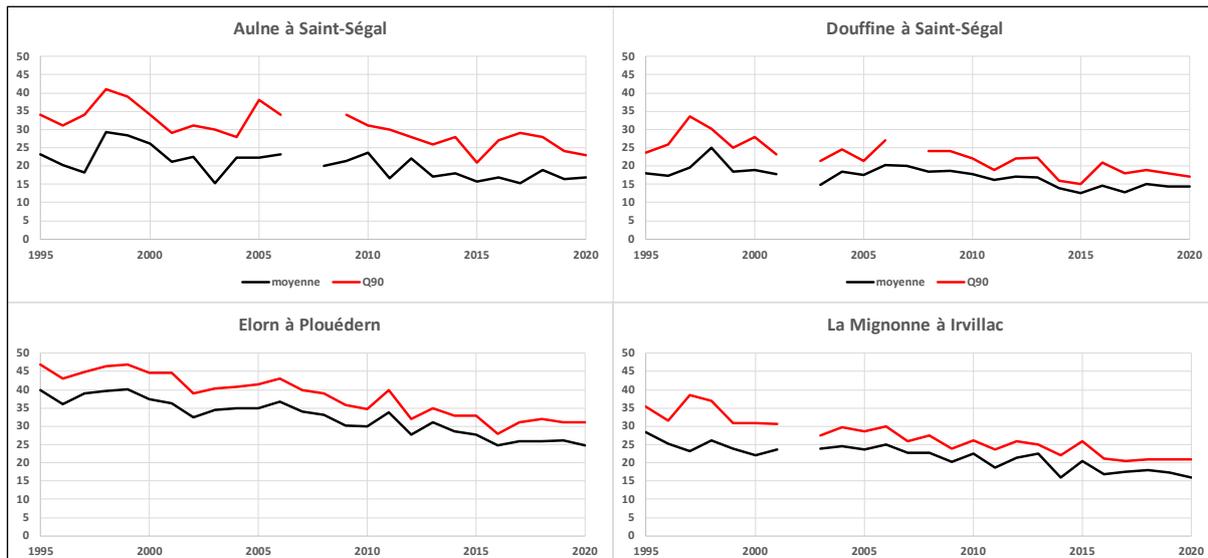
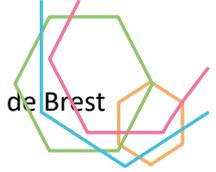


Figure 84 : Evolution des concentrations en nitrates de 1995 à 2020 (moyennes et percentiles 90) sur quatre fleuves du bassin versant de la rade (source des données traitées : Observatoire de l'Environnement en Bretagne).

Une estimation des apports en nitrates en rade a été réalisée en utilisant les données de débit et de concentration des principaux cours d'eau. Les calculs de flux reposent sur des données de débit moyen et des valeurs médianes de concentration (Tableau 18).

| Dénomination | NO3 (mg/L) | Surface du bassin km2 | Débit moyen l/s | Charge médiane NO3 (kg/j) | Contribution |
|---|------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|--------------|
| Nevent | 32 | 4,2 | 85 | 235 | 0,3% |
| Maison Blanche | 31 | 2 | 44 | 117 | 0,2% |
| Quatre Pompes | 16 | 2 | 32 | 43 | 0,1% |
| Pont Cabioch | 23 | 11 | 214 | 425 | 0,6% |
| Keroual | 19 | 2 | 49 | 80 | 0,1% |
| Tridouar | 33 | 7 | 133 | 379 | 0,5% |
| Penfeld à Moulin Joseph | 24 | 32 | 630 | 1 306 | 1,8% |
| Stang Alar | 19 | 6 | 130 | 213 | 0,3% |
| Costour | 28 | 5 | 107 | 259 | 0,4% |
| Camfroul Relecq Kerhuon | 22 | 4 | 70 | 134 | 0,2% |
| rivière de Guipavas | 24 | 25 | 495 | 1 027 | 1,5% |
| Le Froul | 9 | 2 | 42 | 32 | 0,05% |
| Le Caro | 13 | 9 | 158 | 170 | 0,2% |
| Pen ar ster | 10 | 6 | 113 | 98 | 0,1% |
| Moulin Neuf | 14 | 6 | 112 | 135 | 0,2% |
| Penfoul | 19 | 9 | 162 | 266 | 0,4% |
| St Trémeur | 9 | 0 | 5 | 4 | 0,0% |
| Penalein | 14 | 0 | 7 | 8 | 0,0% |
| Elorn à Landerneau | 24 | 291 | 5 966 | 12 370 | 17,5% |
| Aulne à Chateaulin | 21 | 1490 | 24 734 | 43 809 | 61,9% |
| La Douffine | 15 | 139 | 3 002 | 3 891 | 5,5% |
| Rivière du Faou | 13 | 76 | 1 368 | 1 537 | 2,2% |
| La Mignonne (Irvillac) | 19 | 70 | 1 519 | 2 494 | 3,5% |
| Le Camfroul (Hopital-camfroul) | 16 | 68 | 1 224 | 1 692 | 2,4% |
| moyenne pondérée (NO3) et totaux | 20 | 2267 | 40400 | 70723 | 100% |

Tableau 18 : Concentrations médianes et charges en nitrates rejetées en rade de Brest par les principales rivières du territoire sur la période 2017-2019 tonnes par an. Une interprétation de la qualité de l'eau selon le classement de la directive cadre sur l'eau (Labocéa).

Les rivières rejettent aujourd'hui en rade de Brest en moyenne 26 000 tonnes de nitrates par an, soit environ 6 000 tonnes d'azote nitrique N-NO₃ par an. L'Aulne à Chateaulin représente à elle seule 62 % de ces apports. Si l'on intègre la part attribuable aux bassins versants de la rade de Brest non couverts par des réseaux de mesure (environ 374 km²), ils s'élèveraient plutôt à 6 800 tonnes d'azote nitrique N-NO₃ par an. Ces apports sont modulés par des variations intra-annuelles du fait de la saisonnalité, mais l'évolution interannuelle est plus stable et lente du fait de l'inertie des systèmes. Les flux d'azote et les débits des cours d'eau/rivières sont fortement corrélés.



Les apports d'azote global (NGL) en rade de Brest depuis les rivières résultent très principalement des apports en nitrates mais également de ceux provenant des autres formes de l'azote qui se trouvent sous forme réduite, à savoir l'azote organique et l'ammonium. En période de crue, l'azote organique prélevé par érosion des sols peut représenter une source d'apport conséquente mais non facilement évaluable à partir des données fournies par les réseaux de mesure. Ces mesures sont trop espacées dans le temps pour pouvoir les apprécier, car ils représentent des apports massifs de courte durée. Les flux réels d'azote sont de ce fait sous-estimés par la seule prise en compte de l'indicateur nitrate. Les apports d'azote en rade proviennent très principalement de l'activité agricole.

Les rejets liés à l'assainissement domestique et industriel contribuent, dans une moindre mesure, aux apports d'azote au milieu. Une représentation des rejets azotés par les stations d'épuration du bassin versant de la rade de Brest est proposée en Figure 85. Les flux NGL sont inférieurs à 0.4 T/an pour une grande partie des stations de l'Est du territoire (Figure 85). Les flux sont d'autant plus importants lorsque ces stations sont implantées proches du littoral, du fait de la répartition de la population. Les flux d'azote les plus importants sont ceux des stations de Maison Blanche et zone Portuaire, à Brest, avec des flux estimés de l'ordre de 70 à 90 T/an.

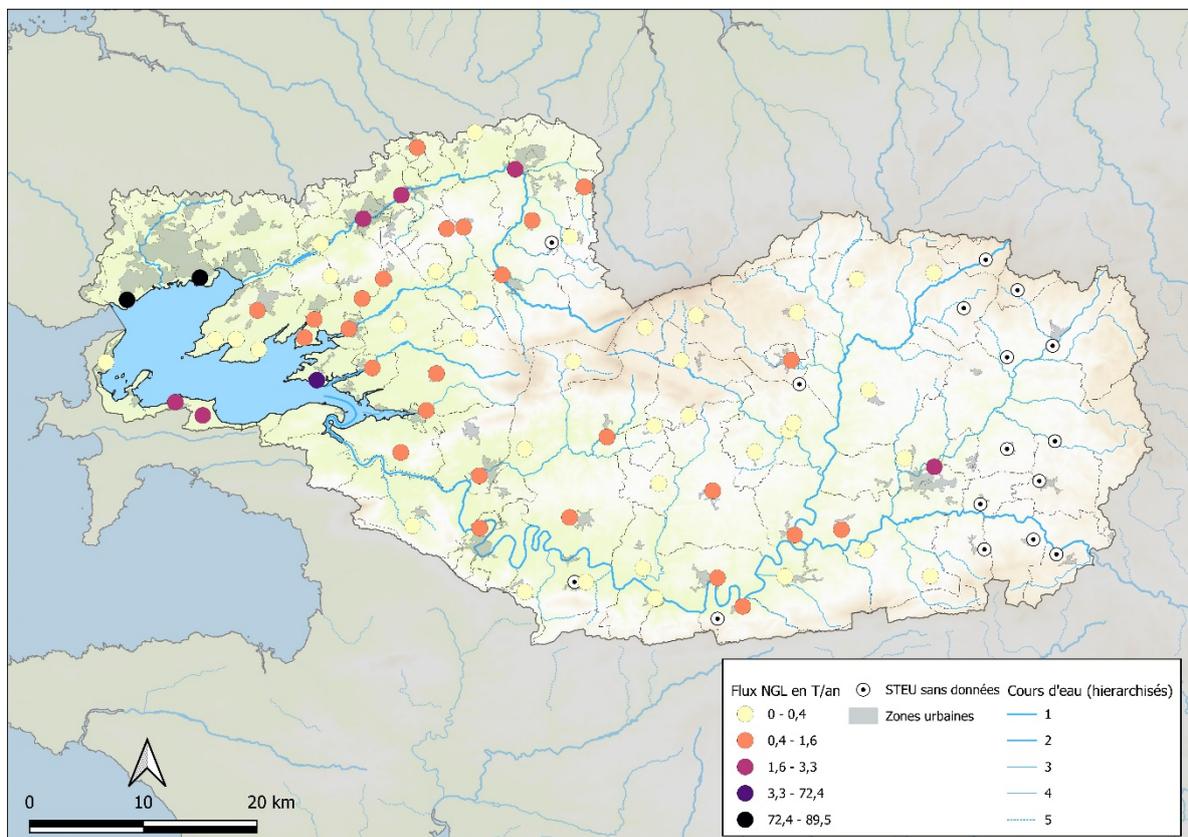
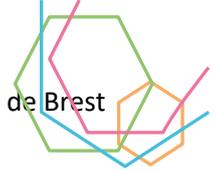


Figure 85 : Flux d'Azote global en tonnes/an pour les stations d'épuration des bassins versants de la rade de Brest (Labocéa)

Les rendements sont estimés pour les stations d'épuration de plus de 10 000 habitants. Ces stations sont au nombre de huit sur l'ensemble du bassin versant de la rade de Brest (Plougastel-Daoulas, Châteauneuf-du-Faou, Châteaulin, Landerneau, Landivisiau, Carhaix, et deux stations à Brest, Maison Blanche et zone portuaire). Les rendements sont de l'ordre de 90% ou supérieurs pour la plupart des stations d'épuration concernant le paramètre azote. Seule la station de Maison blanche, à Brest, révèle des rendements inférieurs, de l'ordre de 70%.



Les apports d'azote en rade proviennent très principalement de l'activité agricole. Les stations d'épuration d'eaux usées domestiques et les rejets industriels réunis émettent de l'ordre de 240 tonnes d'azote et ne contribuent que marginalement aux apports totaux évalués à 6800 tonnes par an.

II.2.1.1.3. Matières en suspension et matière organique

Les résultats des réseaux de mesures ponctuelles ne rendent compte que de manière partielle du transit particulaire. L'érosion est la première étape du cycle sédimentaire. Les agents de l'érosion (vent, pluie) arrachent de fines particules ou des agrégats entiers de la surface du sol. Une fois détachés, ces éléments sont transportés par le vent ou par le ruissellement vers les cours d'eau. Le transport des sédiments par les cours d'eau est souvent nommé "transport solide". Il représente un phénomène important de l'hydraulique fluviale. L'augmentation des teneurs en particules dans les cours d'eau provoque de nombreux problèmes affectant la qualité de l'eau. Les matières en suspension (MES), c'est-à-dire les particules les plus fines minérales ou organiques insolubles, visibles ou non à l'œil nu, contribuent à la turbidité de l'eau.

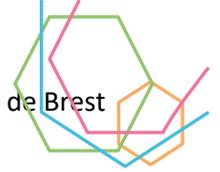
Dans l'Ouest de la France, les MES sont responsables de la dégradation des écosystèmes aquatiques et de leurs ressources piscicoles. Elles réduisent la pénétration de la lumière, obstruent les branchies des poissons et des invertébrés, limitent la photosynthèse et dégradent le cadre de vie des organismes vivants. Les forts courants avec une importante concentration en MES au cours des crues peuvent arracher les macrophytes (végétaux aquatiques) et les algues attachées au fond du cours d'eau (Bilotta & Brazier, 2008). En particulier le colmatage des frayères par les particules fines, et l'hypoxie associée, sont responsables de la diminution des populations de Salmonidés (Greig et al, 2005). En outre, les MES présentent à la fois un pouvoir d'adsorption et un pouvoir cohésif élevés, et sont particulièrement impliquées dans le transport de polluants (pesticides, phosphore, bactéries, métaux lourds, composés organiques, etc.). Tout ceci entraîne entre autre une diminution de la diversité des habitats et un appauvrissement de la richesse biologique des cours d'eau (Bilotta & Brazier, 2008), et d'autres problèmes liés à l'envasement des réservoirs à l'aval. Les matières en suspension peuvent être émises ponctuellement par des industries, mais leur grande majorité est produite sous forme diffuse à partir de l'érosion des sols dans les bassins versants.

L'intensité et la durée des pluies ont un rôle important sur le phénomène de ruissellement et d'érosion d'une part, sur le débit et le transport dans le cours d'eau d'autre part (Old et al., 2003 ; Lana-Renault et al., 2006). Les études de Ludwig et Probst (1998) et de Summerfield et Hulton (1994) précisent que les taux d'érosion sont contrôlés en premier ordre par la topographie du bassin versant. La topographie, notamment la pente et la longueur de pente, va déterminer la vitesse et l'importance du ruissellement sur les versants et donc l'arrachement et le transport des particules du sol jusqu'au cours d'eau. L'occupation du sol, et notamment les pratiques agricoles sont également un facteur important qui favorise (ex : cultures de la pomme de terre, du maïs) ou au contraire qui freine les mécanismes érosifs et favorisent l'infiltration de l'eau plutôt que son ruissellement (ex : talus, haies, zones enherbées).

II.2.1.2. Les micropolluants

II.2.1.2.1. Pesticides

Le terme pesticide regroupe les produits herbicides, insecticides et fongicides. Le terme biocide est également utilisé pour désigner les pesticides à usage domestiques ou industriels. Les produits phytosanitaires sont utilisés en agriculture (traitements appliqués aux plantes). L'usage des pesticides



fait peser des risques sur la santé et l'environnement dans la mesure où certains résidus s'insinuent dans l'air, l'eau et le sol (les pesticides en Bretagne, 2020).

L'indicateur de fréquence des traitements (IFT, Figure 86) permet de rendre compte de la pression exercée par les produits phytosanitaires à l'échelle communale. Sans surprise, les IFT les plus importants correspondent aux zones les plus cultivées, *cad* la vallée de l'Aulne et de l'Elorn.

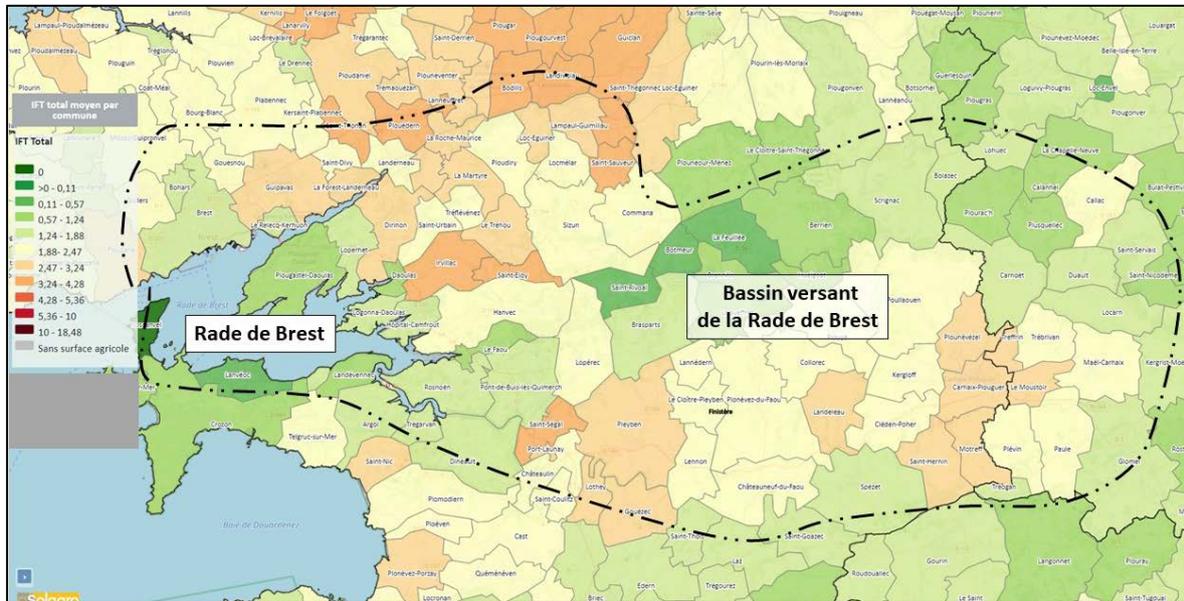


Figure 86 : Indicateur de Fréquence des Traitements (IFT) correspondant aux doses de produits phytosanitaires appliqués par hectare pendant une campagne culturale. L'IFT communal correspond à la moyenne des IFT par culture. L'IFT total (hors biocontrôle) concerne tous les types de produits de synthèse (herbicides, insecticides, fongicides, traitements de semence, autres ; Solagro.org.)

En 2019, les données issues de l'observatoire de l'environnement en Bretagne recensent 273 substances actives pesticides vendues sur le SAGE de l'Elorn pour une quantité totale de 135.9 tonnes (Figure 87). Les ventes de substances sont relativement stables sur la période 2015-2019. Sur l'Aulne, 237 substances actives ont été vendues en 2019 pour une quantité totale de 107.5 tonnes (Figure 88). Les ventes de substances actives sont à la baisse sur la période 2015-2019. Pour le bassin versant de l'Elorn, les intrants pesticides estimés sont de 3,76 kg/ha SAU (36 094 ha de SAU au total sur le SAGE). Pour le bassin versant de l'Aulne, les intrants pesticides sont estimés à 0.98 kg/ha SAU (109 822 ha de SAU au total).

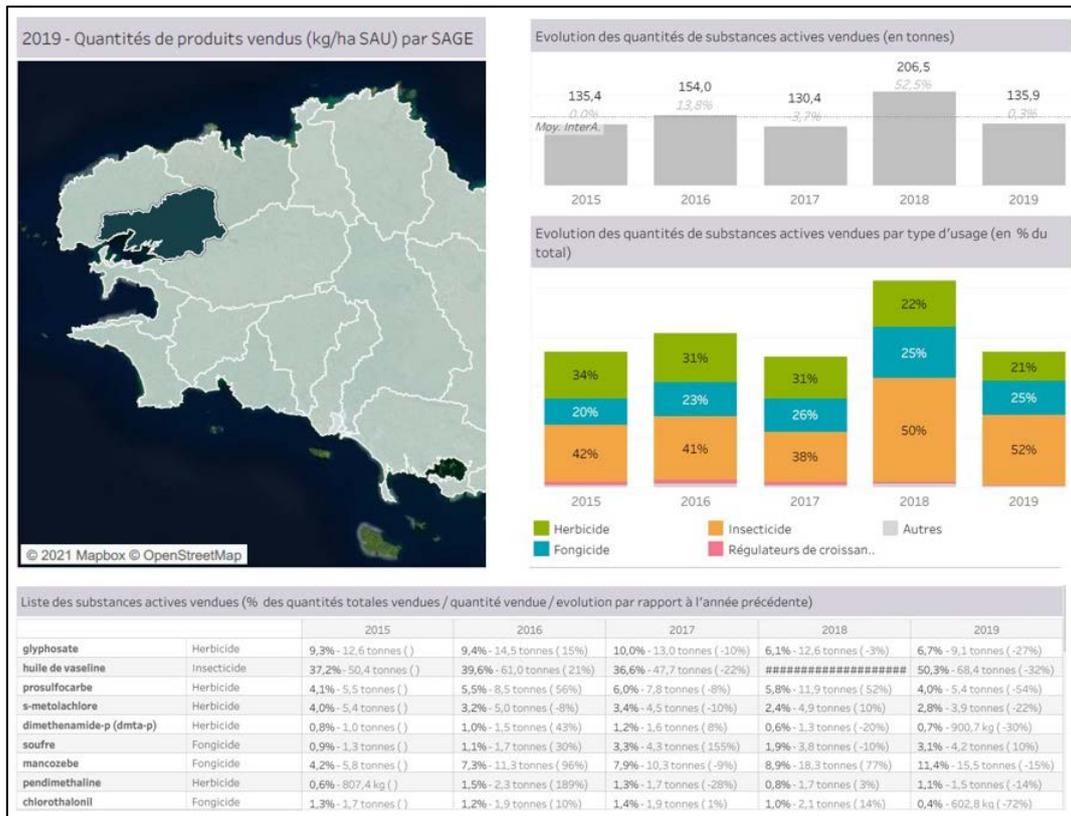
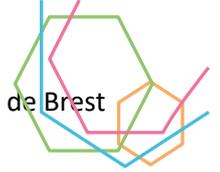


Figure 87 : Quantités de substances actives et leurs ventes (tonnage, pourcentage) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Elorn (Bretagne-environnement.fr).

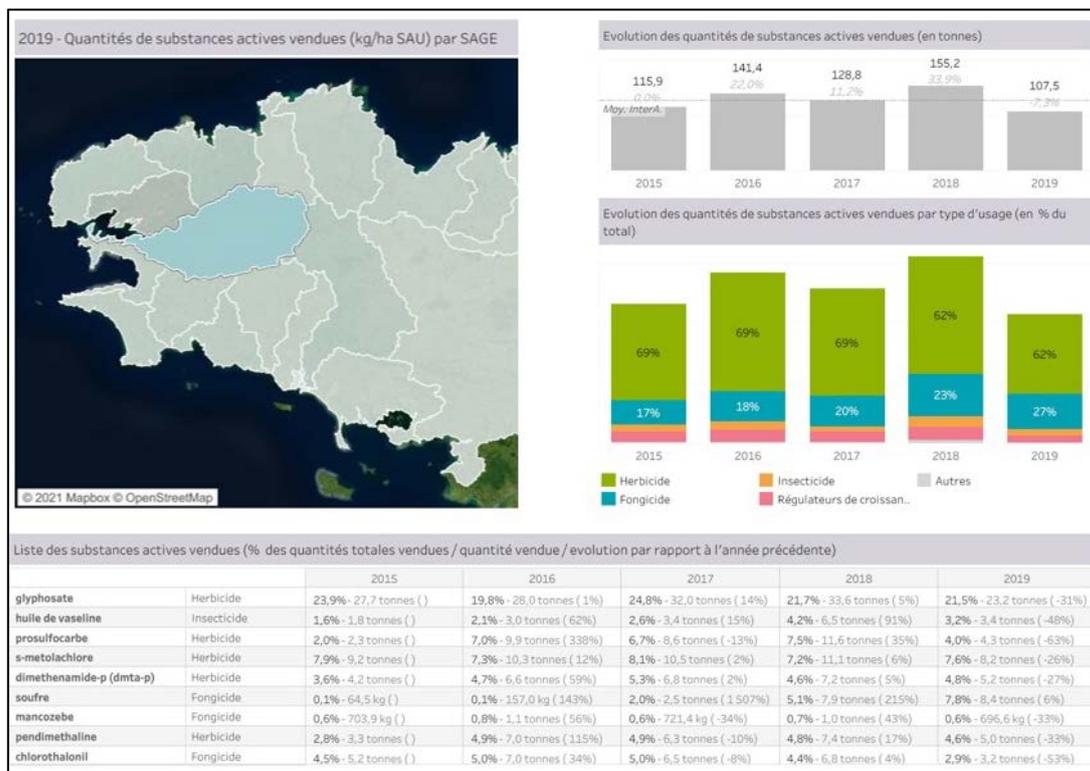
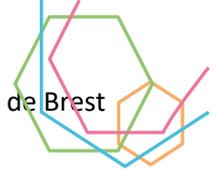


Figure 88 : Quantités de substances actives et leurs ventes (tonnage, pourcentage) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr).



Dans le détail, l'évolution des ventes de deux pesticides (glyphosate et s-métolachlore) est présentée sur les figures 42 et 43. Si les ventes s'infléchissent régulièrement sur la période 2015-2019 sur le bassin versant de l'Elorn (Figure 89), ces mêmes ventes continuent d'augmenter sur la période 2015-2018 sur le bassin de l'Aulne (Figure 90). Une nette diminution est en revanche perceptible sur le bassin versant de l'Aulne entre 2018 et 2019 (Figure 90). Ces évolutions 2018 – 2019 peuvent refléter en partie des comportements de stockage/déstockage. La hausse de la redevance pour pollutions diffuses a conduit à un phénomène d'anticipation d'achat en prévision de la hausse programmée de la redevance pour pollution diffuse (1er janvier 2019) et donc à stocker des produits phytopharmaceutiques fin 2018, générant une hausse marquée des ventes en 2018 suivie d'une baisse (suite à un déstockage logiquement accompagné d'une réduction d'achat) particulièrement importante en 2019 (Com. pers. N. Le Gac, Syndicat de Bassin de l'Elorn).

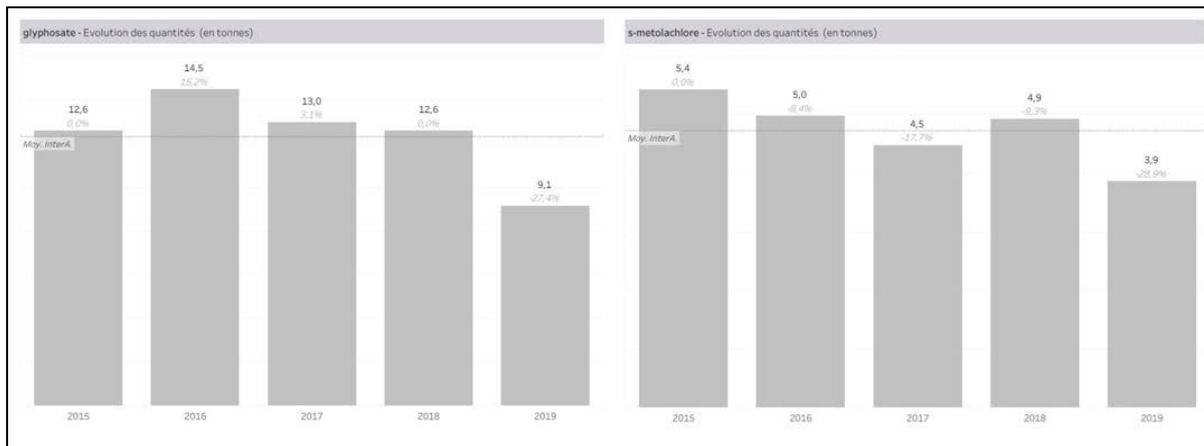


Figure 89 : Evolution des ventes de deux pesticides (glyphosate et s-metolachlore) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Elorn (Bretagne-environnement.fr).

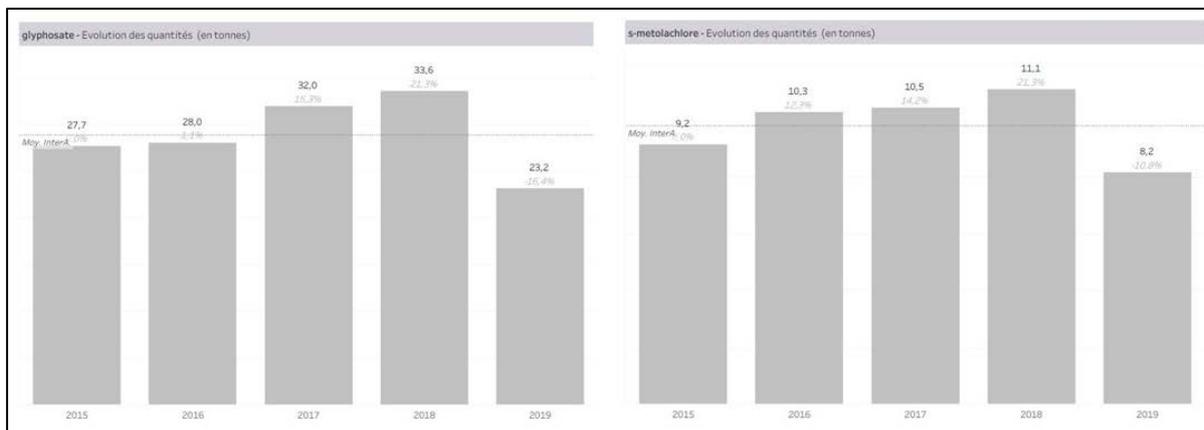
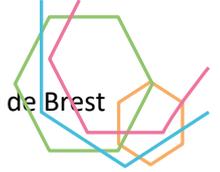


Figure 90 : Evolution des ventes de deux pesticides (glyphosate et s-metolachlore) sur la période 2015-2019 pour le bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr).

Les cinq substances pesticides les plus quantifiées dans l'eau sur le bassin versant de l'Elorn concernent toutes des métabolites (métolachlor ESA, atrazine déséthyl, 2,6-dichlorobenzamide, ESA métazachlore, métolachlor OXA ; Figure 92). Sur le bassin versant de l'Aulne les cinq substances les plus quantifiées sont trois herbicides (glyphosate, métolachlore total, glufosinate) et deux métabolites (atrazine déséthyl, AMPA ; Figure 91). Sur le bassin versant de l'Elorn, 40 % des substances les plus quantifiées sont des herbicides, contre 28 % de métabolites et 21 % de fongicides. Sur le bassin versant de l'Aulne, 50 % des substances les plus quantifiées correspondent à des herbicides, contre 38 % de



métabolites. Le nombre de substances actives recherchées a nettement progressé depuis 2008 (ex : de 284 substances en 2008 à 555 en 2019 pour l’Aulne ; Figure 92).

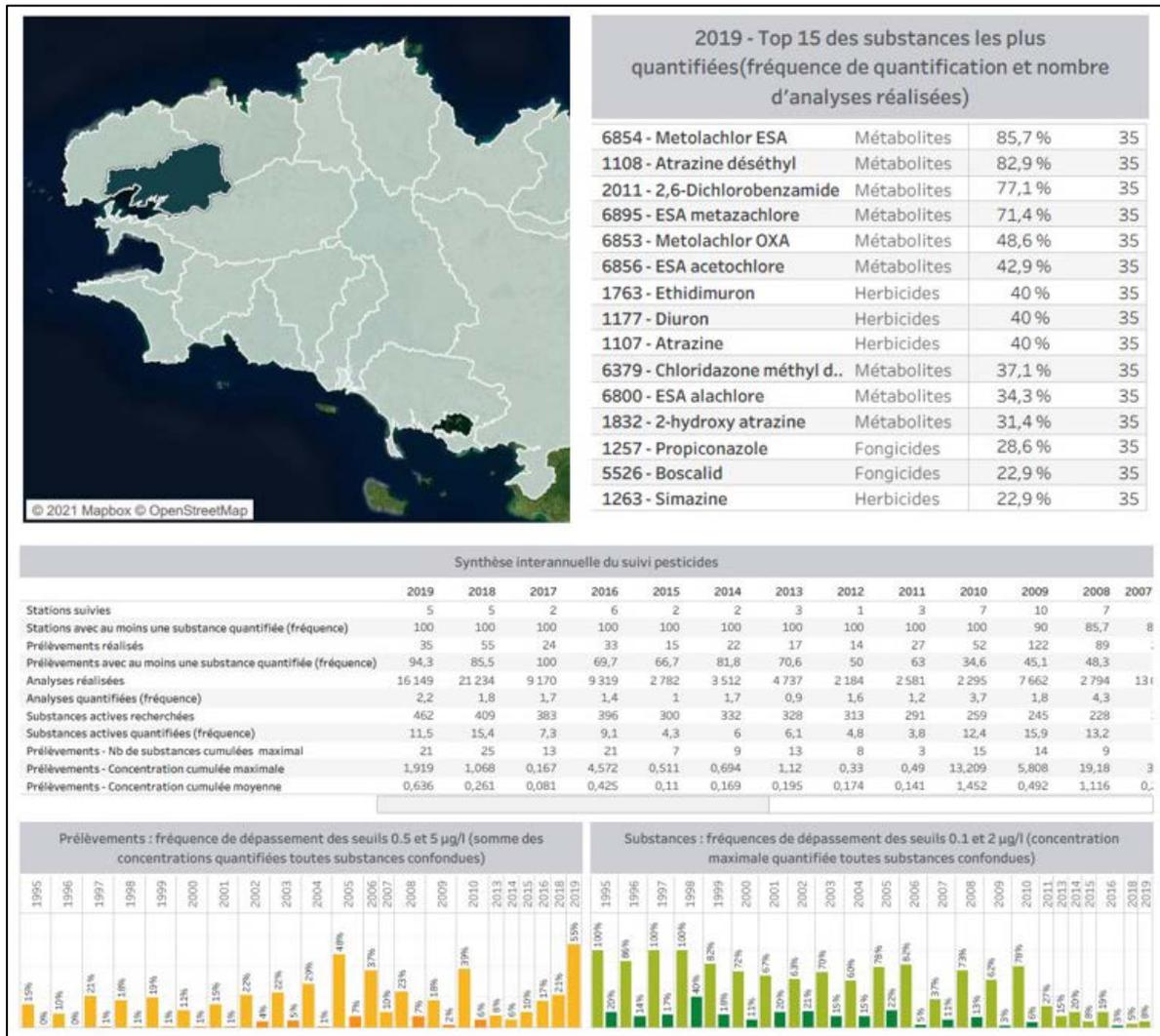


Figure 91 : Substances quantifiées dans les analyses d’eau (dont la concentration est supérieure au seuil de détection) et fréquence de dépassement des seuils de pesticides sur le bassin versant de l’Elorn (Bretagne-environnement.fr).

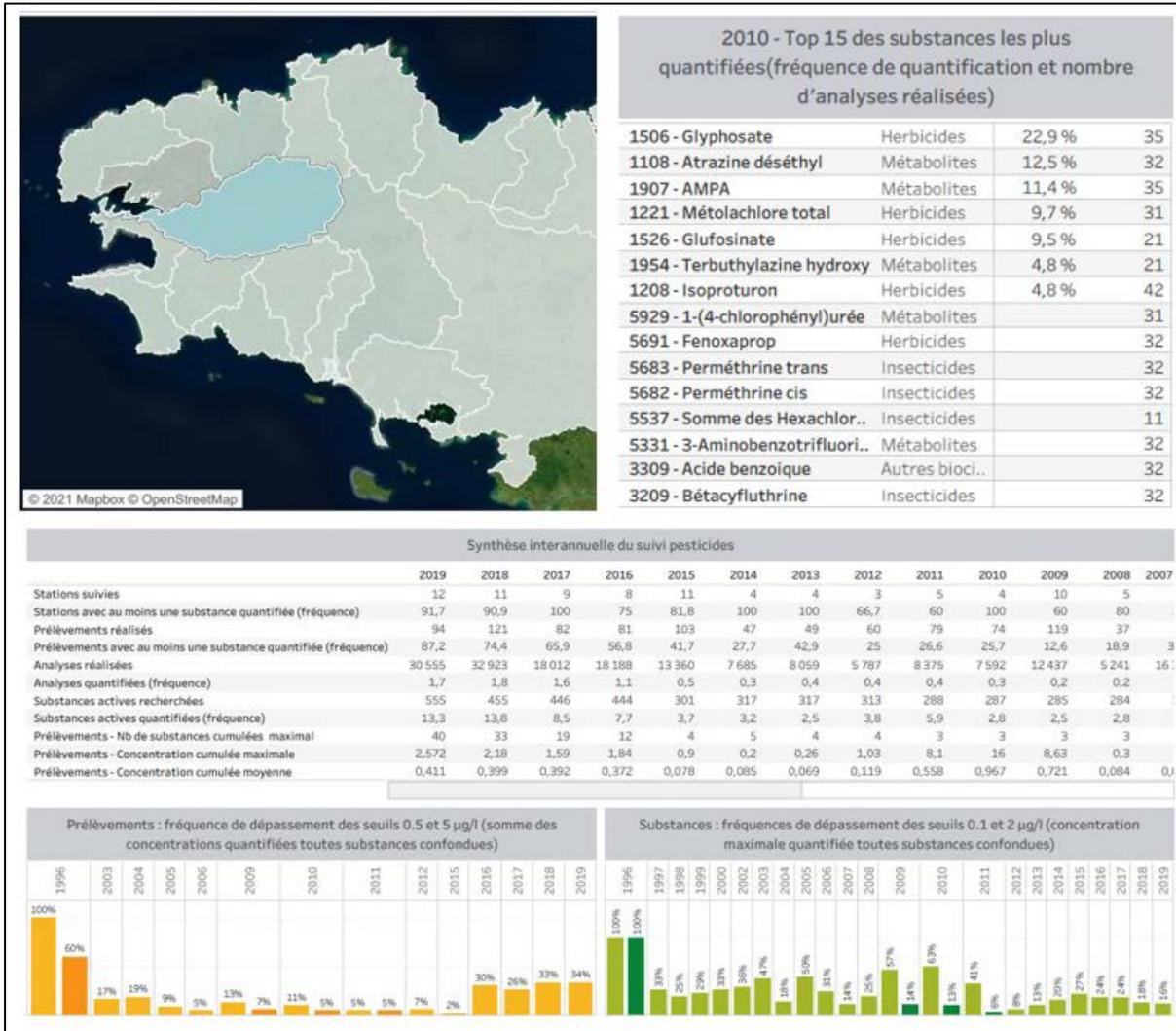
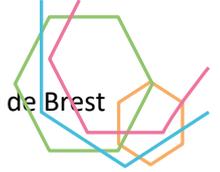


Figure 92 : Substances quantifiées dans les analyses d'eau (dont la concentration est supérieure au seuil de détection) et fréquence de dépassement des seuils de pesticides sur le bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr).

L'utilisation des pesticides affecte durablement les différents compartiments du milieu naturel (atmosphère, milieux terrestres, aquatiques et marins, Figure 93). Ces substances sont principalement destinées à la protection des cultures, et pour une part estimée entre 2 et 5% des quantités totales, à l'entretien des jardins, espaces végétalisés et infrastructures (Leenhardt et al., 2022). Les modes de propagation, de persistance et d'action varient selon le milieu et les espèces (Figure 93).

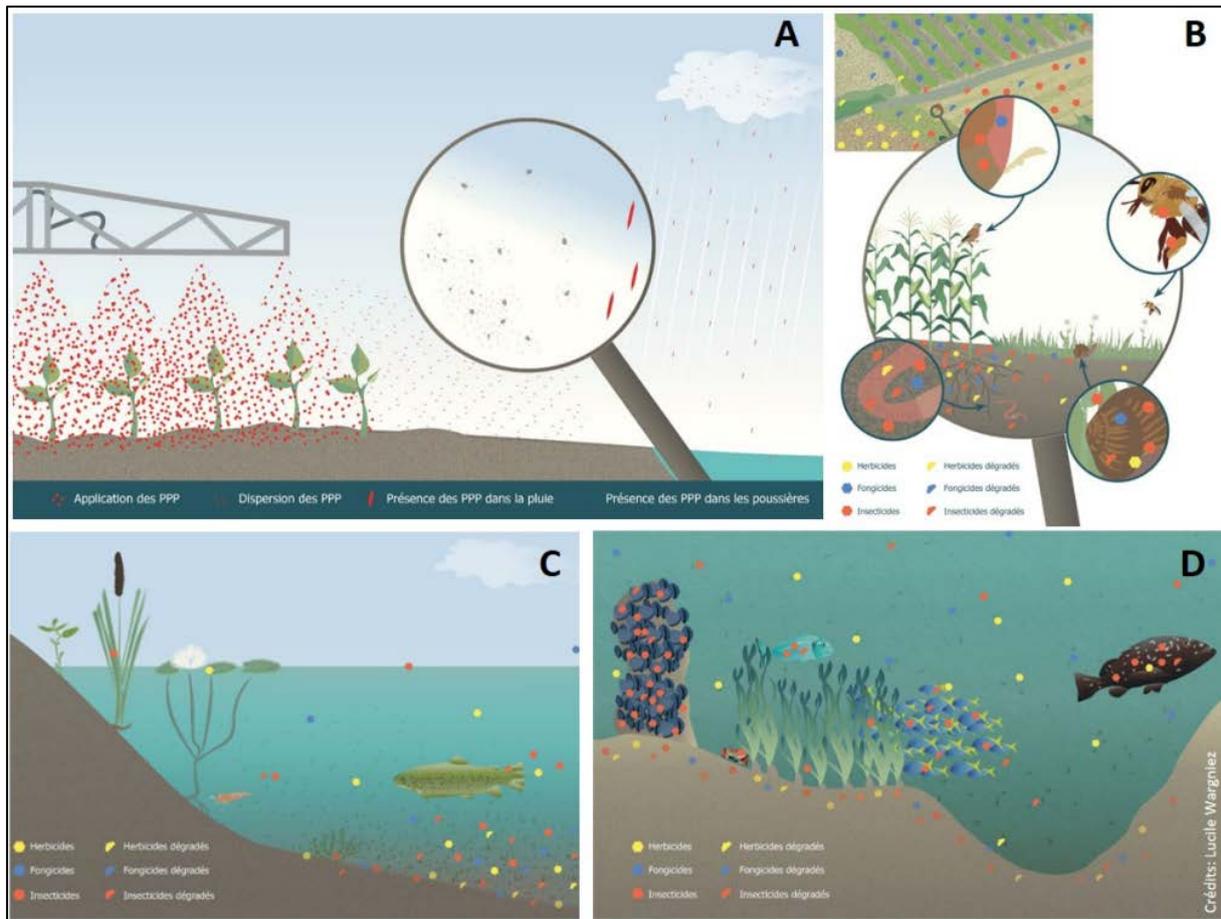
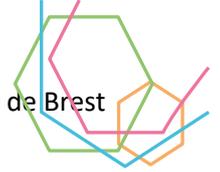


Figure 93 : Illustration schématique de la distribution par les pesticides dans différentes matrices présentes dans (A) l’atmosphère, (B) le milieu terrestre, (C) les milieux aquatiques continentaux, et (D) marins (Leenhardt et al., 2022).

Des biocides sont également fréquemment retrouvés dans des effluents de carénage de bateaux (Figure 94). Les installations de carénage, lorsqu’elles sont non-conformes au recueil et au traitement de ces effluents, peuvent rejeter ces composés biocides au milieu. Le graphique suivant présente les biocides utilisés dans les pots de peintures *antifouling* en vente en 2011 dans le Pays de Brest ⁶(Droit et Besançon, 2018).

⁶ Espace de coopérations et de solidarités qui réunit les intercommunalités Pays d’Iroise, Pays des Abers, Lesneven Côte des Légendes, Brest Métropole, Pays de Landerneau-Daoulas, Presqu’île de Crozon – Aulne Maritime, Pleuben – Châteaulin – Porzay

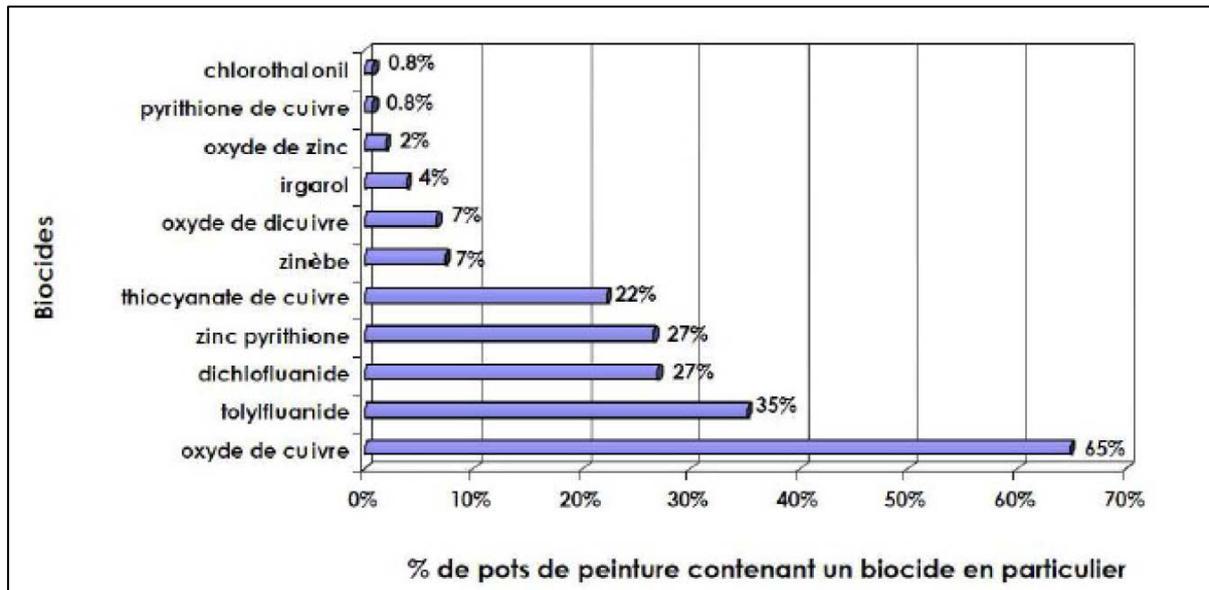


Figure 94 : Principaux biocides identifiés dans des pots de peinture antifouling en vente en 2011 dans le Pays de Brest (Droit et Besançon, 2018)

Selon les prélèvements d'effluents effectués dans le Parc Naturel Marin d'Iroise, les substances sont identifiées avec des fréquences variables. L'Irgarol et le Diuron sont présents dans 60% des prélèvements, le chlorothalonil dans 36% des prélèvements, le thirame dans 30% des prélèvements. Le Dichlorofluanide est plus rare (Droit et Besançon, 2018). L'usage du Diuron, du Chlorothalonil, et du Tolyfuanide est aujourd'hui interdit dans les peintures *antifouling*. Le TBT et d'autres organo-étains, pourtant interdits depuis de nombreuses années, sont encore retrouvés dans les boues de carénage.

II.2.1.2.2. Microplastiques

Les investigations pour la quantification des microplastiques (MP) sur le bassin versant de la rade de Brest sont développées depuis 2016. Dans ce cadre, le projet MICROPLASTIC2 propose d'identifier la pollution aux MP (particules < 5 mm) au travers de la détection, de l'identification des risques, et de la remédiation à l'interface terre-mer. Les trois campagnes de prélèvement et de comptage des MP sur le bassin versant de la rade ont eu lieu en septembre-octobre 2016, mai 2017 (campagnes temps sec) et en février 2019 (campagne temps de pluie). 13 points de prélèvements (MPB01 à MPB13) ont été étudiés sur les fleuves et rivières du bassin versant. Les points de prélèvement sont situés sur l'Aulne (4), sur l'Elorn (3), sur la Penfeld (1), sur la rivière de Daoulas (1), sur le Camfrou (1), sur la rivière du Faou (1), et sur la Douffine (1), et sur l'Argent (1). Le polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène sont les familles de MP majoritaires identifiées dans les fleuves et rivières du bassin versant de la rade. D'autres types de MP sont identifiés sur le bassin versant de la rade, parmi lesquels le polychlorure de vinyle, le polyuréthane, le polytéréphtalate d'éthylène, les gommes, résines, co-polymères etc (MICROPLASTIC2, 2020).

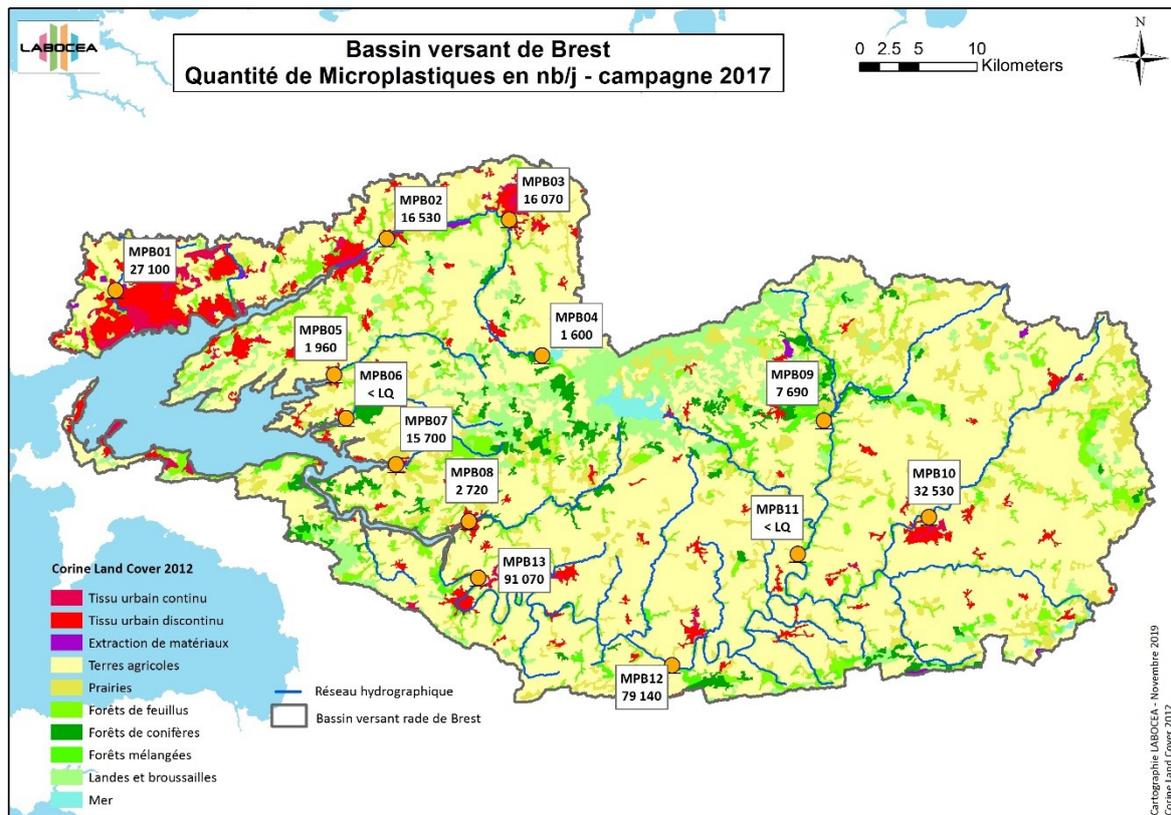
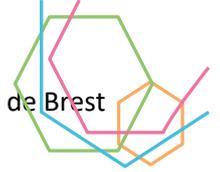


Figure 95 : Nombre de microplastiques (MP) comptabilisés lors de la campagne 2017 (MICROPLASTIC2, 2020).

Les résultats des trois campagnes de prélèvement peuvent être résumés comme suit (Figure 95) :

- Septembre – Octobre 2016 : Les quantités de MP aux points de prélèvements varient entre 0 (Elorn amont, Douffine, Argent) et plus de 45 000 MP/jour (Aulne, Faou). La contribution de chaque cours d'eau est largement influencée par leur débit. En moyenne, la concentration calculée est de 0.15 MP/m³ d'eau filtrée (1 MP pour 7 m³ d'eau) Les valeurs les plus fortes sont observées pour la Douffine (0.8 MP/m³) et la Penfeld (0.7 MP/m³).
- Mai 2017 : Les quantités de MP aux points de prélèvements varient entre 0 (fleuve Camfrout, Aulne amont) et plus de 75 000 MP/jour (Aulne, Aulne aval).
- Février 2019 : La concentration de MP est de 0.54 MP/m³, soit trois à quatre fois plus élevée que lors de la campagne de 2016 effectuée par temps sec. Les fleuves Elorn et de la Penfeld ont révélé des concentrations moyennes de 1.18 et 1.71 MP/m³.

Pour ce qui concerne les macrodéchets à une échelle plus locale focalisée sur l'Elorn, une campagne de collecte montre l'effet de concentration des déchets dans la partie aval des rivières. Ainsi, le niveau d'accumulation est faible sur les tronçons amont (Figure 96) et s'accroît progressivement vers la zone estuarienne avec des densités de déchets allant de 3 à 150 kg/km d'amont en aval, respectivement.

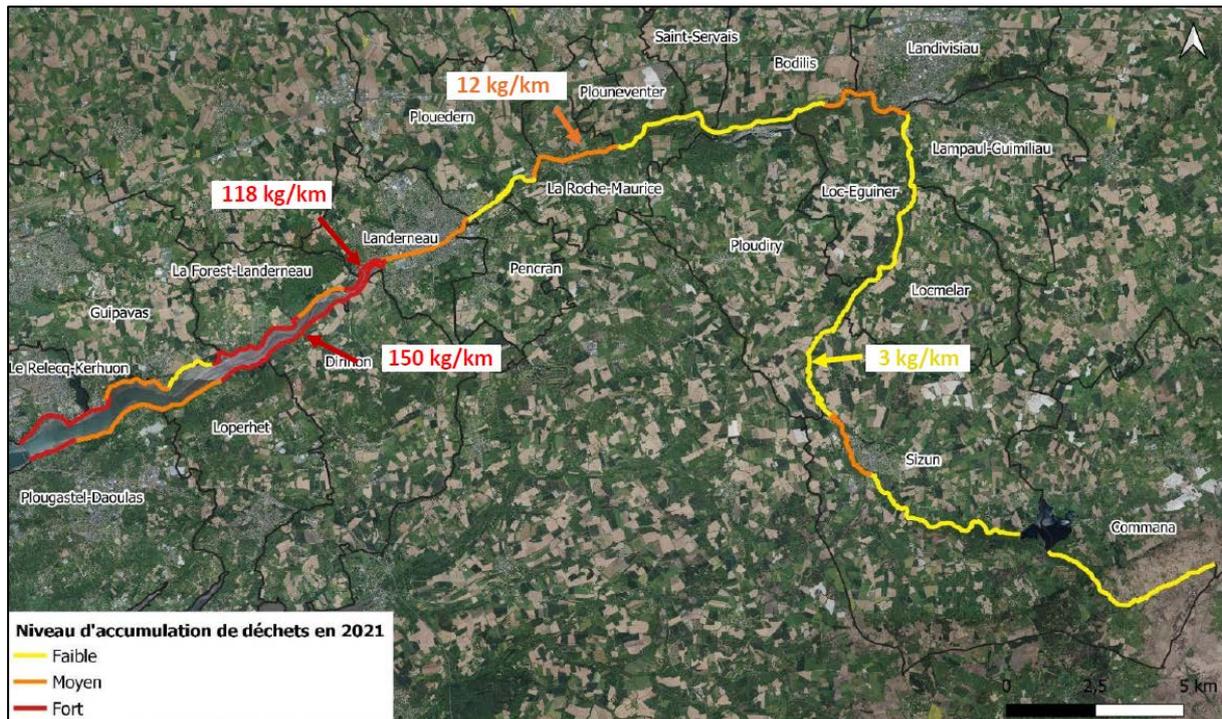
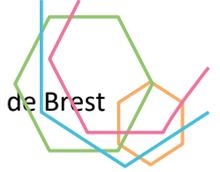


Figure 96 : Campagne de collecte des déchets sur l’Elorn dans le cadre de la mission PPP (Preventing Plastic Pollution, SBE).

Les campagnes de prélèvements successives sur les rivières du bassin versant de la rade de Brest et la mise au point d’une méthodologie robuste permettent à présent d’avoir une photographie des concentrations moyennes en MP dans l’eau et des proportions de polymère retrouvé. Les données de concentrations moyennes sur les rivières font apparaître des sous-bassins versants plus vulnérables au transit et à l’accumulation des MP dans l’eau. Il s’agit notamment des bassins versants urbains (Brest-Penfeld) et des bassins versants en aval des rivières (Aulne et dans une moindre mesure Elorn et Mignonne). Les types de MP retrouvés sont le Polyéthylène (Un tiers et jusqu’à 50% et plus des MP) et le Polypropylène (Figure 97).

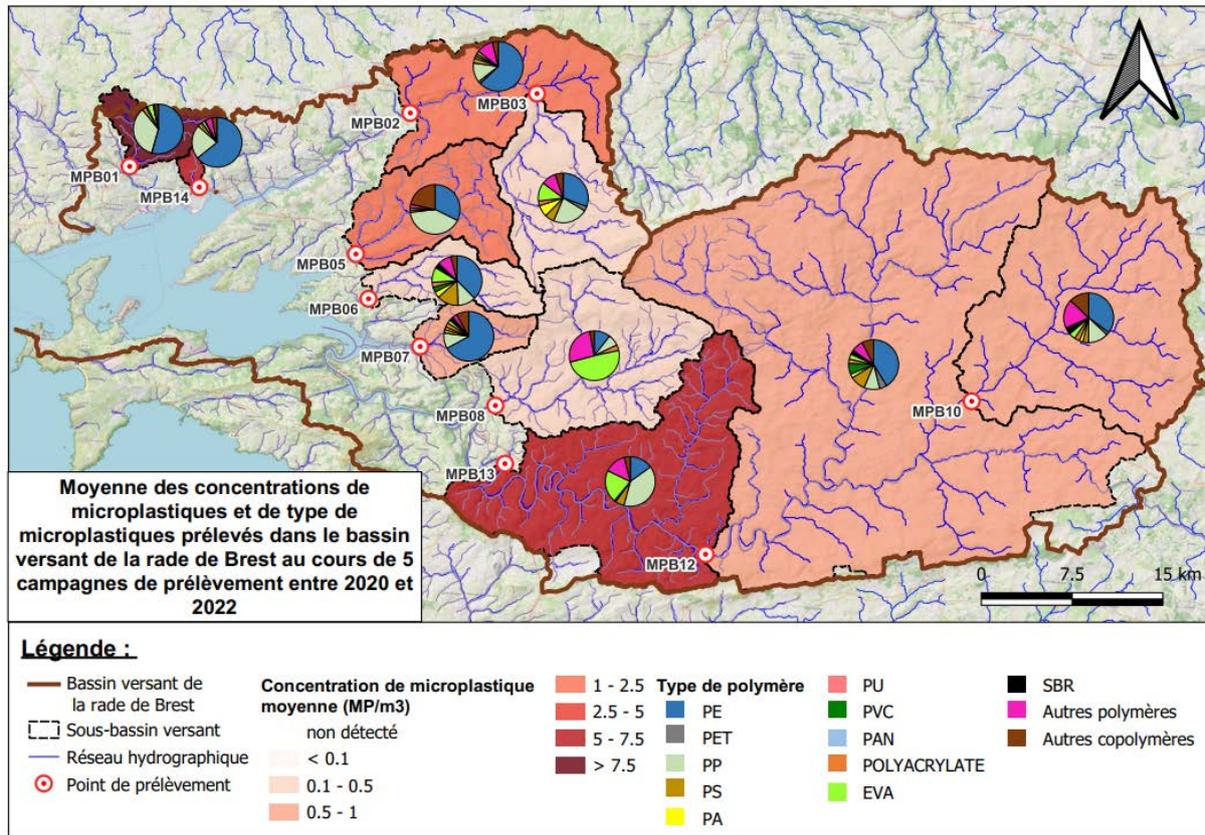
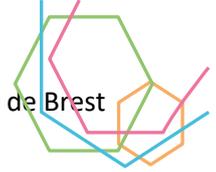


Figure 97 : Moyenne des concentrations de microplastiques et de type de microplastiques prélevés sur le bassin versant de la rade de Brest au cours de cinq campagnes de prélèvement (2020-2022). PE, Polyéthylène ; PET, Polyéthylène ; PP, Polypropylène ; PS, Polystyrène ; PA, Polyamide ; PU, Polyuréthane ; PVC, Polyvinyl Chloride ; PAN, Polyacrylonitrile ; EVA, Ethylène –Vinyl Acétate ; SBR, Styène-butadiène (Labocéa, Projet Preventing Plastic Pollution, INTERREG FMA FEDER).

Les études sur les microplastiques (MP) en rade de Brest ont débuté en 2014. Les MP ont une longueur maximale inférieure à 5 mm (Figure 98). Les études menées estiment à 0.24 MP/m³ leur concentration (± 0.35) dans la rade de Brest, soit environ 500 000 MP (Frère et al., 2017). La concentration de MP dans les sédiments est évaluée à 0.97 MP/kg de sédiment sec (Frère et al., 2017). Ces MP sont dominés par les fragments de Polyéthylène (53-67%), Polypropylène (16-30%) et Polystyrène (16-17%), respectivement (Frère et al., 2018). La répartition actuelle des MP dans la rade de Brest est due à la proximité des zones urbaines et au fonctionnement hydrodynamique en rade. Une modélisation de cette répartition montre une zone de convergence au centre de la rade durant les marées hautes, les débris flottants en provenance du Nord et du Sud de la rade s’accumulent avant d’être expulsés en Mer d’Iroise (Frère et al., 2017). Selon Frère et al. (2018), 60 % des MP sont expulsés de la rade de Brest dans une durée moyenne de 10 ans.

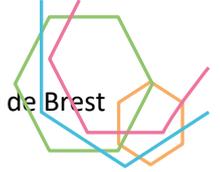


Figure 98 : Microplastiques flottants collectés en rade de Brest (Frère, 2017, photo par Hervé S.)

D'un point de vue temporel, les quantités les plus importantes de MP dans la rade de Brest sont mesurées en automne et contrastent sensiblement avec les concentrations mesurées au printemps (Figure 99). La distribution spatiale des MP est contrastée dans la rade de Brest. Les concentrations les plus fortes ont été observées sur le site M1 (Figure 99) dans une zone influencée par un mélange des eaux de la rade et de la Mer d'Iroise. Le site M1 est également situé à proximité des ports de plaisance, commerce, et du port militaire. Les concentrations les plus faibles sont observées sur le site E2, à l'exutoire de la Mignonne, où la concentration des MP est nulle ou quasi-nulle aussi bien à l'automne qu'au printemps (Frère et al., 2017). Les exutoires de l'Elorn et de l'Aulne (Figure 99) révèlent des concentrations plus importantes de MP tant pour l'Elorn (E1) que pour l'Aulne (E3). Cette différence est expliquée par la densité de population, plus importante sur le bassin versant de l'Elorn (253 habitants/hab/km²) que pour l'Aulne (< 38 habitants/hab/km², Frère et al., 2017).

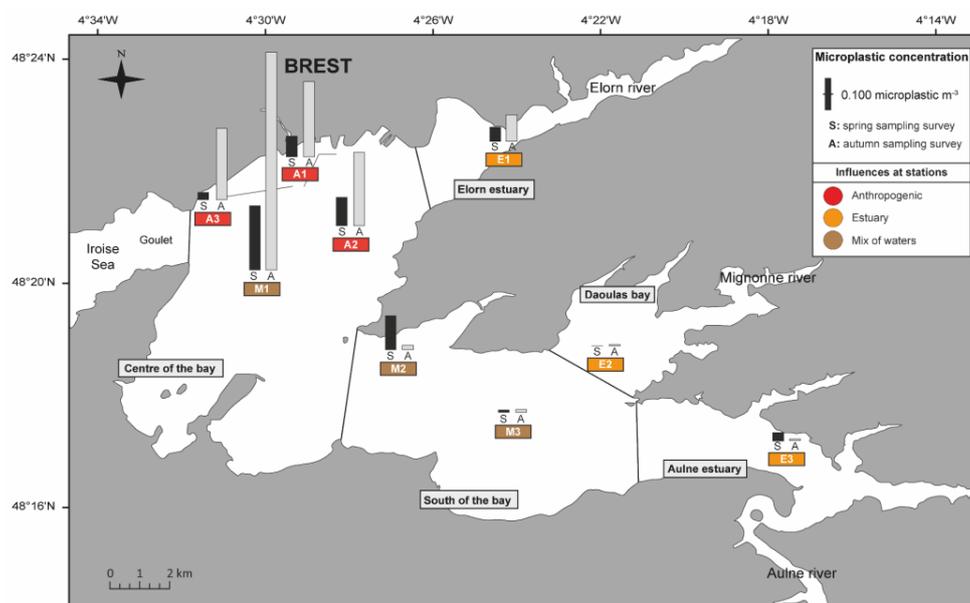


Figure 99 : Concentration en microplastiques (MP/m³) dans les eaux de surface de la rade de Brest au printemps et à l'automne 2014 (Frère, 2017).



II.2.1.2.3. Métaux lourds

Les anomalies de concentrations en certains métaux (Zn, Pb et Cd) constatées dans l'estuaire de l'Aulne et dans la partie méridionale de la rade sont majoritairement causées par la présence d'une ancienne mine de plomb argentifère exploitée au 18^{ème} et au 19^{ème} siècle (fermeture définitive en 1934) dans la région de Huelgoat-Poullaouen sur le bassin versant de l'Aulne (Figure 100). Jusqu'en 2020, il ne s'agissait que d'une hypothèse forte émise depuis déjà de très nombreuses années. Déjà en 1798, dans l'ouvrage de Cambry, « Voyage dans le Finistère ou état de ce département en 1794 et 1795 », les conséquences de cette exploitation sur l'environnement étaient décrites avec l'existence de mortalités de poissons liées à l'exploitation minière. Dans les années 1960, les risques de pollution n'avaient pas permis au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) de dénoyer la mine du Huelgoat pour se rendre compte des tonnages et des teneurs du minerai restant encore en place : les eaux stagnantes dans des kilomètres de galeries souterraines auraient nécessairement entraîné, par leur déversement dans le bassin de l'Aulne, la destruction des piscicultures installées à l'aval (Chauris, 1994). Aujourd'hui, des données de concentrations en éléments traces métalliques (ETM) permettent d'évaluer les niveaux de contamination dans les rivières des bassins versants et dans la rade de Brest.

Sur les bassins versants, des analyses réalisées dans les cours d'eau de la région de Huelgoat Poullaouen par Lemièrre et al. (2020), Guérin (2020) et Waeles (com. pers.) montrent que les cours d'eau influencés par la mine de Huelgoat-Poullaouen présentent des concentrations particulièrement fortes en plomb (Pb), zinc (Zn) et cadmium (Cd ; Figure 100) et des anomalies bien moins marquées pour d'autres éléments comme le cuivre (Cu) ou l'arsenic (As).

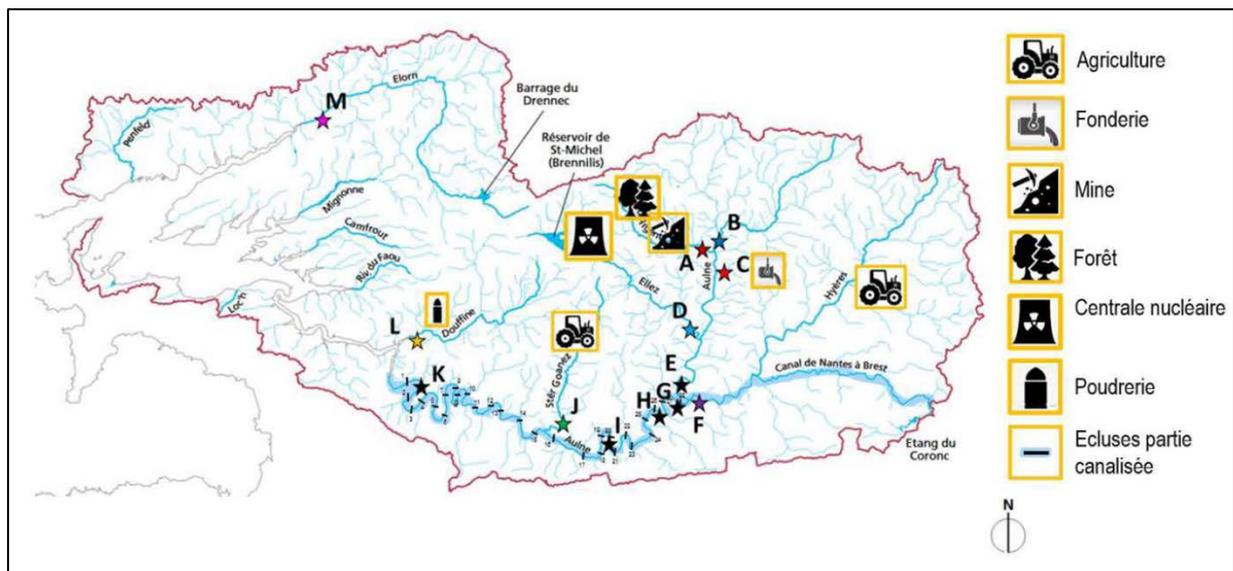


Figure 100 : Carte du bassin versant de la rade de Brest et localisation des sites d'échantillonnage (étoiles, chaque rivière est représentée par une couleur) et des activités présentes sur le territoire (Guérin, 2020).

La quantification des flux de métaux dissous et particulaires sur le réseau hydrographique montre que pour le Pb, le Zn et le Cd, l'essentiel du flux à l'exutoire de l'Aulne (point K) est acquis dans le tronçon (B-E ; Figure 100) correspondant au passage de l'Aulne dans la zone minière (Guérin, 2020). Ils montrent aussi que la rivière d'Argent et le ruisseau de Poullaouen, malgré leur contribution limitée au débit global de l'Aulne, représentent une bonne partie du flux observé à l'exutoire de Châteaulin (36%, 27% et 26%, respectivement).

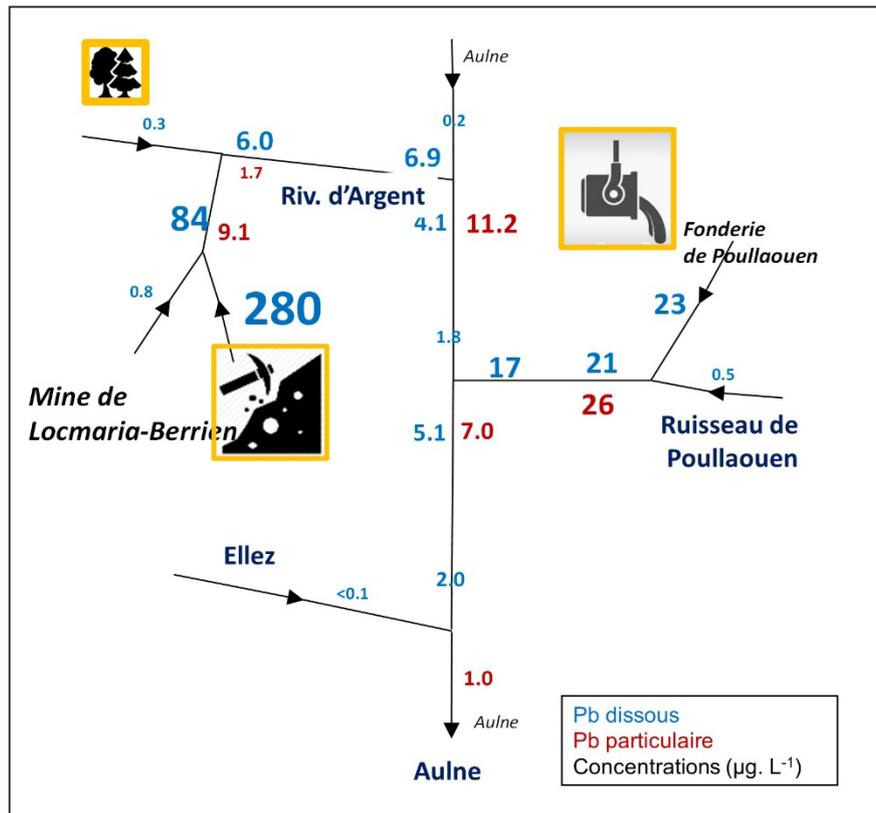
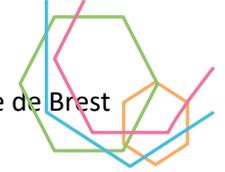
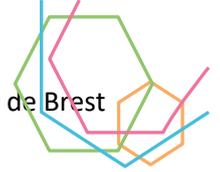


Figure 101 : Concentrations en plomb dissous et particulaire (associé aux matières en suspension) sur chaque tronçon du réseau hydrographique investigué dans la partie Aulne amont (Guérin, 2020 ; Waeles, comm. pers.)

En lien avec ces flux importants de métaux en provenance de l'Aulne (Tableau 19), les sédiments de surface de la partie Sud-Est de la Rade de Brest présentent des enrichissements relativement importants en Ag, Zn, Cd, et Pb par rapport au fond géochimique (Briant et al., 2022). Les facteurs d'enrichissement observés se situent généralement dans la gamme 1-3 pour l'Ag, 1-10 pour le Zn, et 2-15 pour le Cd et le Pb.

| | F (Zn) | F (Pb) | F (Cd) | F (Cu) | F (As) |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Aulne-Amont (B) | 10 | 1,1 | 0,06 | 1,6 | 0,9 |
| Riv. d'argent (A) | 14 | 4,8 | 0,12 | 0,4 | 0,4 |
| Ruiss. Poullaouen (C) | 12 | 3,1 | 0,07 | 0,2 | 0,04 |
| Ellez (D) | 3,4 | 0,5 | 0,03 | 0,7 | 1,3 |
| Aulne-Pont Triffen (E) | 70 | 18 | 0,56 | 3,7 | 2,9 |
| Hyères (F) | 25 | 2,4 | 0,20 | 4 | 2,8 |
| Ster Goanez (J) | 2 | 0,4 | 0,03 | 0,7 | 0,3 |
| Aulne-Châteaulin (K) | 97 | 22 | 0,74 | 11 | 6 |
| Douffine (L) | 8,1 | 0,7 | 0,04 | 0,9 | 0,4 |

Tableau 19 : Flux (kg/j) de Pb, Cd, Zn, As et Cu total (dissous + particulaire) dans les principaux affluents de l'Aulne (Rivière d'Argent (A), Ruisseau de Poullaouen (C), Ellez (D), Hyères (F), Ster Goanez (J), Douffine (L) pendant l'hiver 2020 (Guérin, 2020). Sites d'échantillonnage à mettre en regard de la Figure 101.



Dans la rade de Brest, les éléments de synthèse présentés ici sur la contamination chimique des sédiments de la rade de Brest se réfèrent à trois sources de données distinctes :

- Les résultats collectés depuis la fin des années 70 par l'observatoire Réseau d'Observatoire de la Contamination Chimique ROCCh en 12 points répartis dans la rade. Les contaminants chimiques étudiés sont les contaminants « prioritaires » retenus dans la convention OSPAR (Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, Oslo-Paris). Ces travaux ont été complétés récemment par l'analyse de sédiments de surface collectés en 43 points de la partie Sud-Est de la Rade, de la Baie de Daoulas à la zone méso-haline de l'estuaire de l'Aulne (Briant et al., 2022).
- Les résultats du REPOM (Réseau national de surveillance de la qualité des eaux et des sédiments des Ports Maritimes) dont le suivi a cessé en 2010. Les données recueillies couvrent la période 2000-2009 sur 2 points du port de commerce et deux points de la rade abri.
- Les résultats des campagnes de mesure réalisées en 2009 et 2011 à l'initiative de Brest Métropole sur le bassin versant de la Penfeld (7 points répartis sur la rivière Penfeld et ses principaux affluents), son estuaire (2 points) et dans la rade abri (4 points).

Les contaminants chimiques ont des sites de fixation préférentiels à la surface des particules sédimentaires (argiles pour les métaux, matière organique pour les contaminants organiques) et la concentration en contaminants sédimentaires est ainsi dépendante de la nature des sédiments. Aussi, pour normaliser les concentrations mesurées, l'observatoire ROCCh recalcule celles-ci pour des teneurs en aluminium et en Carbone Organique Particulaire données (Al : 5% et COP : 2,5).

Cet exercice de normalisation n'a pas été réalisé dans le cadre du suivi REPOM ni celui de la campagne de caractérisation des sédiments sur la Penfeld et la rade abri. Aussi, la comparaison des résultats acquis sur la grande rade d'une part et l'estuaire de la Penfeld et la rade abri d'autre part zones perd de sa rigueur mais elle permet tout de même de dégager des conclusions générales sur la répartition de la contamination chimique en rade et la localisation des sources d'apports contaminants.

Les prélèvements ont tous été réalisés sur des sédiments de surface qui sont en équilibre chimique avec la colonne d'eau sus-jacente, ce qui en fait des matrices intégratrices qui conservent la mémoire des apports contaminants auxquels ils ont été exposés.

Pour valoriser ces résultats, il existe de multiples références de qualité mobilisables. Le choix a été porté ici sur le critère de qualité nommé ERL (*Effect Range Low*). En deçà des valeurs d'ERL, on considère les organismes benthiques ne sont pas soumis à des effets toxiques :

- Cadmium (ERL : 1.2 µg/g) : dépassements constatés dans l'estuaire de la Penfeld et dans l'Aulne ;
- Plomb (ERL : 47 µg/g) : dépassements constatés dans toute la rade ;
- Zinc (ERL : 150 µg/g) : dépassements constatés dans une grande partie de la rade ;
- Cuivre (ERL : 34 µg/g) : forts dépassements constatés dans l'estuaire de la Penfeld et la rade abri, ponctuellement dans l'Aulne au niveau du Pont de Térénez et plus marginalement dans l'Elorn ;
- Mercure (ERL : 0.15 µg/g) : dépassements observés dans toute la rade.

Toutes les valeurs de concentration présentées ici correspondent à des valeurs médianes établies à partir de l'ensemble des données collectées.

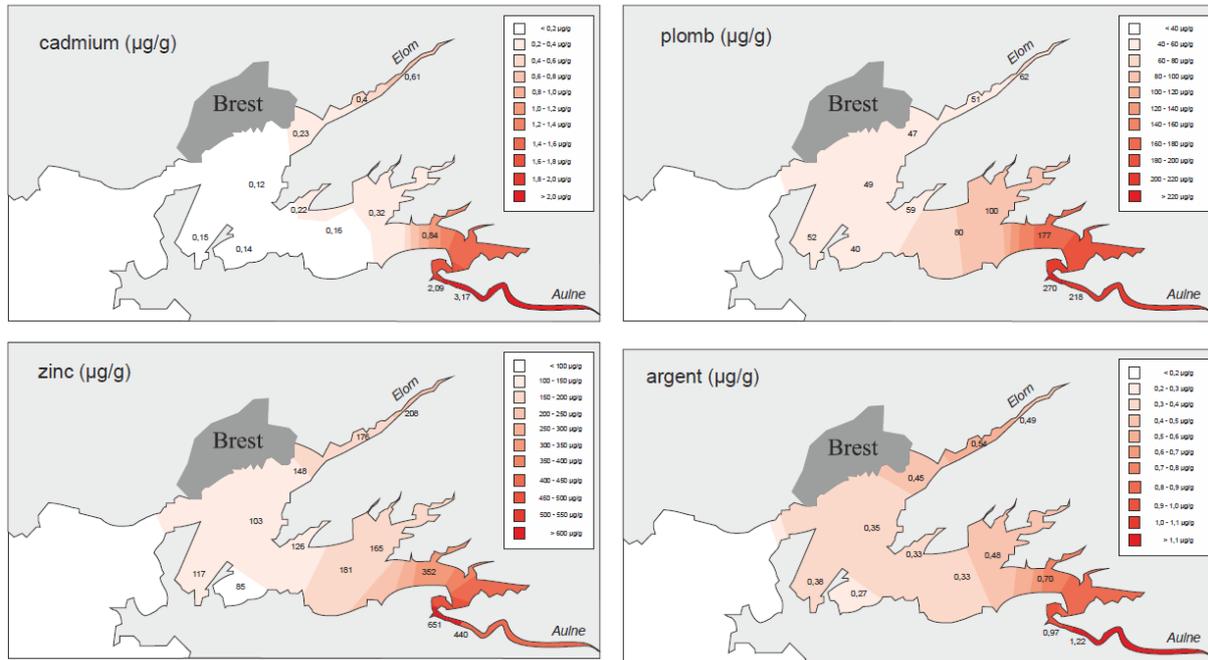
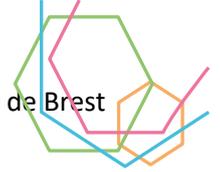


Figure 102 : Cartographie de la contamination en Cadmium, plomb, zinc et argent dans les sédiments de la rade de Brest (Chiffolleau et al., 2017).

Les observations sur la base de résultats pour les concentrations en métaux lourds dans la rade de Brest peuvent être résumées comme suit :

- Des gradients de contamination au cadmium sont observés sur les trois estuaires Penfeld, Elorn et Aulne (Figure 102). Sur la Penfeld, les plus fortes concentrations se situent dans la partie amont de l'estuaire et l'origine de la contamination paraît donc attribuable à des rejets très localisés attribuables à des activités passées ou encore présentes localisées dans l'estuaire lui-même ou dans son très proche environnement. Les dépassements du seuil ERL sont constatés uniquement dans l'estuaire de la Penfeld et l'estuaire de l'Aulne.
- Les gradients de contamination au plomb et la localisation des secteurs les plus contaminés sont assez équivalents à ceux qui ont été observés pour le cadmium (Figure 102).
- Pour le zinc (Figure 102), les gradients de contamination et la localisation des secteurs les plus contaminés sont assez équivalents à ceux qui ont été observés pour le cadmium et le plomb. Dans les trois cas, ce sont l'Aulne et l'estuaire de la Penfeld qui sont le plus largement contaminés mais alors que la contamination provenant de la Penfeld ne semble pas affecter sensiblement la qualité des sédiments au-delà de la rade abri, celle de l'Aulne s'étend largement sur une bonne partie de la rade méridionale.
- L'argent n'a été recherché que dans le cadre du réseau ROCHH. Le plus fort gradient de contamination observé se situe là-encore depuis l'estuaire de l'Aulne jusqu'à une bonne partie de la rade méridionale.
- Les plus fortes anomalies positives en cuivre sont décelées dans l'Aulne au niveau de la station Pont de Térénez et dans l'estuaire de la Penfeld. Les deux principales sources d'émission en cuivre qui expliqueraient les concentrations plus élevées observées dans la partie septentrionale de la rade seraient, d'après la distribution des valeurs constatées, dans la rade la Penfeld estuarienne et la rivière de l'Elorn. Sur la base des données exploitées, il n'est pas



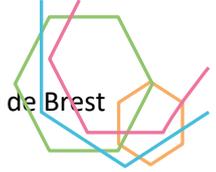
possible de discriminer les parts respectives de ces deux sources mais elles pourraient être assez équivalentes avec pour conséquence, des niveaux de concentrations voisines de la valeur ERL dans la partie nord de la rade.

- La cartographie des teneurs des sédiments en mercure et les mesures réalisées dans la rade abri et le port de commerce suggèrent l'existence de contributions d'ampleurs assez partagées entre l'Elorn et l'Aulne. Les apports de contamination pourtant très conséquents mis en évidence dans l'estuaire de la Penfeld et dans le port de commerce ne semblent pas influencer sensiblement la qualité des sédiments de la grande rade.

La rade de Brest est ainsi particulièrement affectée par des pollutions de métaux lourds dans les sédiments. La Figure 103 permet de replacer les données de la rade de Brest dans le contexte de la Bretagne. La rade de Brest est ainsi le seul secteur de Bretagne Nord affecté par des contaminations au Plomb, au Mercure, ou à l'Argent.

| région | N° de station | Argent Cadmium Cuivre Mercure Plomb Zinc | Anthracène Benzo(a) anth. Benzo(a) pyrène Benzo (g,h,i) pénéliène Fluoranthène Indéno pyrène Naphtalène Phénanthrène Pyrène |
|------------------------------------|---------------|---|---|
| du Mont Saint-Michel au Cap Fréhel | 1 | | |
| | 2 | | |
| | 3 | ■ | |
| | 4 | ■ | |
| | 5 | | |
| | 6 | | |
| | 7 | | |
| Baie de Saint Brieuc | 8 | | |
| | 9 | | |
| | 10 | | |
| | 11 | | |
| | 12 | ■ | |
| | 13 | ■ | |
| | 14 | | |
| Trioux - Paimpol - Perros Guirec | 15 | ■ | |
| | 16 | ■ | ■ |
| | 17 | | ■ |
| | 18 | | ■ |
| Léguer - Morlaix | 19 | | |
| | 20 | | |
| | 21 | | ■ |
| | 22 | | ■ |
| | 23 | | |
| Les abers | 24 | | |
| | 25 | | ■ |
| | 26 | | ■ |
| | 28 | | ■ |
| rade de Brest | 27 | ■ | |
| | 28 | ■ | |
| | 29 | ■ | |
| | 30 | ■ | |
| | 31 | ■ | |
| | 32 | ■ | ■ |
| | 33 | ■ | ■ |
| | 34 | ■ | ■ |
| | 35 | ■ | ■ |
| | 36 | ■ | ■ |
| | 37 | ■ | ■ |
| 38 | ■ | ■ | |

Figure 103 : Synthèse des données de contamination chimique sédimentaire de la rade de Brest et comparaison avec les baies de Bretagne Nord. En rouge, concentrations dépassant les seuils 'hauts' selon l'OSPAR. En jaune, concentrations remarquablement élevées de la série (Chiffolleau et al., 2017).



Cuivre (ERL: 34 µg/g)

| | |
|--------------------------------|----------|
| La Penfeld et ses affluents | 4 - 25 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 650 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 416 |
| Rade abri | 40 - 62 |
| Port de commerce | 39 - 181 |

Mercure (ERL: 0,15 µg/g)

| | |
|--------------------------------|-------------|
| La Penfeld et ses affluents | 0,04-0,29 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 3,9 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 2,8 |
| Rade abri | 0,33 - 0,93 |
| Port de commerce | 0,13 - 0,77 |

Hydrocarbures Aromatiques polycycliques (ERL: 600 µg/kg)

| | |
|--------------------------------|-------------|
| La Penfeld et ses affluents | 90 - 480 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 8240 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 2910 |
| Rade abri | 450 - 1610 |
| Port de commerce | 1130 - 4640 |

Zinc (ERL: 150 µg/g)

| | |
|--------------------------------|----------|
| La Penfeld et ses affluents | 72 - 295 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 1300 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 650 |
| Rade abri | 73 - 184 |
| Port de commerce | 38 - 275 |

Plomb (ERL: 47 µg/g)

| | |
|--------------------------------|----------|
| La Penfeld et ses affluents | 19 - 27 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 1041 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 206 |
| Rade abri | 52 - 78 |
| Port de commerce | 38 - 107 |

Cadmium (ERL: 1,2 µg/g)

| | |
|--------------------------------|------------|
| La Penfeld et ses affluents | 0,2 - 0,42 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 4,8 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 1,9 |
| Rade abri | 0,2 - 1 |
| Port de commerce | 0,24 - 0,9 |

Tableau 20 : Concentrations en contaminants chimiques mesurées dans les sédiments. Tous les résultats sont exprimés en µg/g (ou µg/kg) de matière sèche. ERL, Effect Low Range indique la concentration en dessous de laquelle les effets toxiques ne sont pas ou peu observés (Chiffolleau, 2017).

II.2.1.2.4. HAP et PCB

Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les valeurs sont exprimées en µg/kg et non en µg/g (Tableau 21). Le fluoranthène est un indicateur des différents HAP présents dans l'environnement et représente en proportion à l'échelle locale de la rade de l'ordre de 10 à 20 % de ces composés (Figure 104). Les concentrations relevées dans l'estuaire de la Penfeld, la rade abri et le port de commerce sont très élevées et dépassent systématiquement le seuil. L'ensemble des données acquises sur ce paramètre et la cartographie des teneurs des sédiments en rade suggèrent très fortement la part prédominante de l'agglomération brestoise comme source première de contamination.

| | |
|--------------------------------|-------------|
| La Penfeld et ses affluents | 90 - 480 |
| Estuaire de la Penfeld - amont | 8240 |
| Estuaire de la Penfeld - aval | 2910 |
| Rade abri | 450 - 1610 |
| Port de commerce | 1130 - 4640 |

Tableau 21 : Concentrations en HAP (microgrammes/kg) (Labocéa, 2013)

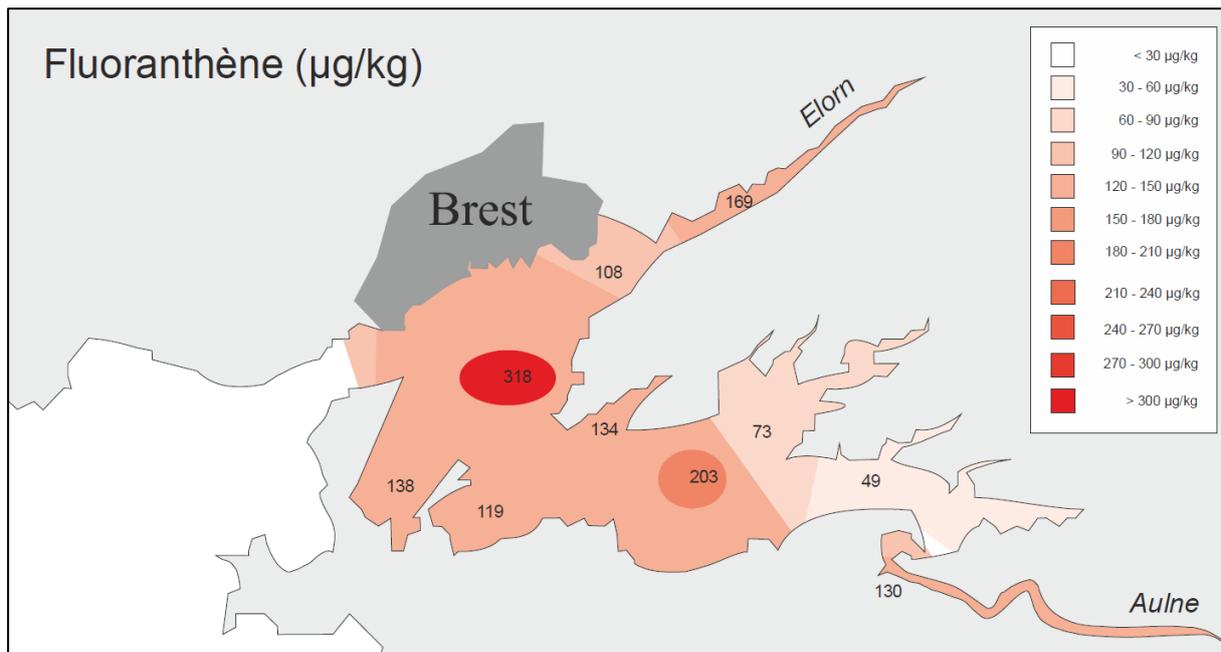
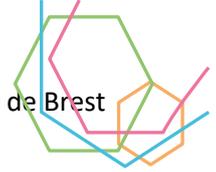
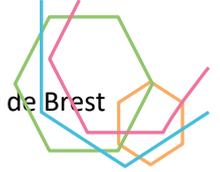


Figure 104 : Teneurs en fluoranthène en dans la rade de Brest (Chiffolleau et al., 2017).

Les Polychlorobiphényles (PCBs) sont représentés par deux congénères, le CB 118 de type dioxine, l'un des PCBs les plus toxiques, et le CB 153 de type « non-dioxine ». Il n'existe pas de valeur ERL (*Effect Range Low*) définie pour les PCBs mais des critères d'évaluation environnementale (EAC) ont été établis. Les teneurs inférieures aux EAC ne devraient pas avoir des effets chroniques sur les espèces marines sensibles et ne devraient donc présenter aucun risque significatif pour l'environnement. Ces EAC sont de 0.6 µg/kg pour le CB 118 et 40 µg/kg pour le CB 153. Sur l'ensemble des 12 stations ROCCH en rade, les valeurs maximales observées sont pour le CB 118 et le CB 153 respectivement de 0.6 µg/kg et 1 µg/kg. De très fortes concentrations ont été relevées en 2011 dans la partie amont de l'estuaire de la Penfeld (90 µg/kg pour le CB 118 et 240 µg/kg pour le CB 153). A l'embouchure de l'estuaire, les concentrations sont encore de l'ordre de 20 µg/kg. Comme pour les HAPs, la part prédominante de l'agglomération brestoise comme source première de contamination en PCBs dans la rade est fort probable.

II.2.1.2.5. Substances médicamenteuses

Les substances médicamenteuses recherchées dans les eaux brutes et eaux traitées sur les bassins versants de l'Aulne et de l'Elorn entre 2015 et 2017 concernent i) les installations de Pont-ar-bled, Costour, Moulin Kerhuon et Moulin Blanc en aval de l'Elorn ; ii) les installations de Stanger (sur l'Hyère, voir Figure 4), de Bizernig, Prat Hir, Guy Robin, Coatigrac'h et Dineault sur l'Aulne, d'amont en aval, respectivement (Résultats d'analyse de résidus de médicaments dans les eaux destinées à la consommation humaine). Considérant qu'aucune limite ou référence de qualité pour les substances médicamenteuses dans l'eau du robinet n'a été fixée par les institutions sanitaires, les substances citées ci-après correspondent à des concentrations excédant la limite de quantification. Ainsi, 13 substances sont décelées au-delà de leur limite de quantification. Ces substances peuvent être classées en six familles que sont les neuroleptiques (Oxazepam, Carbamazepin, Epoxy-carbamazepine 10, 11), les analgésiques (Paracétamol), les anti-inflammatoires (Diclofénac Sodium), les antibiotiques (Triméthoprime, Sulfaméthoxazole, Flumequine), les substances cardiovasculaires (Metoprolol tartrate, Losartan potassium, Trimétazidine, Atenolol) et les diurétiques (Hydrochlorothiazide). En outre, la caféine est recherchée en tant que marqueur de la pression anthropique. Dans le détail, les substances médicamenteuses sont étudiées sur i) le bassin versant de l'Elorn, et ii) le bassin versant de l'Aulne comme suit :

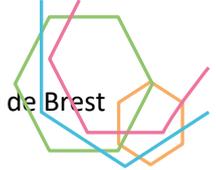


- i) Sur l'Elorn, les substances décelées quasi systématiquement dans les eaux brutes et parfois dans les eaux traitées sont principalement des neuroleptiques (Carbamazepine, Epoxycarbamazepine 10, 11, et Oxazepam) en plus de la caféine. Certains antibiotiques (Triméthoprime, Sulfaméthoxazole, Flumequine) sont détectés régulièrement dans les eaux brutes de l'usine de Pont-ar-Bled, mais ne sont pas retrouvés dans les eaux traitées. Certains analgésiques (Paracétamol) et médicaments cardiovasculaires (Metoprolol tartrate, Losartan potassium, Trimétazidine 2 HCL) sont exceptionnellement détectés dans les eaux brutes, mais ne sont pas détectés dans les eaux traitées.
- ii) Sur le bassin versant de l'Aulne, les analyses sur les eaux brutes de l'usine Stanger (sur l'Hyère, Figure 4) reportent une présence de certains anti-inflammatoires non stéroïdiens (Diclofénac sodium), de certains neuroleptiques (Oxazepam), et de certains médicaments cardiovasculaires (Trimétazidine 2 HCL, Atenolol) en plus de la caféine. D'autres substances neuroleptiques (Carbamazepine, Epoxycarbamazepine 10, 11), médicaments cardiovasculaires (Metoprolol tartrate, Losartan potassium), analgésiques (paracétamol) et diurétiques (Hydrochlorothiazide) sont détectés ponctuellement. Sur le bassin de l'Aulne, l'installation de Bizernig atteste de la présence de certaines substances de la famille des anti-inflammatoires (Diclofénac Sodium) et des neuroleptiques (Oxazepam) en plus de la caféine dans les eaux brutes et traitées. En aval de l'Aulne, les analyses sur les prises d'eau de Coatigrac'h et de Prat Hir attestent une présence commune de certains anti-inflammatoires (Diclofénac), neuroleptiques (Oxazepam), et antibiotiques (Sulfaméthoxazole) en plus de la caféine. Certaines substances sont spécifiques à l'une ou l'autre prise d'eau. C'est le cas de l'Atenolol (cardiovasculaire) et de la Carbamazepine (neuroleptique) pour Coatigrac'h, ce dernier étant également détecté dans le réservoir de Guy Robin.

II.2.2. Bactéries et virus d'origine fécale

Les eaux usées domestiques, les effluents d'élevage mais aussi les animaux domestiques ou sauvages dont les oiseaux sont autant de sources de pollution fécale, plus ou moins bien maîtrisées ou maîtrisables, qui émettent des bactéries et des virus dans l'environnement. Pour le contrôle et le suivi de ces pollutions microbiologiques, l'indicateur de contamination fécale utilisé est souvent *Escherichia coli* car sa détection reflète la présence possible de micro-organismes pathogènes d'origine fécale. Ainsi, par exemple, pour le classement des zones conchylicoles et de pêche à pied dans les coquillages, c'est cet indicateur *E. coli* qui est utilisé même si en termes de risques sanitaires, ce sont principalement les virus entériques et tout particulièrement les norovirus qui entraînent des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) liées à la consommation de coquillages contaminés en période épidémique hivernale. Contrairement aux bactéries pathogènes pour l'Homme, qui peuvent provenir des fèces et effluents d'origine urbaine, agricole et sauvage, les norovirus pathogènes pour l'Homme sont presque exclusivement d'origine humaine. Si le potentiel d'auto-épuration de *E. coli* dans le milieu naturel est relativement fort, il en va différemment pour les norovirus et autres virus entériques qui peuvent rester infectieux plusieurs semaines.

Les flux médians de bactéries fécales du type *Escherichia coli* rejetés en rade ont été estimés pour les principales rivières se rejetant en rade et les stations d'épuration qui rejettent en rade (Tableau 22). Le calcul réalisé montre que rivières et stations d'épuration et déversoir d'orages dans des proportions similaires à la contamination microbiologique de la rade.



| Rivières rade de Brest | E. coli (nb/ 100 ml) | Surface bv km2 | Débit moyen l/s | Charge E. coli (nb/s) |
|---|----------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Elorn à Landerneau | 1,E+03 | 291 | 5966 | 7,94E+07 |
| Aulne à Chateaulin | | 1490 | 24734 | |
| La Douffine | 2,E+03 | 139 | 3002 | 5,31E+07 |
| Rivière du Faou | 2,E+03 | 76 | 1368 | 2,33E+07 |
| La Mignonne (Irvillac) | 5,E+02 | 70 | 1519 | 8,25E+06 |
| Le Camfrou (Hopital-camfrou) | 8,E+02 | 68 | 1224 | 9,79E+06 |
| Bassins de Brest métropole | 7,E+03 | 133 | 2587 | 1,88E+08 |
| Sous-total : | | 2267 | 40400 | 3,62E+08 |
| Stations d'épuration avec rejet en rade | | | | |
| Brest - Maison Blanche | 3,E+04 | | 120 | 4,E+07 |
| Brest - Zone Portuaire | 7,E+04 | | 394 | 3,E+08 |
| Landerneau | 6,E+01 | | 50 | 3,E+04 |
| La Forêt Landerneau | 6,E+01 | | 2 | 9,E+02 |
| Lanveoc | 1,E+06 | | 4 | 4,E+07 |
| Roscanvel | 2,E+01 | | 1 | 1,E+02 |
| Sous-total : | | | 571 | 4,E+08 |
| Déversoirs d'orage avec rejet en rade | | | | |
| Brest déversoirs d'orage (Penfeld et rade abri) | 2,E+06 | | 100 | 2,E+09 |

Tableau 22 : Concentrations et charges en Escherichia coli à l'échelle des bassins versants de la rade (chroniques 2016-2019, Labocéa)

Les calculs de flux d'*Escherichia Coli* rejetés dans la rade ne comprennent pas les apports de certains petits cours d'eau et des exutoires de réseaux d'eaux pluviales qui se rejettent dans le milieu marin (Figure 105). Les concentrations en *E. Coli* ne sont élevées dans la rade qu'au niveau des estuaires, des fonds de baie et dans la stricte frange littorale à proximité des points de rejet. Brassage et autoépuration conduisent à ce que les concentrations diminuent très rapidement vers le large. Les calculs de flux globaux ont une valeur indicative car en termes d'impacts, ce sont presque toujours les rejets situés à proximité directe d'usages sensibles comme la baignade, la pêche à pied ou la conchyliculture qui sont générateurs d'impacts. Ainsi, les suivis réglementaires réalisés au débouché des stations d'épuration de l'agglomération brestoise et les résultats de modélisation de la dispersion de leurs rejets suggèrent qu'elles ne peuvent générer d'impact sur les zones de baignade ou les zones conchylicoles, car bien trop éloignées de ces zones d'usage.

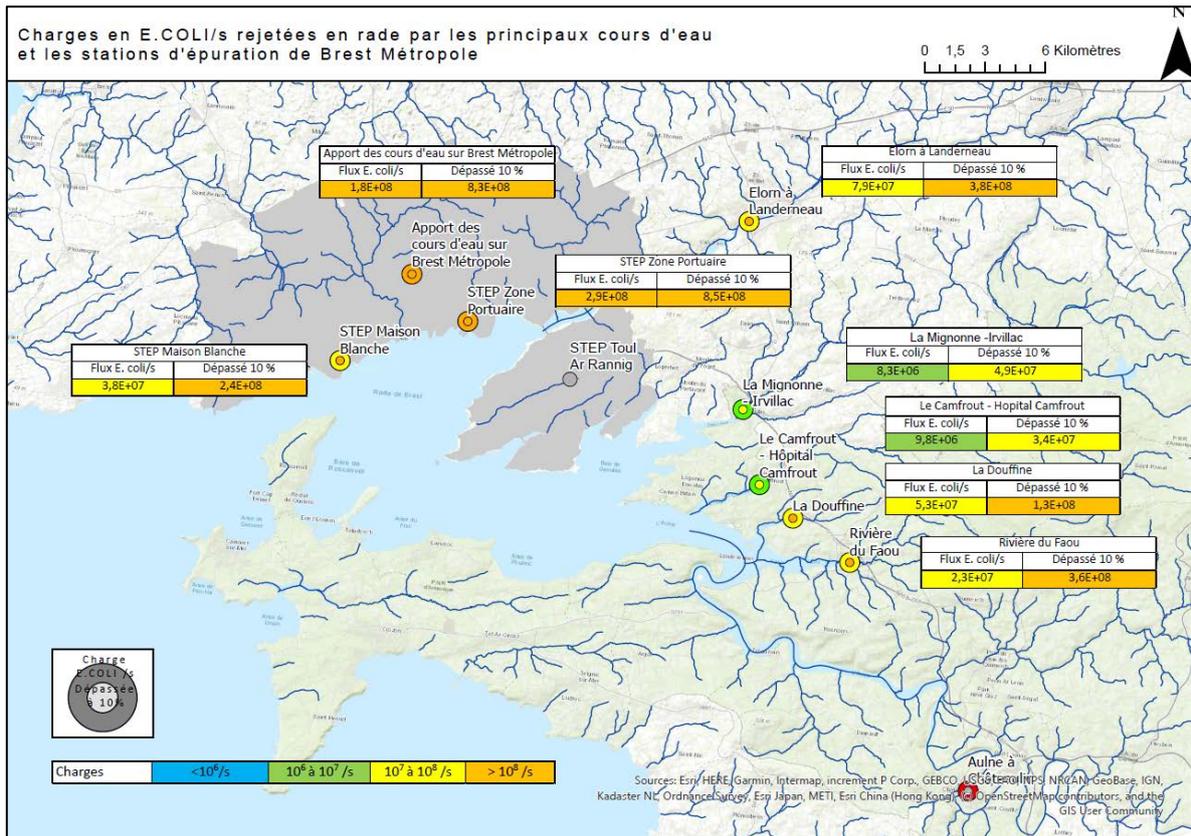
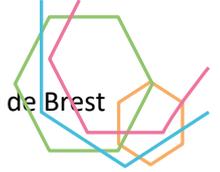


Figure 105 : Flux d'Escherichia Coli moyen et dépassé 10% du temps pour les STEP et les rivières autour de la rade (Labocéa).

La qualité bactériologique des zones de baignade sur Brest métropole s'est considérablement améliorée au cours des dix dernières années (cf. IV.2.1). Cette amélioration a été rendue possible grâce à un effort de diagnostic soutenu des anomalies de fonctionnement du réseau d'assainissement (raccordements « sauvages » d'eaux usées sur le réseau d'eaux pluviales par exemple ; dimensionnement insuffisant de bâches de stockages de portes de relevage...) qui a permis d'engager les travaux de mise en conformité nécessaires sur les bassins versants des plages.

Pour mettre en place les actions nécessaires pour limiter les apports en microorganismes d'origine fécale dans les rivières et le littoral, la discrimination et la hiérarchisation des sources de contamination fécale d'origine humaine et animale sont devenues prioritaires. Des marqueurs des différentes origines de contamination ont été développés pour aider ce travail de discrimination permettant de rechercher des cibles présentes spécifiquement chez l'Homme ou les animaux (Gourmelon et al., 2021). Les indicateurs de contamination fécale utilisés dans la réglementation des zones conchylicoles et des zones de baignades, E. coli et les entérocoques, recherchés par méthode culturale, sont présents chez tous les mammifères et les oiseaux. Aussi, des méthodes alternatives, reposant sur la caractérisation des E. coli ou des entérocoques par d'autres méthodes (identification de certains gènes spécifiques, par exemple) ou sur la recherche d'autres cibles présentant une spécificité d'hôte doivent être appliquées sur ces échantillons environnementaux. De nombreux efforts de recherche ont été ainsi réalisés ces dernières années afin de disposer d'outils permettant de distinguer les sources de contamination fécale humaine de celles de contaminations animales et de différencier les espèces animales entre elles. Ces méthodes sont basées principalement sur la recherche de cibles microbiennes ou chimiques présentes dans le tractus intestinal de l'homme ou de l'animal et dans les effluents d'origine fécale (Harwood et al., 2014) ou de cellules eucaryotes de l'hôte (ADN mitochondriaux). Avec le développement des techniques de biologie moléculaire, de nouvelles



méthodes plus sensibles et spécifiques que les méthodes culturales sont apparues. Ces méthodes basées essentiellement sur la recherche de microorganismes cibles par amplification génique s'affranchissent de l'étape de culture (Figure 106 ; Bernhard and Field, 2000). L'apparition de la technique de PCR en temps réel permet maintenant d'obtenir des données quantitatives, importantes pour évaluer la contribution des différentes sources de contamination. Ces méthodes reposent principalement sur la recherche de bactéries appartenant à l'ordre des Bacteroidales.

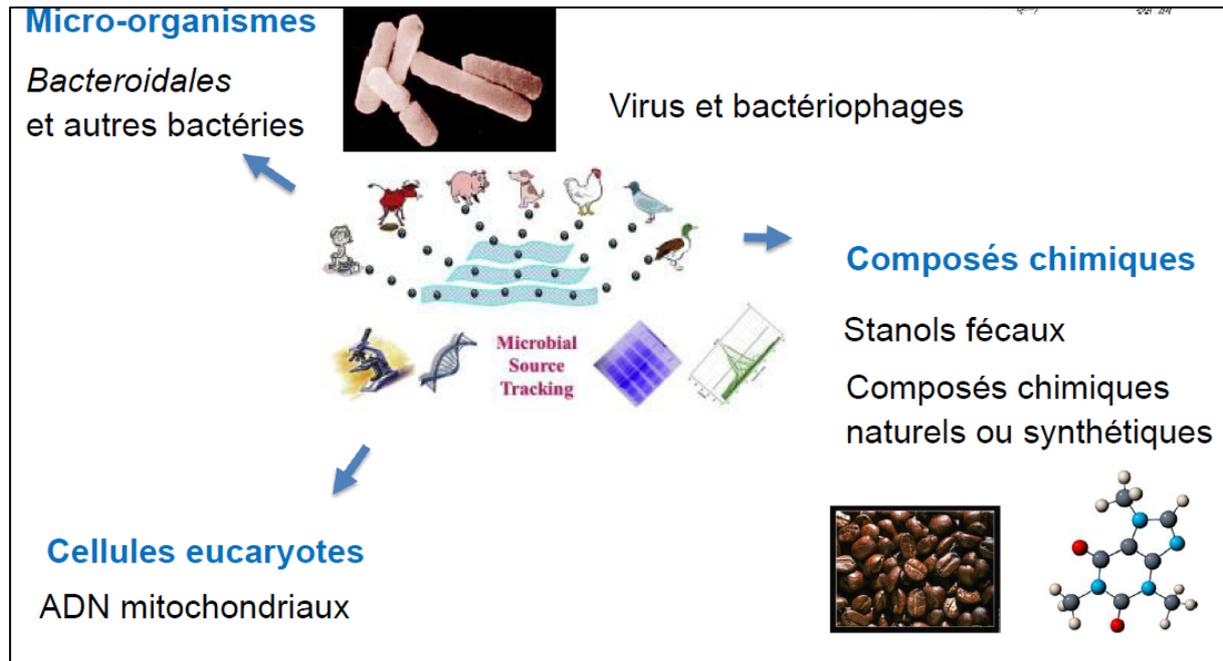
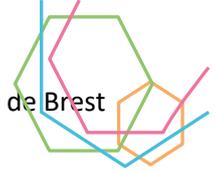


Figure 106 : Approche Microbial Source Tracking : traceurs de sources microbiennes, les cibles pour identifier l'origine d'une contamination. Recherche de cibles permettant de différencier une origine humaine d'une origine animale et de discriminer la source animale. Marqueurs associés à l'hôte (Gourmelon et al., 2021).

L'interprétation des résultats de recherche de marqueurs permettant la discrimination des origines de la contamination fécale doit être croisée avec les éléments environnementaux tels que les caractéristiques des sites étudiés (occupation du sol) et les conditions lors des prélèvements. L'identification des sources polluantes sur un site donné n'est rendue possible qu'à l'issue de plusieurs campagnes, par l'analyse des résultats de quantification des marqueurs dans différentes conditions. Ces recherches de marqueurs sont dorénavant régulièrement mises en œuvre pour identifier dans les eaux de la rade et les rivières qui s'y rejettent l'origine des contaminations fécales qui affectent la qualité des eaux de baignade et les zones conchylicoles.

II.2.3. Radioactivité

L'objectif est ici de présenter les données disponibles sur la mesure de radioactivité en rade de Brest. Les données présentées sont principalement issues de rapport de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) et de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire). Par ailleurs, il existe également une base de données en ligne (Réseau National de Mesures de la radioactivité dans l'environnement). Plusieurs dossiers et rapports sur la radioactivité sur en rade de Brest et sur ses bassins versants sont également rendus accessibles (Eléments communiqués par la Préfecture Maritime, rapport de Commission d'Information, PRISSME ; Association Acro, 2003, 2013).



II.2.3.1. Sources de radioactivité et surveillance

Il existe plusieurs sources de radioactivité naturelle qui peuvent contaminer les milieux aquatiques, parmi lesquelles 1) le rayonnement cosmique, sous forme d'ions très énergétiques en provenance des galaxies, ou de 'vent solaire' constitué essentiellement de protons. Le champ magnétique terrestre forme la magnétosphère qui, avec l'atmosphère, forme un écran protecteur de sorte que seulement 0.05% du rayonnement cosmique arrive au niveau de la mer ; 2) la radioactivité du sol (rayonnement tellurique), sous forme d'éléments radioactifs présents naturellement dans l'écorce terrestre (ex : Uranium, Thorium). Ce rayonnement est variable selon la nature du sol, elle est cinq à 20 fois plus élevée dans les terrains magmatiques comme le granite que sur les terrains sédimentaires ; 3) la radioactivité des eaux, en partie héritée de la nature géologique des terrains traversés, et dépendante du caractère chimique de l'eau et du degré de solubilité des radionucléides. Les eaux minérales sont plus radioactives que les eaux de surface, et certaines eaux souterraines sont riches en gaz radon dissous (IRSN).

Les radionucléides « artificiels » sont des éléments radioactifs recréés artificiellement. Depuis le début du XXe siècle, les activités humaines ont entraîné la présence de radioactivité artificielle dans l'environnement. La production de radionucléides artificiels se fait au moyen d'un accélérateur de particules ou d'un réacteur nucléaire. Actuellement, une dizaine de radionucléides artificiels sont régulièrement mesurés dans l'environnement français dont le strontium 90, le césium 137, l'iode 131, les isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu , et ^{240}Pu) ainsi que l'américium 241. Ces radionucléides ont trois origines principales : 1) les rejets réglementés et autorisés des installations nucléaires (centrales et installations militaires) et ceux liés aux activités de médecine nucléaire (examens radiologiques et traitements médicaux) ; 2) les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires (de 1945 à 1980) et de l'accident de Tchernobyl en 1986 ; 3) la rémanence des retombées de l'accident de Tchernobyl et des tirs atmosphériques constitue aujourd'hui le bruit de fond de la radioactivité artificielle de l'environnement français.

La surveillance des ports militaires est assurée au travers de prélèvements réguliers dans le milieu aquatique (eau de mer, sédiments, algues, crustacés, poissons, etc.) sur lesquels des mesures de l'activité bêta globale, du tritium, de spectrométrie gamma et alpha (Pu, Am) sont réalisées (IRSN, 2015). La Marine Nationale procède également à des mesures de radioactivité dans l'environnement de ses sites, en tant que responsable d'exploitation d'installations nucléaires. La surveillance réglementaire est réalisée par deux laboratoires de la marine agréés par l'Autorité de Sureté Nucléaire - ASN (accrédités COFRAC pour le LASEM de Brest). Les résultats sont transmis à l'Autorité de Sureté Nucléaire Défense - ASND et mis en ligne sur le Réseau National de mesure de la Radioactivité de l'Environnement (RNM). Une surveillance indépendante par l'IRSN pour le compte de l'ASN.

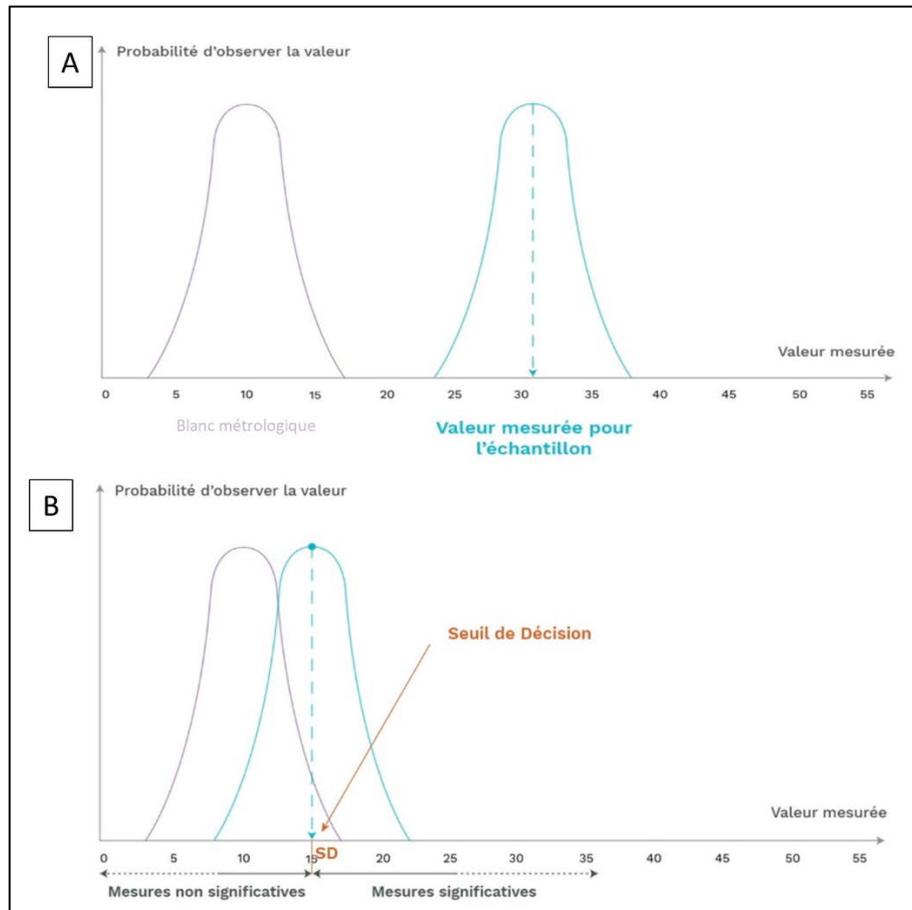
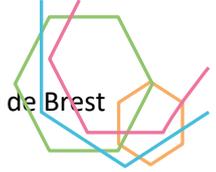


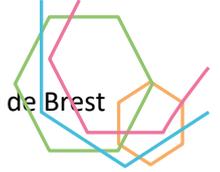
Figure 107 : Mesures significatives et seuil de décision dans le cas de mesures de radioactivité (IRSN, mesures-radioactivite.fr)

Chaque échantillon mesuré est comparé à un blanc métrologique mesuré à partir d'un échantillon de référence. Les courbes obtenues (Figure 107) montrent l'ensemble des valeurs possibles et leur probabilité d'être mesurées. Lorsque la mesure concerne un échantillon nettement radioactif (Figure 107), il n'y a pas d'ambiguïté, car une activité bien supérieure au blanc métrologique est détectée. La mesure est alors dite significative. Dans le cas d'un échantillon faiblement radioactif, la mesure peut donner un résultat très proche de celui du blanc métrologique. Se pose alors la question de la significativité de la valeur mesurée (faible activité ou valeur possible du blanc métrologique ?). Pour se prononcer, l'analyste fait appel à la notion de seuil de décision. Une valeur est jugée significative lorsqu'elle est supérieure ou égale au seuil de décision (Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement). Ce sont ces valeurs significatives décelées dans des matrices diverses (eau de mer, sédiments, etc.).

Plusieurs unités sont utilisées dans le domaine du nucléaire. Dans ce résumé, deux unités sont utilisées. Le becquerel (Bq) mesure l'activité (nombre de désintégration par seconde) de la matière radioactive. Le sievert (Sv) est l'unité de mesure des doses équivalentes et efficace, qui permet d'évaluer l'impact du rayonnement sur la matière vivante. Ainsi peut-on comparer l'effet d'une même dose délivrée par des rayonnements de nature différente qui n'ont pas la même sensibilité aux rayonnements.

II.2.3.2. Mesures de radioactivité dans différentes matrices

II.2.3.2.1. L'eau de mer



Les prélèvements réguliers de d'eau de mer en rade de Brest sont effectués à Saint-Anne-du-Portzic, en Rade Abri, dans la Penfeld, en aval du Costour, à Keralliou, à la pointe du Caro (Plougastel-Daoulas), à la pointe du Bindy (Logonna-Daoulas), autour de l'île Longue et dans la Baie de Roscanvel.

Entre 2011 et 2014, 11 valeurs significatives sont mesurées à Brest et autour de l'Île-Longue. Elles sont comprises entre 1 et 6 Bq/L (IRSN, 2015), supérieures au bruit de fond du tritium en milieu marin (0.1-0.2 Bq/L ; IRSN, 2021). Pour la période 2009-2018, la détection du tritium sur les prélèvements d'eau de mer réalisés dans l'Anse du Fret par l'IRSN est significative pour deux valeurs (sur ~75 mesures). La valeur maximale observée est de 3,2 Bq/L, et se situe dans la gamme de bruit de fond radiologique du Tritium (IRSN, 2018 ; Oms et al., 2019). Sur la période 2018 et 2020, 15 % des valeurs obtenues sur le tritium dans l'eau de mer sont supérieures au seuil de décision métrologique. Les valeurs sont comprises entre 0,2 et 3,43 Bq/L, et témoignent d'activités volumiques ponctuellement supérieures au bruit de fond radiologique pour l'eau de mer (0,1 et 0,2 Bq/L ; IRSN, 2021).

Le césium-137 est l'un des seuls émetteurs gamma quantifié plus ou moins fréquemment selon le type de matrice échantillonnée. Dans l'eau de mer, le césium-137 est détecté dans 7 % des cas. Les valeurs mesurées sont proches de la moyenne observée le long de la côte Atlantique, de l'ordre de 0,0008 Bq/L. Ces valeurs sont attribuables aux retombées anciennes liées aux essais nucléaires atmosphériques.

II.2.3.2.2. Les sédiments

Des prélèvements sédimentaires annuels, trimestriels, bimestriels ou mensuels sont effectués sur sept stations situées en rade de Brest (Figure 108). La matrice sédimentaire présente une capacité d'intégration plus importante que les autres matrices (eau, air, etc.).



Figure 108 : Points d'échantillonnage sédimentaire en rade de Brest

En 2010-2011, la radioactivité mesurée dans les sédiments est essentiellement naturelle (^{40}K , Potassium ; ^{228}Ac , Actinium). Parmi les radionucléides artificiels mesurés figurent des traces de césium 137, interprétées comme des retombées atmosphériques anciennes. Ces traces sont détectées quasi-systématiquement dans tous les échantillons. Elles présentent des activités comprises entre $0,17 \pm$



0,08 Bq/kg sec et $2,89 \pm 0,38$ Bq/kg sec. En comparaison, les valeurs mesurées sur les stations du littoral Atlantique sont comprises entre $0,10 \pm 0,03$ (Pornichet) et $0,31 \pm 0,05$ (Oléron). Cette variabilité peut être due à la granularité de la matrice prélevée, la capacité d'adsorption des vases étant beaucoup plus importante que celle des sables. Le rapport de l'IRSN (2011) ne fait pas systématiquement mention de la granularité.

D'autres radionucléides artificiels sont ponctuellement mesurés dans les échantillons de l'anse du Fret : le cobalt 60, le strontium 90, l'américium 241 et les plutoniums 239+240. Le cobalt 60 est détecté occasionnellement à des activités comprises entre $0,48 \pm 0,17$ et $1,38 \pm 0,24$ Bq/kg sec (trois mesures supérieures aux seuils de décision sur les 18 analyses effectuées entre janvier 2010 et mai 2011). Un marquage confirmé en cobalt 60 montre une influence industrielle. Un seul échantillon présente une activité en strontium 90 de $7,9 \pm 1,1$ Bq/kg sec sur les trois échantillons analysés.

Des traces de cobalt 60 (0,3 et 0,4 Bq/kg sec ; IRSN, 2015) ont pu être mesurées en 2012 et 2013 dans des sédiments marins prélevés près de l'île Longue. Depuis 2008, l'existence d'une unité de traitement (STEP) vise à supprimer les rejets d'effluents liquides radioactifs (dont Cobalt 60, com. pers. Commandement Atlantique – CECLANT).

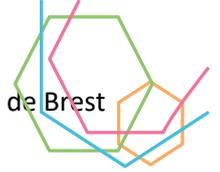
Le rapport 2018-2020 (IRSN) fait état de 85 % de résultats significatifs pour le Césium-137 dans les sédiments de la rade de Brest. Deux gammes de valeurs sont observées. D'une part, des valeurs proches du bruit de fond (1 Bq/kg sec), et interprétées comme représentatives de retombées anciennes. D'autre part, sur le point de prélèvement proche de l'embouchure de la Penfeld (Figure 108), des valeurs plus élevées que le bruit de fond. Ces activités massiques sont interprétées comme étant dues aux apports sédimentaires du cours d'eau également marqués par ces mêmes retombées anciennes (IRSN, 2021).

II.2.3.2.3. Les algues, mollusques, crustacés et poissons

Des prélèvements d'algues (fucus dentelé, fucus spiralé, fucus vésiculeux) sont effectués régulièrement en différents points de la rade de Brest.

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les algues sur la période 2010-2011 est principalement due au potassium 40 ($1\,314 \pm 12$ Bq/kg sec en moyenne). Le césium 137 a été détecté ponctuellement dans les fucus vésiculeux prélevés dans les stations de Sainte-Anne du Portzic et de Keraliou, à des niveaux très proches des seuils de décision ($0,31 \pm 0,21$ Bq/kg sec en mars 2011 et $0,42 \pm 0,23$ Bq/kg sec en janvier 2011 respectivement). Les activités des radionucléides d'origine artificielle recherchés (^{134}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn) sont inférieures aux seuils de décision. La présence d'iode 131 mesurée de façon périodique dans les algues prélevées près du port militaire de Brest est interprétée comme étant liée aux activités de médecine nucléaire de l'agglomération brestoise. Toutefois, un échantillon de fucus prélevé près de Brest en 2011 présente des rapports d'activités isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ de 0,09, soit supérieur à celui caractéristique des retombées des essais d'armes nucléaires (IRSN, 2015).

Entre 2018 et 2020, seuls quelques prélèvements d'algues ont fait l'objet d'analyses des isotopes du plutonium, permettant de mesurer des niveaux compris dans les gammes de valeurs relevées hors influence d'installations nucléaires, pour le $^{239+240}\text{Pu}$. Les résultats moyens obtenus dans les algues ($0,0475$ Bq/kg sec) sont comparables aux données de référence. Pour le Carbone-14, les données obtenues sur les échantillons d'algues mesurés entre 2018 et 2019 (80,1 et 85,3 Bq/kg sec) sont comparables à celles observées le long de la côte Atlantique (de 65,4 à 82,9 Bq/kg sec) sur la même période. Toujours sur cette période 2018-2020, les activités massiques en tritium organiquement lié mesurées dans des algues de la rade de Brest présentent des activités de 0,068 et 0,177 Bq/kg frais.



Ces valeurs sont proches des valeurs rencontrées sur la côte Atlantique sur cette même période (0,05 - 0,2 Bq/kg frais). Aucun marquage lié au fonctionnement d'installations nucléaires n'est constaté sur ces bio-indicateurs.

Pour les crustacés, aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle échantillon n'a été mis en évidence dans les mollusques prélevés en rade de Brest en 2010-2011 (tourteaux de la Rade-Abri, tourteaux et araignées de mer de l'Anse du Fret, araignées de mer de la Baie de Roscanvel).

Un rapport d'activités isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ très supérieur à celui caractéristique des retombées des essais d'armes nucléaires a été détecté sur un échantillon de tourteau (0,45) sur la période 2012-2013.

Entre 2018 et 2020, quelques prélèvements de moules ont fait l'objet d'analyses des isotopes du plutonium, ($^{239+240}\text{Pu}$). Les résultats moyens obtenus dans les moules (0,0038 Bq/kg frais) sont comparables aux données de référence.

La faune marine dont les poissons fait l'objet d'analyses radiologiques régulières en différents points de la rade de Brest. En dehors du potassium 40 présent naturellement dans l'ensemble des échantillons en 2010-2011, des traces de césium 137 sont révélées sur la plupart des prélèvements de poissons. Les autres radionucléides émetteurs gamma recherchés (^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn) n'ont pas été détectés.

Sur la période 2018-2020, les activités massiques supérieures au seuil de décision représentent respectivement 35 % des résultats. Ces valeurs sont cohérentes avec les concentrations de césium-137 obtenues dans ces matrices hors influence d'installations nucléaires, et donc liées aux retombées anciennes.

II.2.3.3. Rejets déclarés et dangerosité

Les installations nucléaires de la Marine nationale génèrent des rejets radioactifs liés notamment à l'entretien des sous-marins à propulsion nucléaire. Les rejets pratiqués par la marine dans l'environnement sont constitués d'un mélange d'effluents très faiblement radioactifs. La Marine Nationale n'effectue plus de rejets « radioactifs » (liquide primaire, issus du "circuit primaire" des réacteurs, c'est à dire le circuit de refroidissement des éléments combustibles) depuis 2008. L'île Longue possède une station de traitement et ses processus sont surveillés par les autorités du domaine. D'autres effluents encore plus faiblement contaminés sont également rejetés. Ils sont issus des activités industrielles connexes, notamment celles de la piscine de stockage des éléments combustibles usagés, qui ne diffusent pas non plus de produits de fission. Leur contribution à la radioactivité des effluents reste marginale. Pour le site de l'île Longue et pour le Tritium, les rejets radioactifs déclarés sont présentés dans le Tableau 23.

Les rejets réalisés aujourd'hui sont encadrés par les Décrets d'Autorisation de Rejets et de Prélèvements dans l'Environnement (DARPE). Pour respecter ces normes, la Marine a mis en place une surveillance très précise de la rade : elle s'appuie sur LASEM de Brest et le SPRS (Service de Protection Radiologique) de l'île Longue, des laboratoires agréés par l'IRSN et accrédités COFRAC (pour le LASEM). Ils effectuent des prélèvements et analyses dans les trois milieux. Les résultats de cette surveillance sont transmis à l'ASND et mis en ligne sur le Réseau National de Mesures (RNM). L'IRSN effectue également une surveillance indépendante pour le compte de l'ASN.



| SITE | Rejets liquides (Bq) | | | | | Rejets gazeux (Bq) | | | | |
|---|----------------------|----------|----------|----------|------|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Marine Nationale Brest (pas de rejets tritium) et L'Île Longue (INBS) | 1,30E+06 | 4,40E+05 | 9,00E+05 | 1,14E+06 | / | 8,25E+10 | 7,29E+10 | 4,55E+10 | 9,79E+09 | 4,84E+10 |

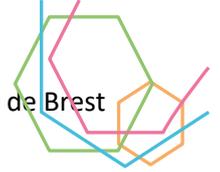
Tableau 23 : Inventaire des émissions de Tritium, synthèse sur la période 2016-2020, les valeurs sont exprimées en Becquerels par an (ASN, 2022).

Ces rejets déclarés mènent au calcul de l'impact du site de l'Île Longue sur le vivant, et notamment sur l'humain. L'impact radiologique de ces rejets est estimé à partir des voies de transfert propres à chaque population (adulte, enfant et nourrisson ; Tableau 24). Sur le Tableau 24, l'impact du site de Brest est estimé à 3-5. 10^{E-6} mSv, selon le groupe de référence, soit bien en deçà de la limite d'exposition du public (1 mSv/an en dehors des expositions médicales et naturelles).

| Estimation de l'impact radiologique | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|--|--|
| Année de référence | Groupe de référence | Impact total du site (adulte) (mSv) | Impact total du site (enfant) (mSv) | Impact total du site (nourrisson) (mSv) | Part du tritium dans l'impact total, en % (adulte) | Part du tritium dans l'impact total, en % (enfant) | Part du tritium dans l'impact total, en % (nourrisson) |
| 2020 | | 3,75E-06 | 4,43E-06 | 5,02E-06 | | | |

Tableau 24 : Impact radiologique des rejets déclarés en Tritium de l'Île Longue (Brest, ASN, 2022)

Au vu des données exploitées, les rejets artificiels en rade de Brest restent donc largement inférieurs aux seuils de dangerosité. En revanche, les mesures effectuées en rade permettent de détecter les activités industrielles dans l'environnement aquatique.



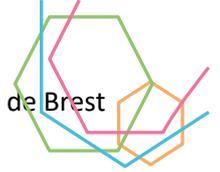
II.2.4. Pollution sonore

Le bruit sous-marin s'exprime par une intensité, ou niveau sonore. Il s'exprime en décibels (dB) et traduit l'impact ressenti à l'écoute d'un son. La fréquence de ce son représente le nombre d'ondes acoustiques par seconde en un point donné. Cette fréquence s'exprime en Hertz (Hz) et correspond à la hauteur du son, plus elle est élevée, plus le son est aigu. On distingue le bruit 'ambient' du bruit 'impulsif'. Le bruit ambient est de niveau constant et de fréquence stable, généralement de moyenne intensité, il se propage dans toutes les directions. Le bruit impulsif est court et de forte intensité, il peut se propager dans toutes les directions (ex : explosion) ou être plus directionnel (ex : sonars ; mer.gouv.fr).

L'influence néfaste du bruit sur les écosystèmes sous-marins sont de différents types et dépendent de l'espèce concernée, de l'intensité du bruit, et de la durée d'émission (mer.gouv.fr). Les réactions et dommages suivants peuvent être engendrés par les émissions sonores, avec une graduation croissante de la gravité des effets : (1) Les réactions physiologiques, retard de croissance, stress, augmentation du rythme respiratoire ; (2) Le masquage acoustique, la communication acoustique entre individus est masquée, rendant la localisation entre congénères ou la détection de proies plus difficile ; (3) Les réactions comportementales, la fuite ou l'interruption de l'activité en cours, le changement des trajets migratoires ; (4) Les dommages physiologiques temporaires, la baisse du niveau d'audition ou la diminution de la sensibilité auditive ; (5) Les dommages physiologiques permanents, les lésions des organes entraînant la mort de l'animal (organes auditifs, poumons, vessie natatoire).

Les émissions sonores sous-marines en rade de Brest proviennent de plusieurs sources d'activités humaines, parmi lesquelles on distingue, les activités de plaisance, commerciales, scientifiques, de pêche ou encore militaires (Figure 109, Figure 110).

- Les activités de plaisance et commerciales émettent principalement deux types de signaux sonores. Des signaux basse fréquence (< 5kHz) multidirectionnels sont émis par le moteur des embarcations, et des signaux haute fréquence (x 100 kHz) unidirectionnels verticaux sont émis par les sondeurs (ces fréquences ne sont pas reportées sur le site gouvernemental en Figure 109).
- Les campagnes scientifiques réalisées ponctuellement en rade de Brest (ex : Grégoire et al., 2016; Figure 7) mobilisent des moyens d'acquisition dont les gammes d'émissions sonores sont très variées. Depuis les fréquences basses jusqu'au fréquences les plus hautes, sont identifiables : (1) les sondeurs de sédiments pour l'acquisition d'une image sismique très haute résolution de l'empilement sédimentaire des premiers mètres sous le fond marin. Les signaux utilisés sont unidirectionnels et impulsifs. Les gammes de fréquence varient de quelques centaines de Hz (ex : Sparker source, env. 100 et 1000-400 Hz) à quelques kHz (ex : Chirp profiler de 1.7 à 5.5 kHz, Boomer Seistec-IKB de 1.0 à 10 kHz, Royer et al., 2019) ; (2) Les instruments d'acquisition bathymétrique sont impulsifs et multidirectionnels (sondeurs multifaisceaux) émettent dans des gammes de fréquences beaucoup plus haute, de l'ordre de plusieurs dizaines ou plusieurs centaines de kHz (ex : Simrad EM 1000 et EM 2040 utilisés dans les recherches de Grégoire et al., 2016, ont des fréquences de fonctionnement de 93-98 et 200-400 kHz respectivement) ; (3) Les sonars latéraux, qui ont des fréquences et des modes d'émissions proches des sondeurs multifaisceaux (200-500 kHz) (4) Les courantomètres ADCP (courantomètres acoustiques à effet doppler), peu ou pas (encore) employés en rade de Brest, ont des fréquences d'émission qui varient de 120 à 1200 kHz, ce sont des sources ponctuelles bidirectionnelles ; (4) d'autres acquisitions peuvent être responsables d'émissions sonores, comme les campagnes de forages et de carottage sédimentaire ; (5) les balises acoustiques géodésiques, récemment développées en rade de Brest.



- Les activités de pêche, outre les émissions sonores dues au moteur (< 5kHz) et au sondeur (x 100 kHz), peuvent générer du bruit en lien avec leurs activités de dragage.
- Les émissions sonores en lien avec les activités militaires ne sont pas connues/développées ici.

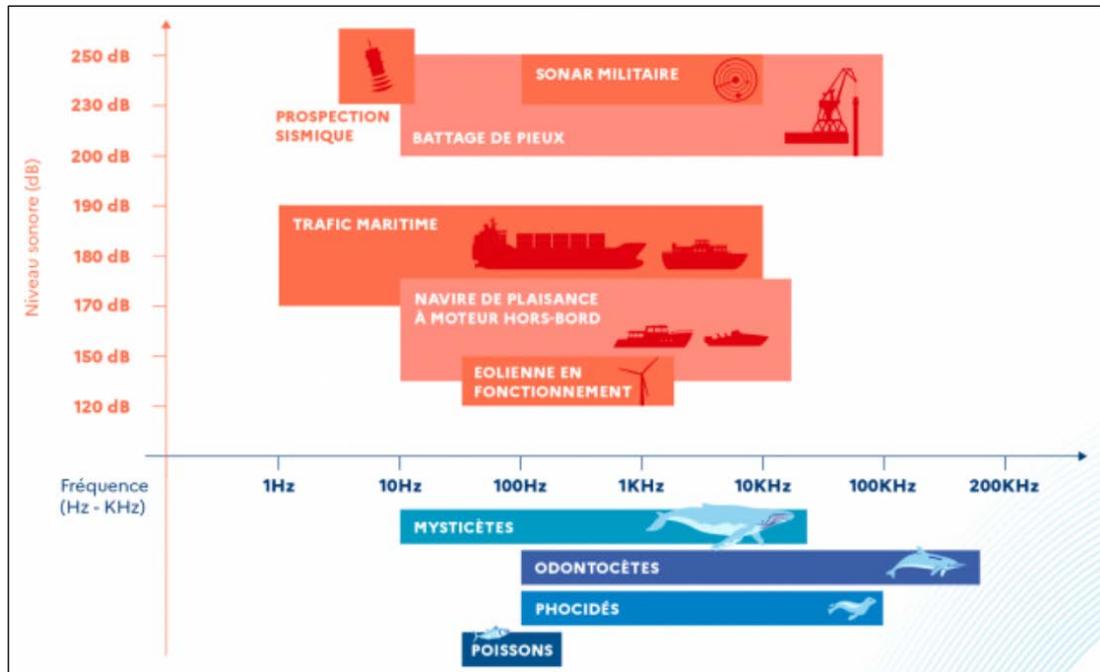


Figure 109 : Impact du bruit d'origine humaine sur la faune sous-marine (mer.gouv.fr)

La réglementation internationale n'est pas contraignante pour l'émission de bruits dans les océans. En 2014, l'Organisation Maritime Internationale (OMI) a publié des lignes directrices non-contraignantes visant à réduire le bruit sous-marin. En Europe, la Directive Cadre « Stratégie pour le milieu marin » de 2008 (directive 2008/56/CE) visant à atteindre un bon état écologique des eaux européennes d'ici 2020 a fixé un objectif de diminution d'impact du bruit sur les populations d'animaux marins. La définition de seuils de bruit pour garantir cet objectif est en cours de discussion dans les groupes de travail européens.

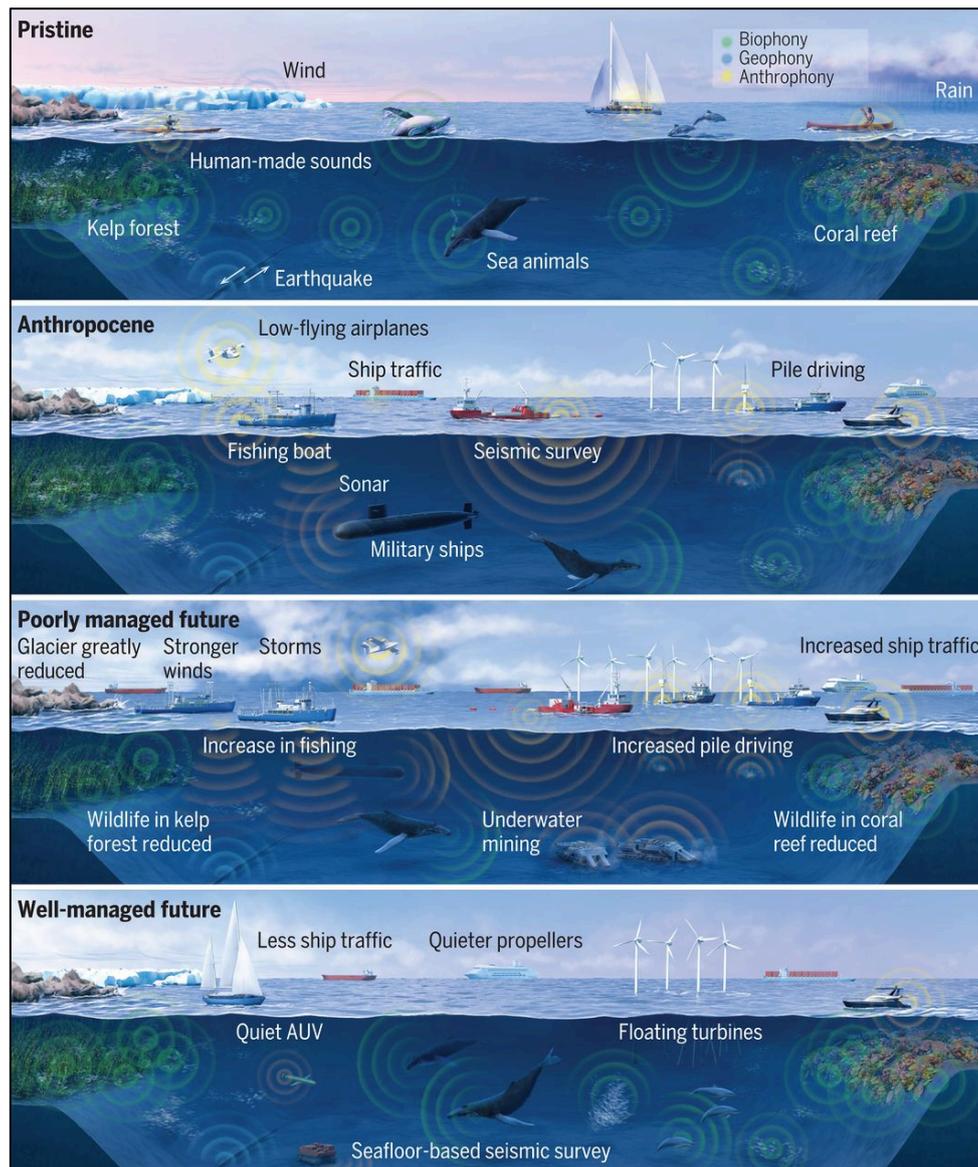
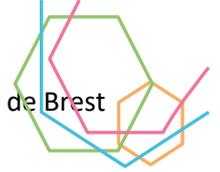
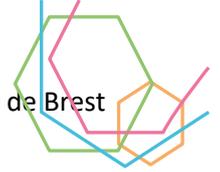


Figure 110 : De haut en bas, (1) l'environnement acoustique avant l'ère industrielle largement composé de sons liés à la géologie (géophonie), à des sources biologiques (biophonie), et des contributions humaines mineures (anthropophonie), (2) l'Anthropocene (présent) avec une multiplication des sources anthropiques et une biophonie réduite compte-tenu de l'évolution décroissante des populations marines et des habitats marins sains. Deux issues de management de l'environnement marin sont projetés au regard de l'accroissement des activités humaines : (3) un scénario négatif pour l'environnement marin, de plus en plus affecté par les activités humaines, et (4) un management vertueux des émissions acoustiques sous-marines (Duarte et al., 2021)

II.2.5. Exploitation de la ressource

II.2.5.1. Pression de pêche

Le système d'identification automatique (AIS) des navires de pêche est un outil qui permet d'étudier la circulation maritime (Figure 111). Une étude récente (Grall, 2018) a permis d'établir une carte des pressions de pêche à la drague (praires) cumulées en rade de Brest. L'étude vise à mettre directement en relation des données quantitatives de pressions physiques avec des données biologiques échantillonnées en fonction de l'intensité de la pression. Il s'agit de définir précisément les étapes de dégradation des habitats benthiques face aux pressions exercées. Pour cela, un suivi des



communautés benthiques est réalisé le long d'un gradient de pression en tenant compte du calendrier de l'activité génératrice des pressions physiques sur les fonds, de l'intensité et la fréquence des pressions exercées, et de la répartition de l'habitat concerné. Chaque communauté possédant sa propre dynamique et sa propre sensibilité aux pressions, ce suivi doit être mené au sein d'un même habitat et de la même communauté benthique caractérisant cet habitat. Les communautés benthiques font l'objet d'un suivi sur les zones de pressions et sur d'autres zones non-perturbées par l'activité de pêche. La Figure 111 représente le bassin sud de la rade de Brest, avec la pression de pêche pour la période 2015-2017. Dix stations d'échantillonnage sont réparties sur un gradient de pression croissante, avec 3 stations de contrôle (zéro pression de pêche, stations ZA, ZB, ZC), deux stations de pression modérée (LC, MF), deux stations de pression forte (LA, ME), et trois stations de pression maximale (HA, MD et VC).

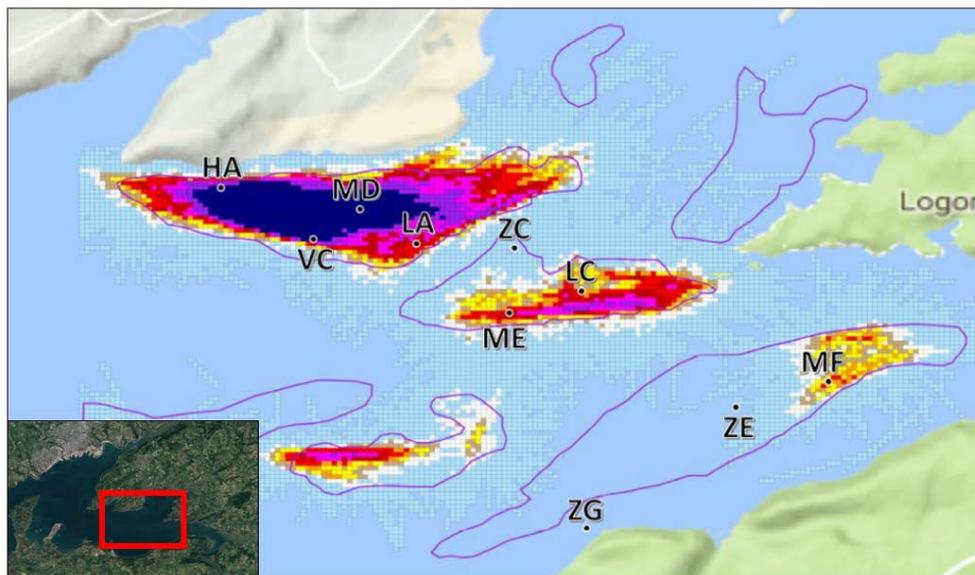


Figure 111 : Carte des pressions de pêche cumulées pour la période 2015-2017 dans le cadre d'une étude sur les interactions entre les habitats benthiques et la pêche à l'aide des dragues à praires (Grall, 2018). L'échelle de couleur s'étend du jaune (pression faible) au violet (pression forte, et les polygones violets représentent l'emplacement des bancs de maërl.

Les résultats du traitement en Figure 111 montrent que l'activité de pêche (drague à praires) se concentre largement dans la partie Nord de la zone étudiée, avec des pressions de pêche atteignant leur maximum sur le bord externe du banc de Rozegat (station VC). Quelques zones sont néanmoins pêchées sur le banc du Château (station MF) ou sur le banc de Loumergat (Station ME ; Grall, 2018). Pour cette étude, deux des trois années d'acquisition (2015 et 2017) coïncident avec une présence particulièrement importante de toxines amnésiantes ASP (*Pseudo-nitzschia*) et une fermeture de la pêche à la coquille Saint-Jacques, ce qui explique donc en partie le report de pêche vers la drague à la praire.

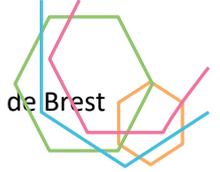


Figure 112 : Photographie de trois types de dragues : (A) coquille Saint-Jacques ; (B) pétoncle blanc, et (c) palourde (photos : Comités des pêches du Finistère, publié par Tauran et al., 2020)

II.2.6. Evolution de l'occupation des sols

II.2.6.1. Imperméabilisation des sols et ses conséquences

En Bretagne, les surfaces artificialisées ont doublé entre 1985 et 2005, tout particulièrement dans les secteurs périurbains, alors que sur la même période, la population n'a augmenté que de 12 %. Cette imperméabilisation des sols engendre de nombreuses conséquences environnementales, parmi lesquelles l'aggravation du phénomène de ruissellement le long des pentes au détriment de l'infiltration (Figure 113), avec une augmentation du risque d'inondation. Elle génère également des flux polluants qui affectent la qualité des cours d'eau et du milieu marin. Sur le seul territoire de Brest métropole, une estimation des charges en matières en suspension (MES) et en matières organiques (DCO) émises par les eaux de ruissellement a été réalisée sur la base de résultats de mesure obtenus à l'exutoire de réseaux d'eaux pluviales par Labocéa. Même s'il ne s'agit là que d'ordres de grandeur d'émissions de pollution, les masses de matières en suspension (MES) et de matières organiques (DCO) provenant des phénomènes de ruissellement semblent être sur l'agglomération du même ordre de grandeur que celles provenant des rejets du système d'assainissement. Seule une fraction de cette pollution est captée par des bassins de rétention.

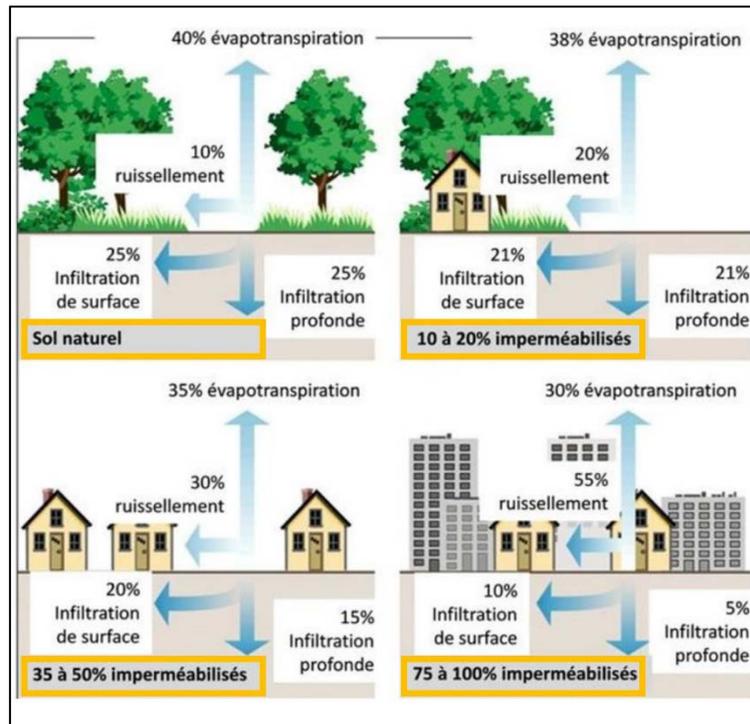


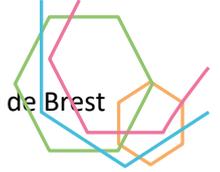
Figure 113 : Modification des paramètres hydrologiques dus à l'imperméabilisation des sols (Voisin, 2017)

Un autre effet de l'imperméabilisation est celui de la contamination des milieux récepteurs par des bactéries d'origine fécale. Ainsi, dans l'agglomération brestoise, des échantillonnages d'eau de ruissellement ont été réalisés sur un bassin versant urbain directement en amont des avaloirs qui collectent ces eaux pluviales. L'objectif était de caractériser la contamination des eaux de ruissellement sensu stricto avant qu'elles ne se chargent d'éventuels autres apports polluants dans le réseau du fait de branchements inversés (intrusions d'eaux usées dans le réseau d'eaux pluviales). Les valeurs médianes relevées pour les bactéries fécales sont élevées (*E. coli* : 2.10^4 /100 ml) et peuvent suffire à affecter des usages sensibles comme la baignade et la conchyliculture. Les apports de bactéries fécales par des eaux de ruissellement dans l'agglomération brestoise seraient équivalents à ceux que rejettent l'Elorn en une année.

II.2.6.2. Evolution du paysage agricole

L'activité agricole occupe une place prépondérante sur les bassins versants de la rade de Brest. Ainsi, les trois quarts du territoire des bassins versants sont occupés par des terres agricoles (Figure 49). L'évolution des pratiques agricoles en Bretagne a une incidence directe sur les paysages, la gestion et la qualité de l'eau.

Au XIXème siècle, le paysage rural est essentiellement composé de parcelles cultivées avec une végétation relativement basse et des arbres peu nombreux. A partir de la seconde moitié du XIXème siècle et jusqu'en 1950, le réseau bocager se densifie et voit l'éclatement des terres agricoles en de multiples petites parcelles cultivées délimitées par des talus et des haies composées de buissons et d'arbustes. Le partage des terres entre héritiers, l'augmentation de la population et de la consommation de viande sont autant de facteurs qui expliquent cette modification des pratiques agraires et du paysage rural (Eveillard, 2010 ; Moëlo et Levasseur, 2010). Les haies bocagères permettent en effet également de délimiter les pâtures. Cette mosaïque de parcelles (Figure 114) à fort impact paysager gagne beaucoup de surfaces sur les zones de landes (Lambert, 2017).



Une première modernisation agricole intervient dès la fin du XIX^{ème} siècle. Elle apporte une diversification des espèces cultivées et une amélioration des techniques de fertilisation des parcelles. La modernisation radicale et la rupture paysagère prend une véritable ampleur dans les années 1940 et particulièrement après la seconde guerre mondiale. Elle est le fait de la mécanisation de l'agriculture et du réaménagement de l'espace rural en vue du déplacement des machines modernes. Une opération foncière, dite du 'remembrement' aboutit à une transformation profonde d'un parcellaire breton morcelé. Ces travaux d'arasement des haies, talus bocagers et de regroupement des parcelles cultivées sont parfois associés à une modernisation des réseaux (eau, assainissement). La perte de bocage entre 1960 et 1980 est ainsi estimée à environ 60% du linéaire breton. Dans les vallées, les parcelles trop difficiles d'accès sont abandonnées au profit de la friche (Baudry et Jouin, 2003). Les excès du remembrement et des arrachages de haies qui lui sont associés ont induit plusieurs effets négatifs sur l'environnement, parmi lesquels on citera la destruction d'habitats écologiques et de zones humides, une rupture de la continuité écologique, ou encore la contribution au ruissellement des eaux favorisant l'érosion des sols (Lambert, 2017).

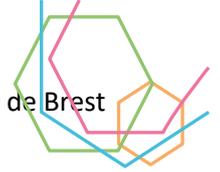
Durant la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, la mise en place d'un système productiviste mène à l'intensification de l'agriculture et à l'agrandissement des parcelles cultivées qui grignotent peu à peu les zones humides et les landes (Lambert, 2017).



Figure 114 : Comparaison entre deux photographies aériennes (1950-2011) montrant l'évolution du paysage bocager dans le Finistère (Lambert, 2017 d'après BD Orth historique, IGN, 2011)

Pratiquement toutes les communes bretonnes ont connu au cours des trente dernières années des événements catastrophiques de perte de terre qui infligent des dommages aux infrastructures (chaussées salies, colmatages des réseaux de collectes des eaux pluviales), aux zones résidentielles (caves et maisons inondées) ou à la qualité de l'eau (matières en suspension et polluants organiques). Des signes moins spectaculaires, tels que la formation d'atterrissements en contrebas d'une parcelle, sont plus fréquents et traduisent de la même manière une redistribution des volumes de terre à l'échelle des paysages. De façon moins visible, et sur le plus long terme, l'érosion entraîne une perte de fertilité irréversible des sols et un déclin de la biodiversité.

Si l'érosion constitue le processus majeur de dégradation des sols, leur évolution chimique et physique y contribue aussi. La baisse de la matière organique des sols s'explique par un effet conjoint de l'évolution des systèmes de production agricole et des pratiques agronomiques. Elle s'explique par un déstockage de carbone vers l'atmosphère et une dégradation de la qualité, notamment physique, des sols. La contamination diffuse des sols en Bretagne est liée au caractère intensif de son élevage. Les



bilans entrées sorties dans les sols pour le cuivre, le zinc et le phosphore sont souvent fortement excédentaires, car ces éléments sont importés dans l'exploitation agricole à travers l'alimentation animale et restitués aux sols par les déjections animales : peu mobiles et incomplètement exportés par les cultures, ces éléments s'accumulent dans la partie supérieure des sols au fil des années. On est ainsi passé en quelques décennies d'une situation de carence dans les sols bretons, à une situation d'excès d'éléments chimiques. Ainsi, la Bretagne présente actuellement la teneur moyenne en phosphore la plus forte parmi les sols français, au-delà de toute justification d'ordre agronomique (Eaux et rivières de Bretagne, colloque 2011, l'eau et les sols).

II.2.7. Dynamique climatique et niveau marin

II.2.7.1. Dynamique climatique long-terme et réchauffement climatique global

Les dynamiques climatiques récentes de notre période interglaciaire (Holocène : depuis 12 000 ans) peuvent être décrites sur des échelles de temps très variées (plusieurs milliers d'années, derniers siècles, ou encore à l'échelle interannuelle).

L'Holocène est une période classiquement subdivisée en trois périodes (Holocène inférieur, moyen et supérieur) à l'aide de deux événements climatiques majeurs ayant eu des répercussions quasi-globales (Walker et al., 2019). L'Holocène inférieur (11 700 à 8 200 ans) est caractérisé par de fortes valeurs d'insolation (Figure 115) et la rémanence de glaces continentales issues de la dernière période glaciaire. L'évènement qui marque le passage de l'Holocène inférieur à l'Holocène moyen est attribué à une fonte massive de glaciers continentaux, bouleversant le climat à l'échelle globale. L'Holocène moyen (8 200 à 4 200 ans) est associé à un optimum thermique (valeurs moyennes maximales des températures estivales). Il est caractérisé par une augmentation des températures atmosphériques pouvant aller jusqu'à 4°C en moyenne dans les zones polaires). La période la plus récente (4 200 ans à l'actuel) est marquée par une diminution continue des températures estivales liée à la baisse continue de l'insolation estivale à 65°N (Berger et Loutre, 1991).

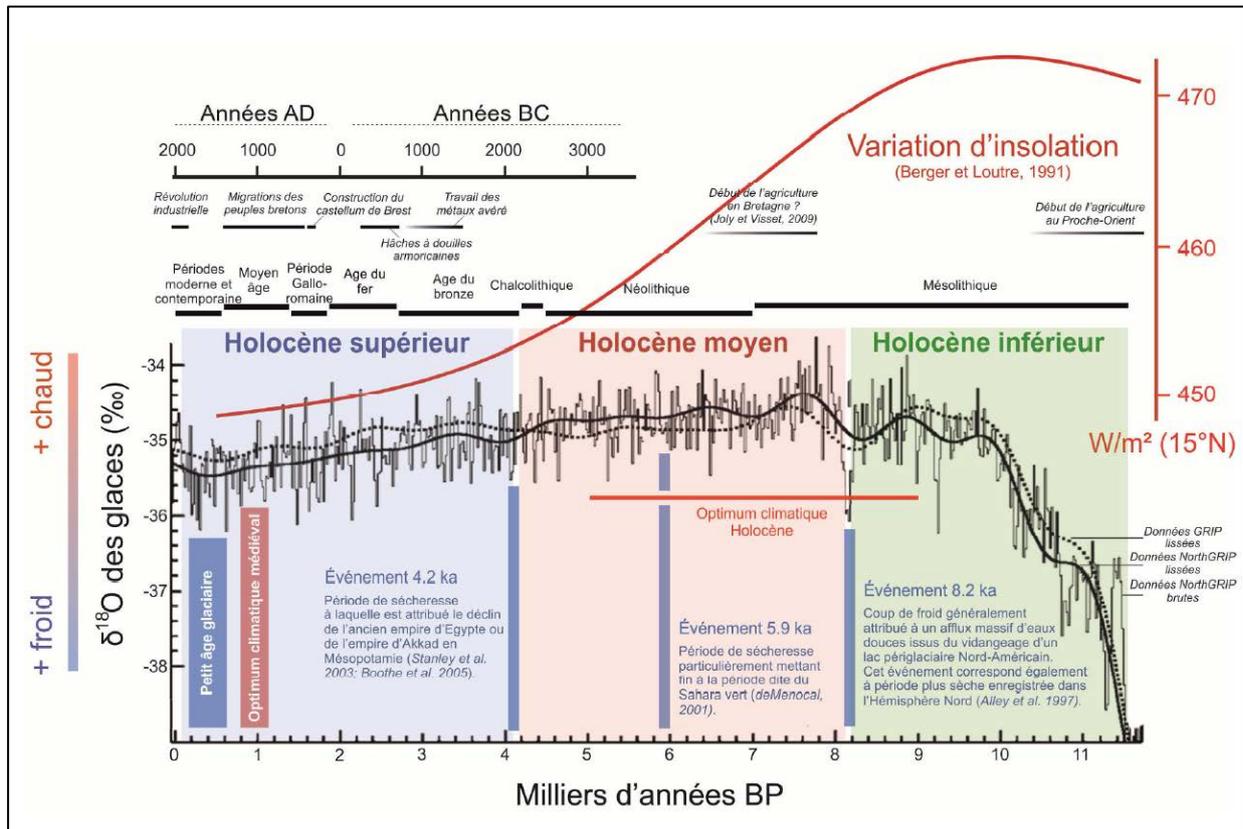
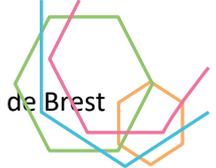


Figure 115 : Evènements climatiques et périodes culturelles en Bretagne dans le contexte climatique global (Lambert, 2017)

La dynamique naturelle du climat (Figure 115) est fortement perturbée à l'échelle globale depuis le début de l'ère industrielle au XIXème siècle par les activités humaines. Une des manifestations de ces perturbations est une élévation anormale de la température due à l'émission des gaz à effet de serre, notamment issus de la combustion des énergies fossiles (GIEC). Ces perturbations à l'échelle globale ont des répercussions environnementales, sociales et économiques pointées par le GIEC dans ses rapports successifs de 1990, 1995, 2001, 2007, 2014, et 2021. Il est encore difficile de pointer les conséquences de ces perturbations à l'échelle locale (région ou bassin versant ; Figure 116).

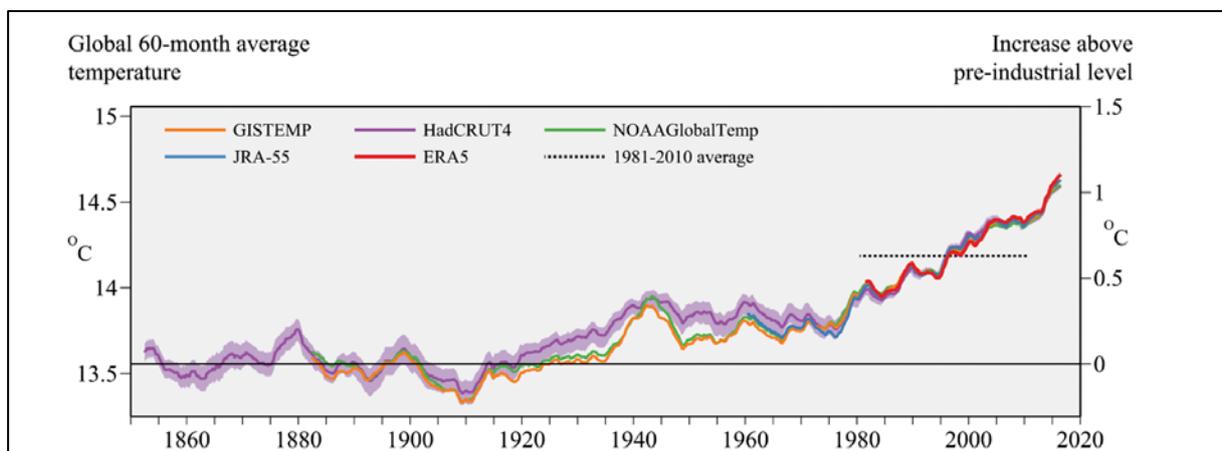
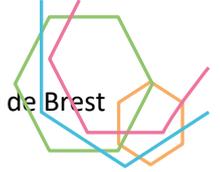


Figure 116 : Evolution des température de l'air (2-m d'altitude) sur l'axe de gauche et changement estimé depuis l'ère pré-industrielle (axe de droite) suivant des modèles différents (GISTEMP, NASA ; JRA-55, JMA ; HadCRUT4, Met office Hadley Centre ; ERA5, Copernicus Climate, Change Service, C3S ; NOAA GlobalTemp, NOAA ; source, Copernicus Climate Change Service C3S/ECMWF)



II.2.7.2. Remontée du niveau marin et régionalisation des courbes

Le réchauffement climatique post-glaciaire (ou déglaciation) et la mise en place des conditions interglaciaires holocènes consécutives ont une influence sur les variations du niveau de la mer en raison des apports d’eaux douces issues de la fonte des glaciers continentaux principalement (Ifremer.fr). Durant l’Holocène moyen et jusqu’à environ il y a 6 000 ans, le relèvement du niveau marin est estimé en Bretagne et sur les côtes de La Manche à 1 cm/an. Depuis 6 000 ans *et jusqu’à la fin de l’ère pré-industrielle*, cette élévation du niveau marin a ralenti à un taux de l’ordre de 1 mm/an (Figure 117). Depuis le début de l’ère industrielle, cette évolution est marquée par un rythme trois à quatre fois plus élevé, de l’ordre de 3-4 mm/an, imputable au réchauffement global induit par les activités humaines (GIEC).

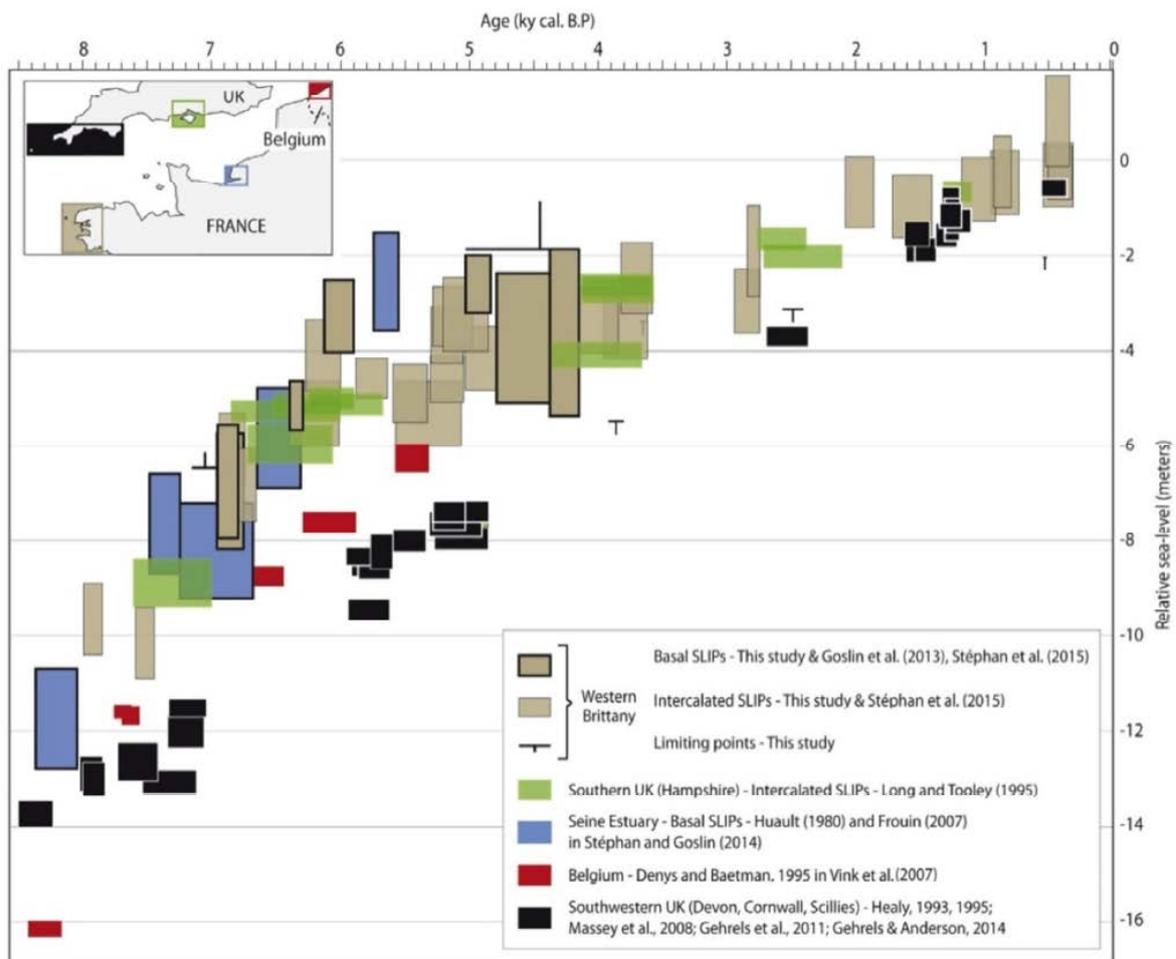
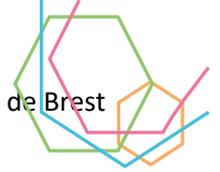


Figure 117 : Reconstitution de la courbe régionale de remontée du niveau marin par la méthode des ‘sea-level index points’ (Goslin et al., 2015).

Les projections climatiques à l’échelle planétaire prévoient i) une poursuite du réchauffement de l’ordre de 1.5 à 3.0 degrés en l’absence de politique climatique à l’horizon 2071-2100 (valeurs moyennes); ii) une diminution constante du nombre de jours de gel et une augmentation du nombre de journées chaudes, quel que soit le scénario ; ii) une augmentation du nombre de jours de vague de chaleur de +8 à +33 d’ici la fin du siècle (Cauchy et al., 2019).



II.2.7.3. A l'échelle locale de la rade de Brest

Les effets du réchauffement climatique (Figure 118) sur l'ensemble de la rade de Brest et de son bassin versant concernent i) l'accroissement des phénomènes de vents violents/tempêtes (fréquence et intensité), ii) un accroissement du risque submersion, iii) une augmentation des inondations par crues et ruissellement, iv) une recrudescence des sécheresses et des feux de forêts, v) une évolution de la biomasse planctonique, et v) une érosion de la biodiversité (Cauchy et al., 2019). En outre, la rade et son bassin versant semblent peu sujets aux phénomènes d'érosion côtière qui concernent principalement les côtes sableuses faites de matériaux meubles et exposées aux vagues.

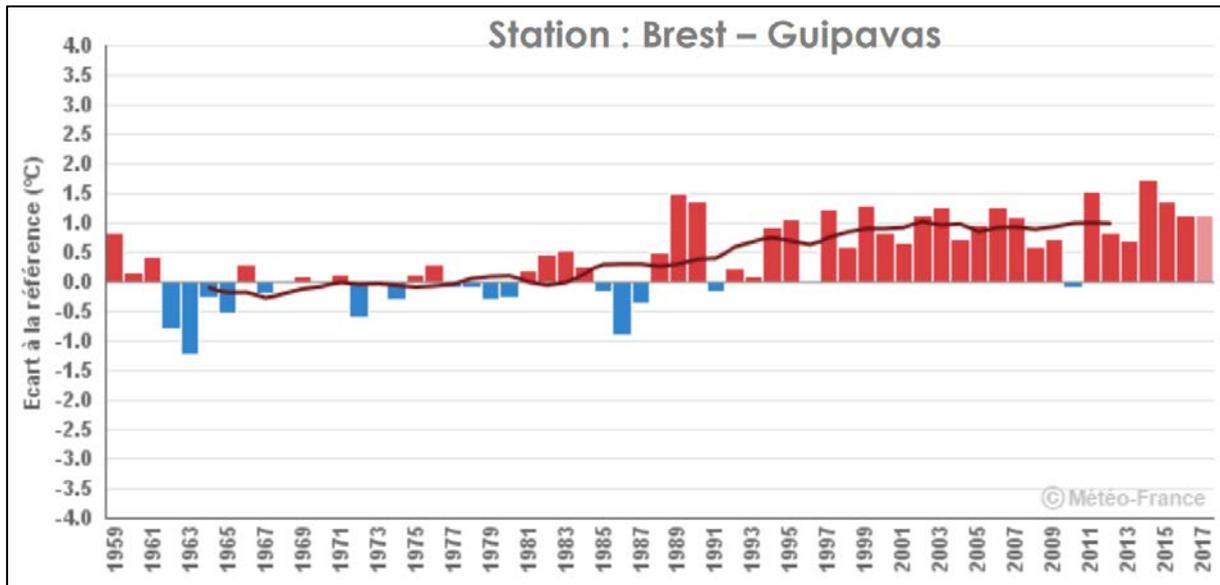
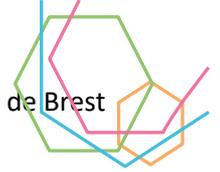


Figure 118 : Evolution observée de la température moyenne de l'air (sous abri) annuelle depuis 1959 (moyenne glissante sur 11 ans), Cauchy et al. 2019.

- i) Le Finistère connaît régulièrement des tempêtes qui additionnent des vents intenses à des phénomènes de précipitations. Il existe de fortes variations d'une année sur l'autre et d'une tempête à l'autre qui sont fonction des secteurs de vent, de son intensité ou de l'intensité des précipitations associées. Aucune tendance marquée n'a été constatée dans l'histoire climatique récente sur la fréquence et l'intensité des événements extrêmes sur le Finistère. Les années les plus récentes (notamment l'été 2022) et leurs cortèges de dépassements thermiques, sur l'ouest européen notamment, amèneront sans doute à une révision de cette position ; L'enregistrement et l'interprétation de ces événements constituent un défi majeur pour le décryptage de tendances évolutives concernant ces événements (PCET, 2014).
- ii) Brest a mesuré une augmentation annuelle de 1,8 mm du niveau moyen de la mer depuis 1908 (Figure 119). Le Conseil scientifique de l'environnement en Bretagne retient l'hypothèse d'une probable élévation moyenne de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres d'ici à la fin de ce siècle pour les littoraux du massif armoricain. Ce constat n'est pas négligeable puisque les quais du port de Brest sont déjà à la limite de la submersion par pleine mer de vive eau et sans vent. Le risque submersion touche principalement les côtes basses situées sur des secteurs très localisés, notamment à l'est de la rade de Brest (PECT, 2014).



300 ans d'observations du niveau de la mer à Brest



Figure 119 : Evolution du niveau marin à Brest depuis 1711, issu des travaux de N. Pouvreau (Shom) Un suivi de l'évolution du trait de côte et des paramètres d'élévation du niveau marin couplé avec les aléas climatiques (vent, hauteur de vague) est opéré par l'IUEM pour la rade de Brest

- iii) L'élévation du niveau marin (Figure 120) peut également générer des inondations accrues pour les villes portuaires sous influence de la marée, surtout pendant les périodes de conjonction des conditions météorologiques (fortes précipitations entraînant des crues) et marégraphiques (fort coefficient de marée, PECT, 2014). C'est notamment le cas des villes de Châteaulin, sur l'Aulne, et de Landerneau, sur l'Elorn. Cette vulnérabilité aux inondations fait l'objet de modélisations numériques pour une meilleure évaluation des risques (ex pour Landerneau, Guillou et Chapalain, 2021)

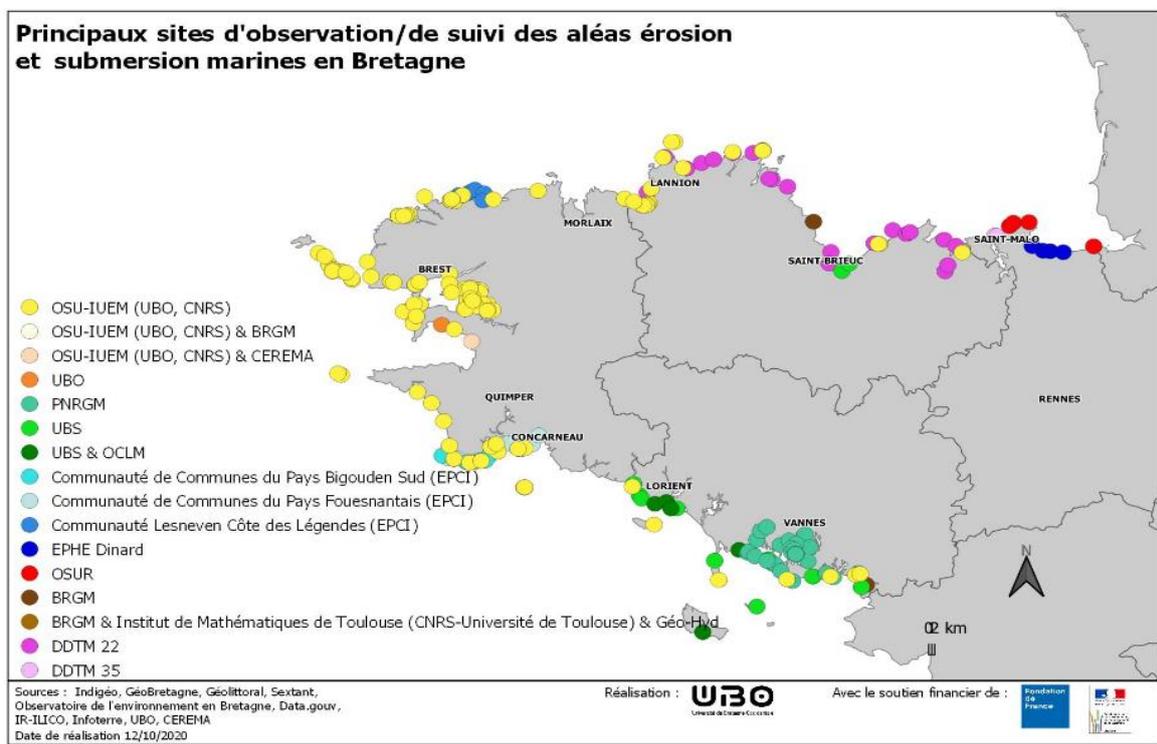
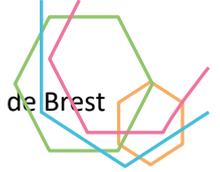


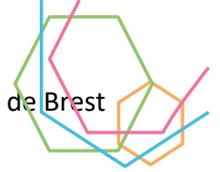
Figure 120 : Principaux sites d'observation et de suivi des alés érosion et submersion marines en Bretagne.

- iv) Les sécheresses (ex : été 2022) constituent un risque majeur pour le Finistère et pour le bassin versant de la rade de Brest, en premier lieu pour l'alimentation en eau potable des populations mais aussi dans un contexte économique marqué par l'importance de



l'agriculture (PCET, 2014). La ressource en eau en Bretagne est quasi-exclusivement liée aux pluies hivernales qui permettent la recharge en eau des nappes. Une diminution des précipitations pourrait fragiliser les milieux aquatiques et rendre encore plus vulnérables les zones situées en tête de bassin versant (en particulier les zones humides, OEB, bretagne-environnement.fr).

- v) Vis-à-vis de la biomasse planctonique et des phénomènes d'eutrophisation (algues vertes) une hausse des températures en période productive (printemps, été) pourrait aggraver ces phénomènes. Mais a contrario, la hausse des températures pourrait aussi se traduire par une diminution du débit des rivières et donc des apports trophiques qui alimentent les « marées vertes ».
- vi) Il existe plusieurs espèces bretonnes « climato-sensibles », en particulier chez les reptiles et les batraciens pour lesquelles la répartition est clairement liée à la température ou à l'ensoleillement. Quelques espèces de poissons d'eau froide et de poissons migrateurs (ex : le saumon) présentes dans les rivières bretonnes sont aussi connues pour leur intolérance à de faibles variations autour de leur température optimale. C'est le cas également pour quelques mammifères, dont plusieurs chauves-souris. Une évolution significative des conditions de températures se traduirait par une érosion de la biodiversité dans l'ensemble des milieux de vie de la rade de Brest (Cauchy et al., 2019).
- vii) Concernant les espèces marines, des changements déjà décelables vont s'amplifier avec la remontée d'espèces d'eaux tempérées chaudes en limite de répartition, et la perte probable d'espèces actuellement en limite sud de leur aire de répartition.
- viii) En rade de Brest comme ailleurs, ce contexte de réchauffement va altérer les relations inter-organismes, notamment les relations hôtes-parasites et les symbioses et créer des conditions d'émergences de nouvelles épizooties, notamment chez les mollusques marins (Ormeaux, Huîtres, Palourdes) abondamment étudiés de ce point de vue.



The narrow outlet limits wave propagation (normal state)

...

except under westward storms event (wave height > 1,25 m inner-bay)

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

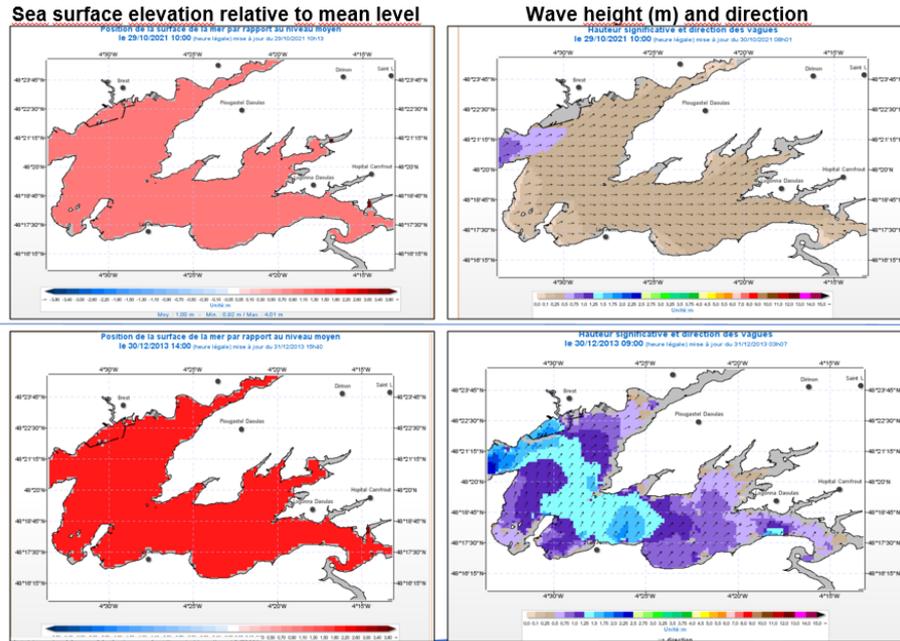


Figure 121 : Les deux illustrations supérieures représentent la position de la surface de la mer par rapport au niveau moyen et la hauteur significative des vagues (avec leur direction), respectivement, le 29/10/21 à 10h dans des conditions d'agitation normales. Les deux illustrations inférieures représentent également la position de la mer par rapport au niveau moyen et la hauteur significative des vagues, cette fois-ci dans des conditions agitées, avec plus de 1,25 m de vague (extraits d'une présentation dans le cadre de European University of the Sea, Penaud et Rimmelin).

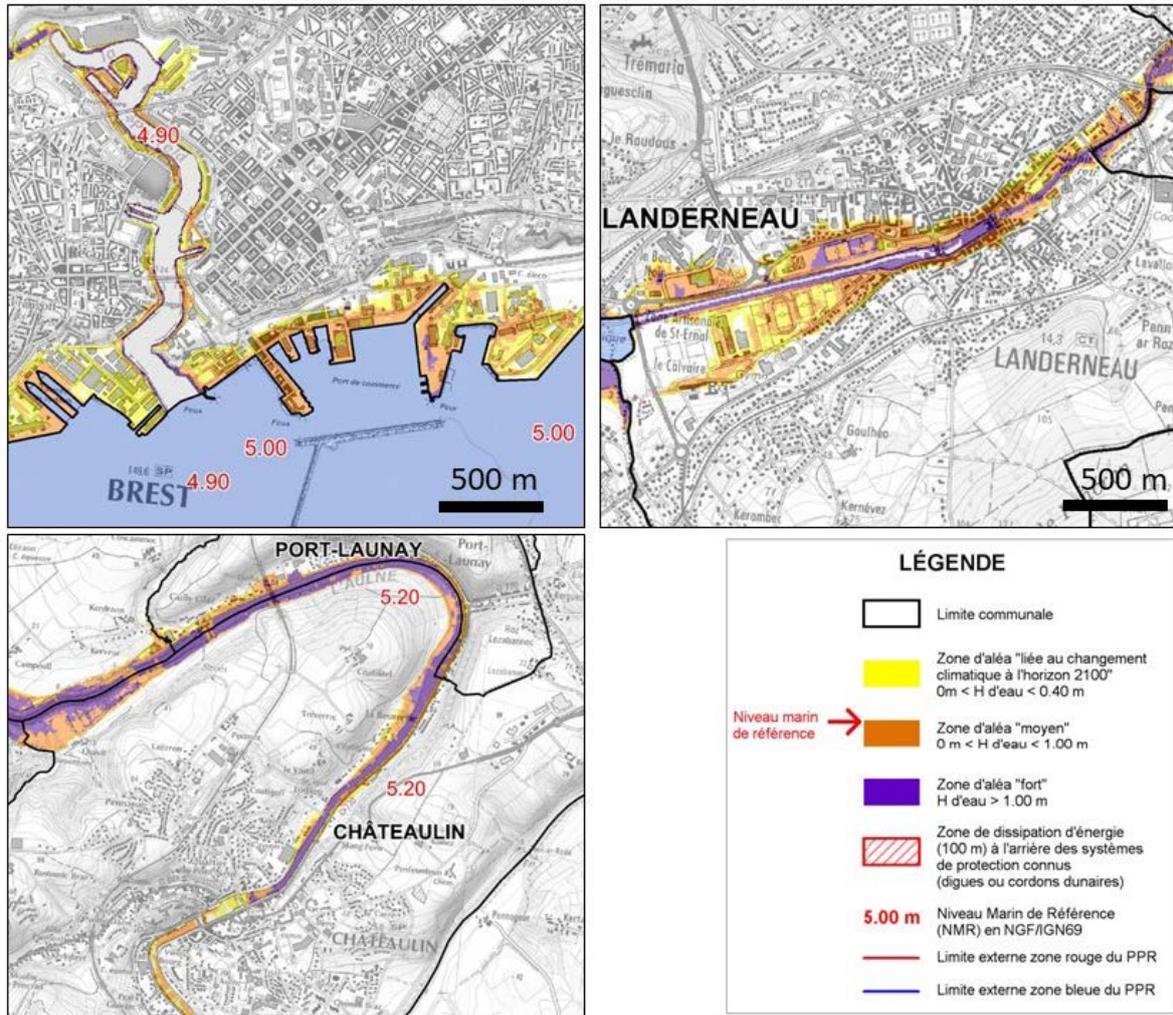
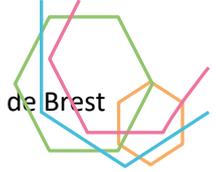


Figure 122 : Cartographie des zones basses des communes exposées au risque de submersion marine (Préfecture du Finistère, 2013). Zoom sur trois villes comportant des aléas moyens à fort, de droite à gauche et de haut en bas : Brest, Landerneau et Châteaulin.



REFERENCES PARTIE 2

- 2ème plan climat-énergie territorial du Conseil général du Finistère 2014-2018 (partie 3/5), Etat des lieux des vulnérabilités du Finistère vis à vis du changement climatique. 2014. Conseil Général du Finistère.
- Acro. 2003. « Etat des lieux » de la radioactivité du bassin versant et de la rade de Brest, dans le cadre du contrat de Baie. 76 p.
- Acro. 2013. Etude des niveaux de radioactivité dans les environs de la rade de Brest. 48 p.
- Archives départementales du Finistère, 4S/139. 1877.
- Archives départementales du Finistère, 7M/134. 1820.
- Archives départementales du Finistère, 7M/134. 1838.
- Archives du SHD de Vincennes, CC5 623. 1847.
- Archives du SHD de Vincennes, CC5 623. 1849.
- Ballihaut, C., K. Abannar, S. Garnier, S. Ayrinhac, E. Salgues, et L. Ballut. 2021. Étude sur la gestion quantitative de la ressource en eau en Bretagne analyse de la pression de prélèvement définition des volumes disponibles. Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne.
- Baudry, J., et A. Jouin. 2003. *De la haie aux bocages*. Espaces ruraux.
- Berger, A., et M.F. Loutre. 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews* 10 (4): 297-317. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(91\)90033-Q](https://doi.org/10.1016/0277-3791(91)90033-Q).
- Bernhard, A. E., Field, K. G. 2000. A PCR assay to discriminate human and ruminant feces on the basis of host differences in bacteroides – *Prevotella* genes encoding 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 66 (10) 4571-4574. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.10.4571-4574.2000>.
- Bilan 2021. Zoom sur PPP. 2021. SAGE Elorn.
- Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. 2021. IRSN.
- Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014. 2015. IRSN.
- Bilotta, G.S., et R.E. Brazier. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42 (12): 2849-61. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>.
- Briant, N., et M. Waeles. 2022. Rapport d'activités projet COMENRADE. Contamination métallique de la Rade de Brest et impact sur les bivalves d'intérêt conchylicole. Ifremer.
- Charpentier, E. 2013. *Le Peuple du rivage*. Presses Universitaires de Rennes. Rennes.
- Chauris, L. 1994. Pollution industrielle au XVIIIème siècle : les mines de plomb du Huelgoat.
- Chiffolleau, J.-F. 2017. La contamination chimique sur le littoral Loire-Bretagne. RST.RBE-BE/2017.02.
- DECANTEUR Structure composite RAL 5012 int. ET RAL 7040 ext. 2015. HYDRO Environnement.
- Déclaration de flux d'azote. Les principaux résultats, Région Bretagne. 2020. Préfecture de Bretagne.
- Délibération Mollusques/Bivalves BR/CM-B, 2022. Fixant le nombre de licences et l'organisation de la campagne de pêche des mollusques bivalves à la drague dans le secteur de Brest-Camaret. 3 p.
- Déversoir triangulaire MC-VT. 2018. HYDRO Environnement.
- Diagnostic des filières pêche et aquaculture en Pays de Brest. 2016. Union Européenne, Région Bretagne, Pays de Brest.

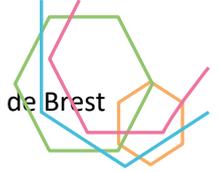


- Drout, Julie, et Marion Besançon. 2018. Activités de carénage dans les ports de plaisance, zones de mouillages et chantiers nautiques privés. État de l'existant et préconisations techniques. Cerema.
- Duchêne, J., Ismaël Bernard, et Stéphane Pouvreau. 2016. Vers un retour de l'huître indigène en rade de Brest.
- Dupas, Rémi, Florence Curie, Chantal Gascuel-Oudou, Florentina Moatar, Magalie Delmas, Virginie Parnaudeau, et Patrick Durand. 2013. Assessing N emissions in surface water at the national level: Comparison of country-wide vs. regionalized models. *Science of The Total Environment* 443 (janvier) : 152-62. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.011>.
- Dupas, Rémi, Sophie Ehrhardt, Andreas Musolff, Ophélie Fovet, et Patrick Durand. 2020. Long-term nitrogen retention and transit time distribution in agricultural catchments in western France. *Environmental Research Letters* 15 (11) : 115011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbe47>.
- Duvail, Romain, et Emmanuelle Moreau-Haug. 2017. Naut'iroise services plougastel-daoulas Station de traitement des eaux de carénage Bilan du 27 avril 2017. LABOCEA.
- Eveillard, J. D. 2010. *L'essor fulgurant de l'agriculture en Bretagne*. Ouest France. Beaux livres.
- Expérimentation pour une gestion concertée et durable de la pêche à pied de loisir. 2017. Brest Métropole.
- Filtre bi-étagé. 2018. HYDRO Environnement.
- Filtres WS Multicouches Automatiques. 2018. ADHOC industrial.
- Frère, L., I. Paul-Pont, E. Rinnert, S. Petton, J. Jaffré, I. Bihannic, P. Soudant, C. Lambert, et A. Huvet. 2017. « Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France) ». *Environmental Pollution* 225 (juin): 211-22. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.023>.
- Gahagnon, M., Gourlan, M., Moreau-Haug, E., Patris, T., Penden, G., Robic, A., Roux, H. 2013. Synthèse des connaissances acquises sur l'aval du bassin versant de la Penfeld. Idhesa Bretagne Océane. 100 p.
- Goslin, Jérôme, Brigitte Van Vliet Lanoë, Giorgio Spada, Sarah Bradley, Lev Tarasov, Simon Neill, et Serge Suanez. 2015. A new Holocene relative sea-level curve for western Brittany (France): Insights on isostatic dynamics along the Atlantic coasts of north-western Europe. *Quaternary Science Reviews* 129 (décembre): 341-65. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.10.029>.
- Grall, J. 2018. Evaluation des impacts écologiques engendrés par pressions physiques sur les habitats benthiques : cas de la pêche et de l'extraction. IUEM.
- Guérin, Camille. 2020. Teneurs et flux de métaux (Pb, Cd, Zn, Cu et As) dans les eaux fluviales de l'Aulne et de ses affluents ; Impact des activités minières historiques de Huelgoat Poullaouen. Université de Bretagne Ouest.
- Guillou, N., Chapalain, G. 2021. Machine learning methods applied to sea level predictions in the upper part of a tidal estuary. *Oceanologia*, 63, 531-544. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2021.07.003>
- Gourmelon, M., Noël, C., Boukerb, A., Quenot, E., Cadiou, B., Chevê, J., Quintric, L., Cormier, A., Dantan, L., Serghine, J., Mieskin, S., Mauffret, A., Godino, A., Lozach, S., Jardé, E. 2021. Les marqueurs d'identification de sources de contaminations fécales : des communautés bactériennes aux marqueurs qPCR. Présentation Ifremer.
- Harwood, V. J., Staley, C., Badgley, B. D., Borges, K., Korajkic, Asja. 2014. Microbial source tracking markers for detection of fecal contamination in environmental waters : relationships between pathogens and human health outcomes. *FEMS Microbiol Rev.* 38 (1), 1- 40. <https://doi: 10.1111/1574-6976.12031>
- Impact des rejets piscicoles ». 2008. DRIRE DIREN.
- Impacts socio-économiques des problématiques environnementales en rade de Brest. 2020. Présenté à Impacts socio-économiques des problématiques environnementales en rade de Brest.
- Irrigation, localisation des serres et des cultures de plein champ ». 2020. DREAL.
- Johnsen, Sigfus J., Dorthe Dahl-Jensen, Niels Gundestrup, Jørgen P. Steffensen, Henrik B. Clausen, Heinz Miller, Valerie



- Masson-Delmotte, Arny E. Sveinbjörnsdottir, et James White. 2001. Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science* 16 (4): 299-307. <https://doi.org/10.1002/jqs.622>.
- Lambert, Clément. 2017. Signature paléoenvironnementale des séquences holocènes en Rade de Brest : forçages climatiques et anthropiques. Thèse, Université de Bretagne Occidentale.
- Lana-Renault, N., D. Regüés, C. Marti-Bono, S. Begueria, J. Latron, E. Nadal-Romero, P. Serrano, et J. Garcia-Ruiz. 2007. Temporal variability in the relationships between precipitation, discharge and suspended sediment concentration in a small Mediterranean mountain catchment. *Water Policy*, 2007.
- Le Guyader, D. 2012. Modélisation des activités humaines en mer côtière. Université de Bretagne occidentale.
- L'économie Maritime de la Région Bretonne. 2021. ADEUPa.
- Legeay, P. L., F. Moatar, N. Bougon, G. Deronzier, R. Dupas, et C. Gascuel-Oudou. 2006. Les modèles Nutting : une boîte à outils pour estimer des flux et des rétentions d'azote et de phosphore dans les masses d'eau. *Sciences Eaux et Territoires, la revue d'Irstea*, 2006.
- Les pesticides en Bretagne. 2020. OEB.
- Marine Nationale, Etat-major de la Marine Bureau « maîtrise des risques », 2020. Directive relative à la gestion des eaux issues des activités de carénage.
- MICROPLASTIC2, Pollution aux microplastiques: détection, risques et remédiation à l'interface terre-mer. Rapport final, extraits résultats sur la Rade de Brest. 2020.
- Moëlo, S., et O. Levasseur. 2010. *La mémoire des champs*.
- Morvan, S. 2014. Schéma de fonctionnement de l'aire de carénage de Plougastel-Daoulas.
- Office Français de la Biodiversité, 2022. Rapport de diagnostic de la pêche à pied de loisir sur le territoire de la rade de Brest. 29 p.
- Old, Gareth H, Graham J.L Leeks, John C Packman, Barnaby P.G Smith, Scott Lewis, Edward J Hewitt, Matthew Holmes, et Andy Young. 2003. The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fine sediment transport in a highly urbanised catchment: Bradford, West Yorkshire. *Land Ocean Interaction: processes, functioning and environmental management: a UK perspective* 314-316 (octobre): 495-512. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00070-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00070-6).
- Pêche des mollusques bivalves dans le secteur de Brest-Camaret. 2017. Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins de Bretagne.
- Poisvert, C. 2018. Analyse et modélisation des surplus azotés en France au cours du siècle dernier : Application aux échelles départementales et communales. Université de Tours.
- Royer, J.Y., V. Ballu, M. Beauverger, T. Coulombier, P.Y. Morvan, P. Urvoas, C. Chupin, et P. Sakic. 2019. GEODESEA-2019 An experiment of seafloor geodesy in the Bay of Brest.
- Salun, B. 2017. La rade de brest, un écosystème conchylicole complet. Présenté à Journée ZABrI, Plouzané.
- Statistique des pêches maritimes. 1866. Paris : Imprimerie Nationale.
- Tauran, A., J. Dubreuil, B. Guyonnet, et J. Grall. 2020. Impact of fishing gears and fishing intensities on maerl beds: An experimental approach ». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 533 (décembre): 151472. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2020.151472>.
- Voisin, J. 2017. Influence des pratiques de recharge des aquifères par des eaux pluviales sur les communautés microbiennes des nappes phréatiques. Université de Lyon.





III. EFFETS SUR LES ECOSYSTEMES

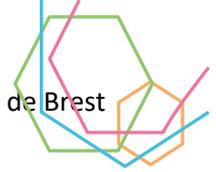
Les usages de l'eau et les rejets associés aux activités anthropiques ont des effets décelables à l'échelle du fonctionnement des écosystèmes (Figure 123). Certaines perturbations et modifications de l'environnement sont visibles et/ou directes (ex : macro-déchets d'origine anthropique dans l'environnement naturel ; pollution accidentelle et mortalité de poisson).



Figure 123 : Schématisation du continuum Terre-Mer sur le bassin versant de la rade de Brest. La préservation des écosystèmes, depuis les milieux continentaux jusqu'au milieu marin, est symbolisée par la représentation d'espèces végétales et animales. Les usages tributaires de la qualité de l'eau sont cerclé d'un rond bleu. Les usages pouvant dégrader la qualité de l'eau sont cerclés en orange. Dans le sens horaire et en partant du bas de l'image, les cercles 'usages' représentent successivement : la pisciculture, les activités minières, la conchyliculture, la baignade, la pêche embarquée, la réparation navale, la prise d'eau d'Océanopolis, le ruissellement sur les surfaces urbanisées, les stations d'épuration, les décharges, la pisciculture, les serres, les industries, l'agriculture, les substances médicamenteuses, l'agriculture, et l'alimentation en eau potable.

III.1. La qualité du milieu traduite par les indicateurs

Le bassin versant de la rade de Brest abrite un écosystème riche dont dépendent nombre d'espèces sensibles. La qualité des cours d'eau et rivières affecte directement l'évolution des populations d'anguilles ou de saumons qui s'y reproduisent. Certaines espèces exigeantes en termes de qualité de l'eau subsistent en faible nombre et en de rares endroits dans les rivières du bassin versant ; c'est le cas de la muette perlière. Plusieurs indicateurs sont utilisés pour rendre compte de la qualité du milieu naturel et de la biodiversité. Certains de ces indicateurs sont décrits ci-après.



III.1.1. Etat des lieux DCE et DCSMM

III.1.1.1. Indicateurs DCE

Le contrôle de surveillance des masses d'eau en rade de Brest concerne une masse d'eau côtière (FRGC16 pour la rade de Brest) et trois masses d'eau de transition (FRGT10 pour L'Elorn, FRGT11 pour la Rivière de Daoulas et FRGT12 pour L'Aulne ; Figure 124). Les points de contrôle de la masse d'eau côtière Rade de Brest (FRGC16) sont largement répartis dans la partie sud de la rade. L'absence de points de contrôle de la Pointe du Portzic à l'Anse du Moulin-Blanc est préjudiciable pour la représentativité des résultats. L'état chimique des masses d'eau est jugé mauvais pour trois des quatre masses d'eau, en particulier à cause des concentrations trop élevées en métaux lourds, composés biocides, et hydrocarbures aromatiques polycycliques. L'état écologique des quatre masses d'eau est en revanche jugé bon à moyen dans les masses d'eau identifiées.

Le programme de surveillance inclut la « surveillance chimique » (substances dangereuses) et la « surveillance écologique ». Le rapport 2019 de l'Agence de l'Eau établi à partir des données de 2012 à 2017 attribue un bon état écologique (Figure 125) à la rade de Brest mais conclut à un mauvais état sur le plan chimique (Figure 126).

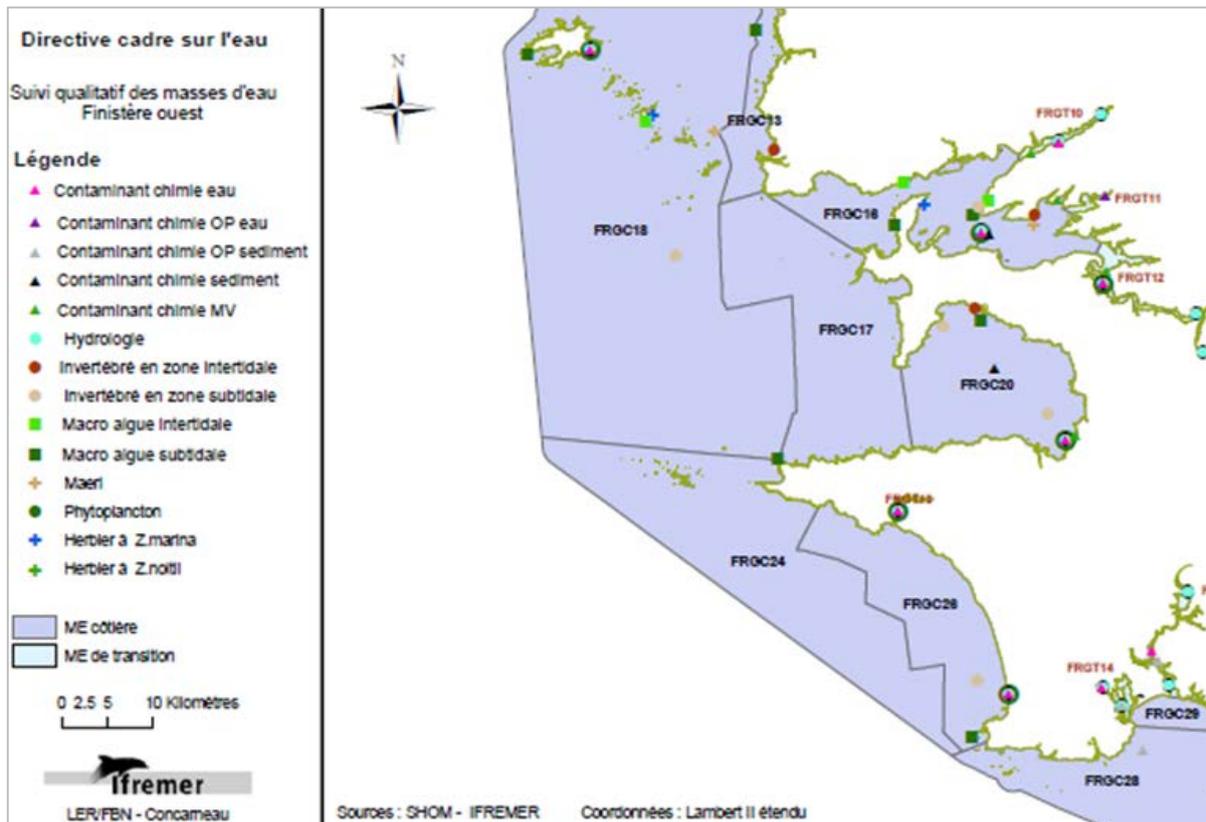


Figure 124 : Visualisation des masses d'eau et des points de surveillance sur la côte Ouest du Finistère (Ifremer.fr, envlit)

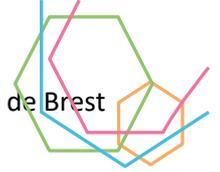


Figure 125 : L'état écologique en rade de Brest (ENVLIT, IFREMER). Voir grille de lecture sur le Tableau 25

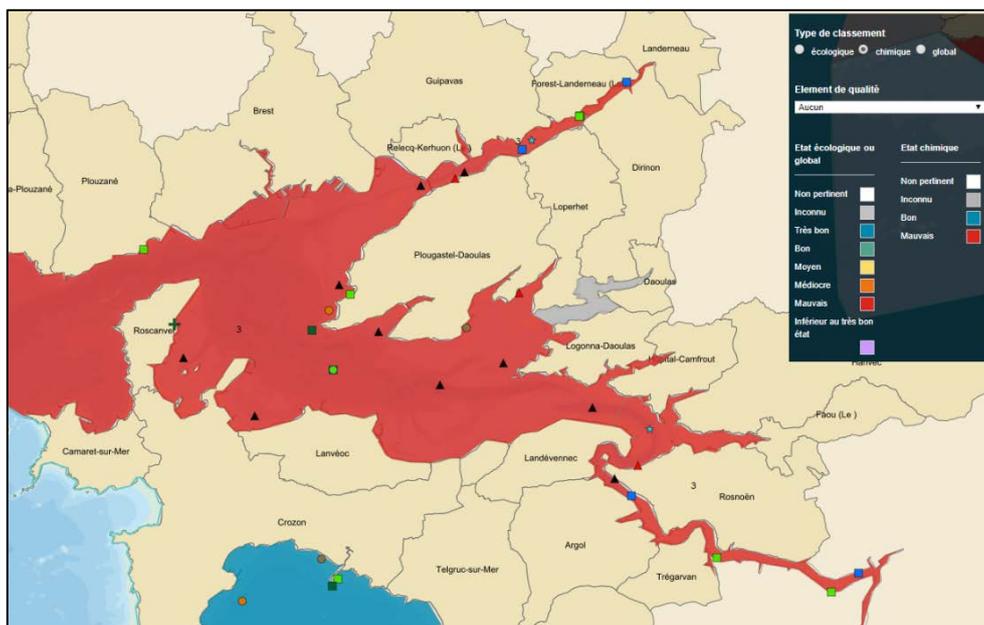
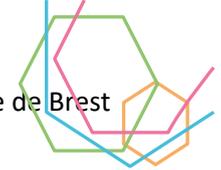


Figure 126 : L'état chimique en rade de Brest (ENVLIT, IFREMER). Voir grille de lecture sur le Tableau 25

Les objectifs de la DCE sont échelonnés jusqu'en 2027, année fixée pour atteindre le bon état pour les masses d'eau de transition de l'Aulne et de l'Elorn. Le risque de non atteinte de ces objectifs est de nature chimique. L'eutrophisation n'a pas été considérée comme un risque au niveau de la rade. Les résultats présentés ici sont ceux issus des derniers résultats validés avec le jeu de données 2012-2017. Certains composés dits « ubiquistes » à caractère persistant, bioaccumulables et toxiques (PBT) ne sont donc pas considérés déclassants pour cet état chimique afin de ne pas masquer les progrès accomplis par ailleurs. Pour autant, le rapport de la DCE mentionne à titre d'information les dépassements de seuil de qualité, lorsqu'ils sont constatés, pour ces composés.



| Etat écologique ou global | | Etat chimique | |
|----------------------------|--|---------------|--|
| Non pertinent | | Non pertinent | |
| Inconnu | | Inconnu | |
| Très bon | | Bon | |
| Bon | | Mauvais | |
| Moyen | | | |
| Médiocre | | | |
| Mauvais | | | |
| Inférieur au très bon état | | | |

Tableau 25 : Grille de lecture des Figure 125 et Figure 126

Alors que leurs états écologiques sont jugés bons ou moyens, les masses d'eau rade de Brest, Elorn et Aulne sont classées avec un état global mauvais en raison de la présence de certaines substances chimiques et seule la masse d'eau Rivière de Daoulas est classée en bon état global (Tableau 26 : Classement DCE des quatre masses d'eau.). Le classement de masse d'eau rade de Brest en bon état écologique résulte des résultats obtenus sur un nombre de points de suivis nécessairement limité et avec des indicateurs d'états prédéfinis. Ce diagnostic de bon état écologique doit être nuancé car certains secteurs de la rade connaissent d'importants déséquilibres écologiques (proliférations d'algues vertes filamenteuses dans le fond de rade, eutrophisation de l'estuaire de la Penfeld) mal ou non pris en compte dans l'évaluation globale de la DCE.

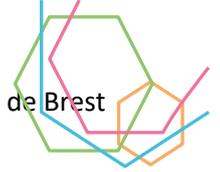
| Identification de la masse d'eau | | Type | Etat provisoire | | |
|----------------------------------|--------------------|------|-----------------|------------|--------|
| | | | chimique | écologique | Global |
| FRGT10 | L'Elorn | MET | | | |
| FRGT11 | Rivière de Daoulas | MET | | | |
| FRGT12 | L'Aulne | MET | | | |
| FRGC16 | Rade de Brest | MEC | | | |

Tableau 26 : Classement DCE des quatre masses d'eau.

La masse d'eau Elorn (FRGT10) est déclassée à cause du paramètre hexachlorocyclohexane (HCH) dans le biote (huître creuse) et du paramètre plomb (Pb) dans le sédiment. La masse d'eau présente aussi un dépassement pour le paramètre tributylétain (TBT) dans le biote et un dépassement pour le mercure (Hg) dans le sédiment.

La masse d'eau Aulne (FRGT12) est déclassée à cause du paramètre cadmium (Cd) dans le biote (huître creuse) et des paramètres cadmium (Cd) et plomb (Pb) dans le sédiment. La masse d'eau présente un dépassement pour le paramètre tributylétain (TBT) dans le biote et un dépassement pour le mercure (Hg) dans le sédiment. Du point de vue biologique, la prolifération de macroalgues la décline en état moyen.

La masse d'eau rade de Brest (FRGC16) est déclassée à cause du paramètre hexachlorocyclohexane (HCH) dans le biote (huître creuse) et du paramètre plomb (Pb) dans le sédiment. La masse d'eau présente aussi des dépassements pour le tributylétain (TBT) dans le biote et pour le mercure (Hg) et



hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le sédiment. Les HAP concernés sont l'anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène et l'indeno(1,2,3-cd)pyrène.

III.1.1.2. Indicateur DCSSM

La directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 appelée Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) vise, au plus tard en 2020, à maintenir ou restaurer un bon fonctionnement des écosystèmes marins (diversité biologique conservée et interactions correctes entre les espèces et leurs habitats, océans dynamiques et productifs) tout en permettant l'exercice des usages en mer pour les générations futures dans une perspective de développement durable. Les États membres de l'Union européenne doivent ainsi prendre toutes les mesures nécessaires pour réduire les impacts des activités sur le milieu marin. En France, la directive a été transposée dans le code de l'environnement (articles L. 219-9 à L. 219-18 et R. 219-2 à R. 219-10) et s'applique aux eaux marines métropolitaines sous juridiction française, divisées en 4 sous-régions marines (SRM): la Manche-mer du Nord (MMN), les mers celtiques (MC), le golfe de Gascogne (GdG), la Méditerranée occidentale (MO). La rade de Brest fait partie de la sous-région marine Manche – Mer du Nord (MMN).

La DCSSM prend en considération 11 descripteurs qualitatifs (annexe 1) pour la description du bon état écologique, communs à tous les états membres de l'Union Européenne. Les indicateurs sont les suivants : D1 – Biodiversité ; D2 – Espèces non-indigènes ; D3 – Espèces commerciales ; D4 – Réseaux trophiques ; D5- Eutrophisation ; D6 – Intégrité des fonds marins ; D7 – Changements hydrographiques ; D8 – Contaminants ; D9 – Questions sanitaires ; D10 – Déchets marins ; D11 – Bruit sous-marin.

L'évaluation de l'état écologique des eaux marines et de l'impact environnemental des activités humaines sur ces eaux est la première étape de mise en œuvre de la DCSMM (art. 8). Elle est élaborée au niveau de chaque sous-région marine et révisée tous les 6 ans. Elle est composée de trois volets :

- Une analyse des spécificités et caractéristiques essentielles et de l'état écologique de ces eaux ;
- Une analyse des principales pressions et principaux impacts, notamment dus à l'activité humaine, sur l'état écologique de ces eaux ;
- Une analyse économique et sociale de l'utilisation de ces eaux et du coût de la dégradation du milieu marin.

Les résultats de deux cycles d'évaluations sont disponibles sur dcsmm.milieumarinfrance.fr. Les résultats des cycles d'évaluation de la DCSSM sont souvent difficiles à exploiter à l'échelle de la rade de Brest compte-tenu de l'étendue de la sous-région marine dont elle fait partie. Pour illustrer les résultats d'évaluation de la DCSSM, la carte ci-dessous (Figure 127) présente les cas d'Imposex (masculinisation) chez un gastéropode, la nucelle (*Nucella lapillus*).

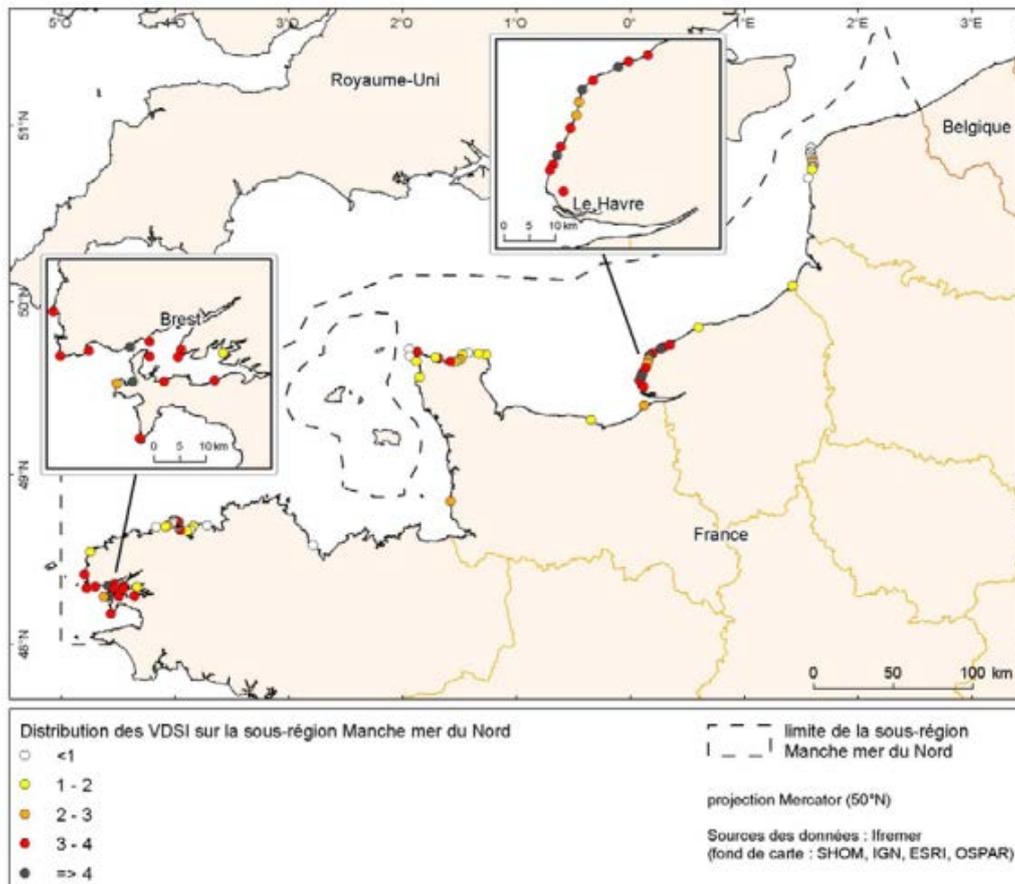


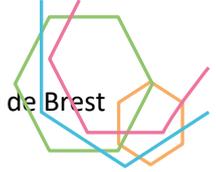
Figure 127 : Distribution des VDSI (Vas Deferens Sequence Index ou Imposex) dans la sous-région marine Manche – Mer du Nord. Le VDSI varie de 0 (absence de masculinisation des femelles de *Nucella lapillus*) à 6 (stérilité des femelles, Knoery, 2012 d'après Ifremer, 2011)

Le plan d'action 2022-2024 (Façade Nord Atlantique – Manche Ouest - NAMO) identifie des zones de protection forte (ZPF) sur la NAMO. Des secteurs d'études ZPF potentiels sont identifiés sur la base de la zonation DCSSM. Des enjeux environnementaux prioritaires sont associés pour chaque ZPF. Les enjeux identifiés pour le secteur DCSSM12, et plus particulièrement pour la rade de Brest, sont les suivants : Habitats biogéniques (bancs d'huîtres plates) ; oiseaux marins hivernants (plongeurs, harles, grèbes) ; et habitats biogéniques (banc de maërl – Enjeux majeurs).

III.1.2. Indicateurs benthiques

Dans le cadre de la surveillance des masses d'eaux côtières au titre de la DCE, la qualité des peuplements benthiques est appréciée dans la rade Brest au niveau de deux points situés en presqu'île de Plougastel. Un très bon état écologique est établi pour la rade sur la base de cet indicateur à partir de ces deux points de suivi. Les résultats obtenus en 1993 et 2010 hors suivi DCE sur les stations de Roscanvel et « chemin de l'Elorn et du Goulet » confirment ce bon état de santé. Toutefois, si dans la grande rade la bonne qualité du milieu benthique semble avérée, des déséquilibres sont encore constatés au niveau de l'estuaire de la Penfeld en particulier, et dans une moindre mesure, en rade abri et dans le port de commerce de Brest.

Les peuplements benthiques sont constitués d'organismes vivant en relation étroite avec les fonds sub-aquatiques. Les organismes benthiques sont considérés comme de bons indicateurs de la qualité écologique du milieu car ils vivent à l'interface eau-sédiment et leur mobilité est limitée, alors que leur



durée de vie est relativement longue. De plus, ils ont un rôle fondamental dans le réseau trophique. Ils sont susceptibles de réagir rapidement aux perturbations du milieu, que ce soit d'origine naturelle ou anthropique (accroissement du taux de matière organique, pollution aux hydrocarbures, aux métaux, phénomène d'eutrophisation, aménagements, introduction d'espèces). Les peuplements benthiques vivant dans un milieu donné intègrent la qualité de l'eau et des sédiments sur de longues périodes. En cas de perturbation, deux réactions peuvent être observées :

- Un développement de populations qui présentent des affinités ou une certaine tolérance vis à vis des éléments introduits ou des pressions subies ;
- Une régression voire une disparition des espèces sensibles.

Dans l'estuaire de la Penfeld, en amont de l'ouvrage de Kervallon, le milieu peut être qualifié d'azoïque, signe d'une pollution maximale. Dans cette zone, les échanges avec la partie aval de la Penfeld sont réduits et les phénomènes d'anoxie constitués à l'interface eau-sédiment. En aval de l'ouvrage de Kervallon, une amélioration de l'état écologique du milieu a été observée entre 1993 et 2011. Aujourd'hui, la partie maritime de la Penfeld fonctionne comme un estuaire classique de la rade de Brest. Les communautés benthiques sont dominées par des espèces tolérantes et non plus opportunistes. Ce changement signe le retour à la normalité du système.

Dans le bassin nord de la rade une amélioration générale du milieu a aussi été observée à partir de 2008 d'après les scores obtenus sur deux critères que sont H' (indice de diversité de Shannon-Wiener, Tableau 27), et l'AMBI (coefficient benthique, Tableau 28).

| Etat Ecologique | Valeur de H' | Classification de la pollution |
|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| Mauvais | $0 < H' \leq 1,5$ | Azoïque, très pollué |
| Médiocre | $1,5 < H' \leq 3$ | Fortement pollué |
| Moyen | $3 < H' \leq 4$ | Modérément pollué |
| Bon | $4 < H' \leq 5$ | Zones de transition |
| Très bon | $H' > 5$ | Sites de référence |

Tableau 27 : Exemple de classification de la pollution à partir de H' dans les habitats sablo-vaseux. Grille de lecture pour la figure 33.

| Etat Ecologique | AMBI | Classification de la pollution |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Mauvais | $5,5 < \text{AMBI} \leq 7$ | Azoïque |
| Médiocre | $4,3 < \text{AMBI} \leq 5,5$ | Gravement pollué |
| Moyen | $3,3 < \text{AMBI} \leq 4,3$ | Modérément pollué |
| Bon | $1,2 < \text{AMBI} \leq 3,3$ | Légèrement pollué, état transitoire |
| Très bon | $0 < \text{AMBI} \leq 1,2$ | Normal |

Tableau 28 : Equivalences entre les valeurs de l'AMBI et les différents états écologiques définis par la Directive Cadre Eau (d'après Borja et al., 2004).

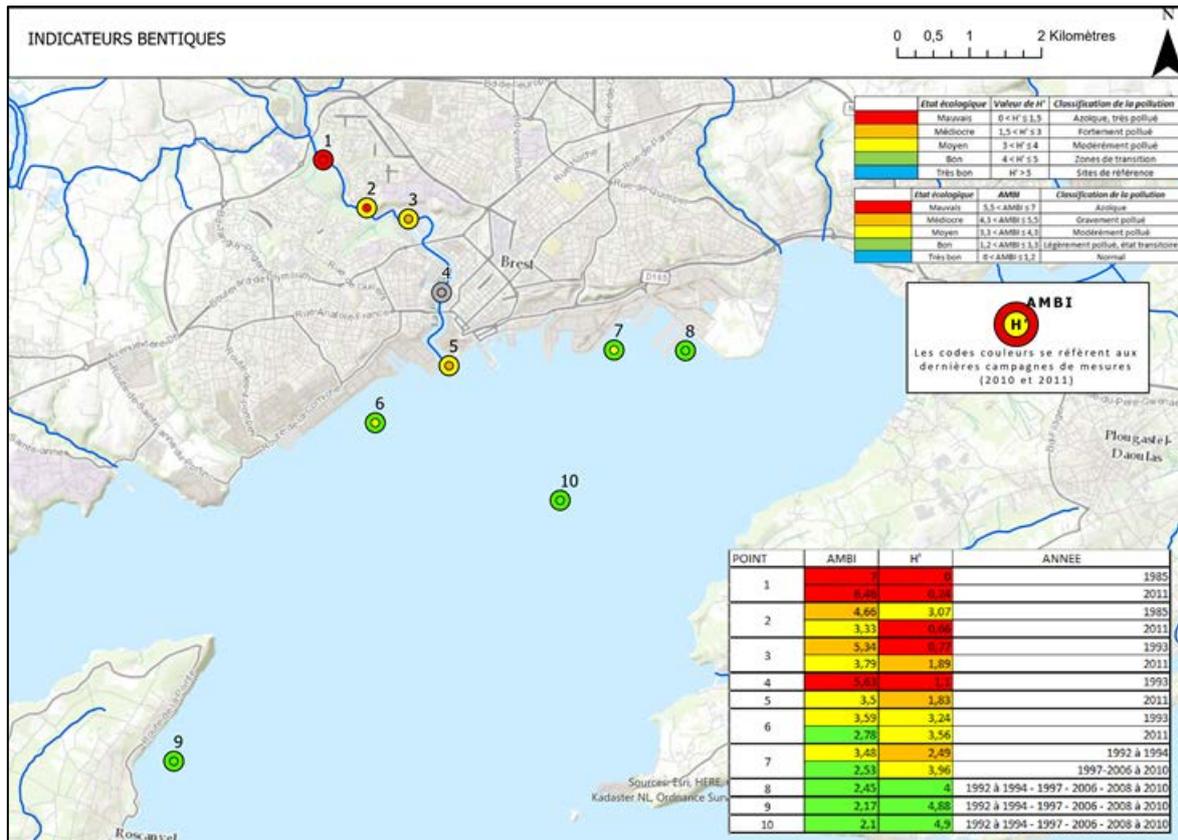
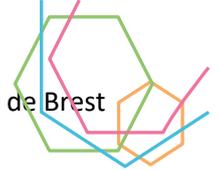


Figure 128 : Indicateurs benthiques en rade de Brest.

Un inventaire de la macrofaune benthique réalisé par le bureau d'étude In vivo en août 2012 dans le cadre du projet de développement du Port de Brest confirme également une qualité « correcte » du milieu benthique dans la partie Est du port de commerce (Figure 128 et Figure 129). Les analyses dans le port de commerce ont permis de recenser 3027 individus et d'identifier 105 espèces appartenant à 6 groupes zoologiques, ce qui illustre une richesse spécifique assez forte.

Les peuplements présents sur l'ensemble des stations sont caractéristiques des vases subtidales (A5.3, typologie EUNIS).

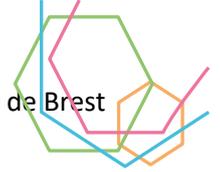


Figure 129 : Localisation des stations de prélèvements (In vivo, 2012)

III.1.2.1. Influence des travaux de développement du Port de Brest

Dans le cadre de protocoles de surveillance de la qualité des eaux marines (voir OSPAR <https://www.ospar.org/>), plusieurs espèces de mollusques filtreurs sont qualifiées d'« espèces-sentinelles »: moules bleues et huîtres pour la zone Manche-Atlantique. Ces organismes sont à même d'alerter sur de possibles impacts écotoxicologiques. Elles jouent le rôle de "sentinelles" au bénéfice de l'ensemble du biote présent dans la zone. En pratique, le dispositif proposé est basé sur l'installation sur site de plusieurs lots expérimentaux par transplantation de mollusques issus d'une population de référence (site non anthropisé). Cette méthode d'expérimentation permet le contrôle de l'exposition aux émissions du chantier, puis un suivi écotoxicologique de ces organismes (analyses en laboratoire).

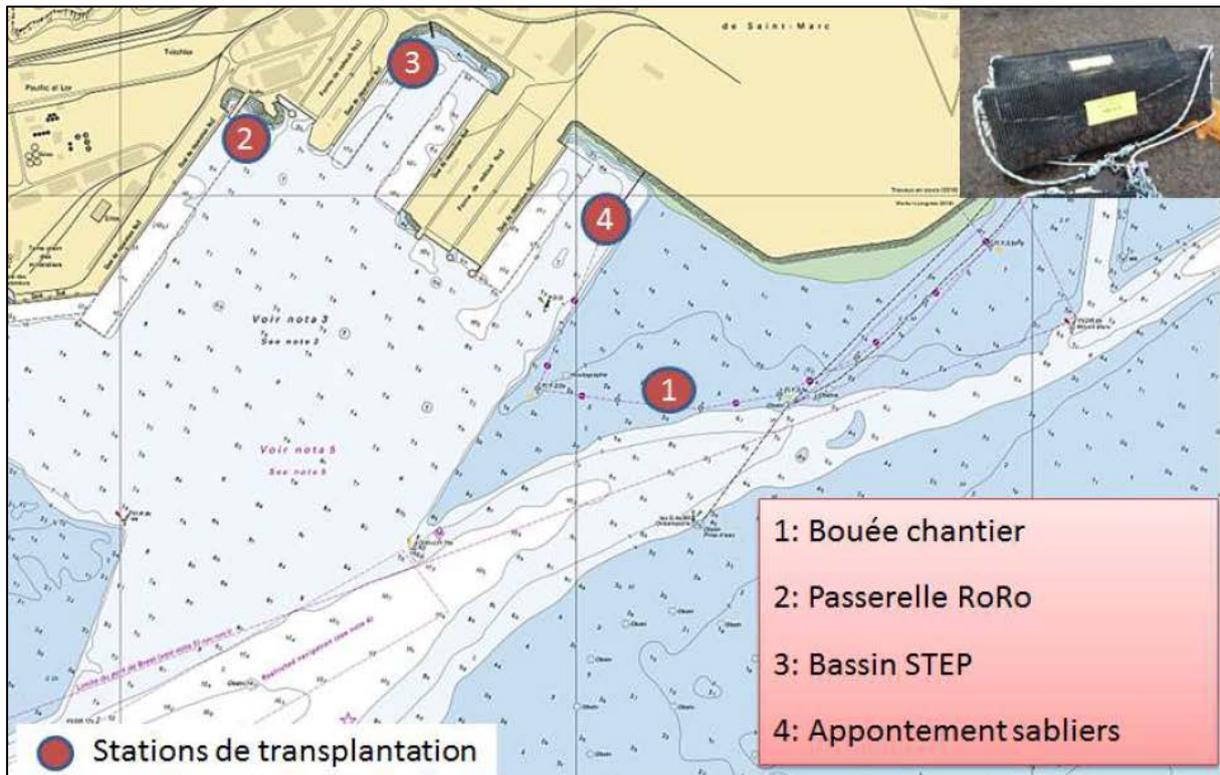


Figure 130 : Site d'expérimentation et station de transplantation des huîtres au Port de Brest (Auffret, 2022, projet MOULOBs)

Ces lots constituent chacun une population expérimentale qui est installée en automne 2018, avant le lancement des travaux de dragage, puis échantillonnée sur la période d'activité biologique de l'année suivante (Figure 130).

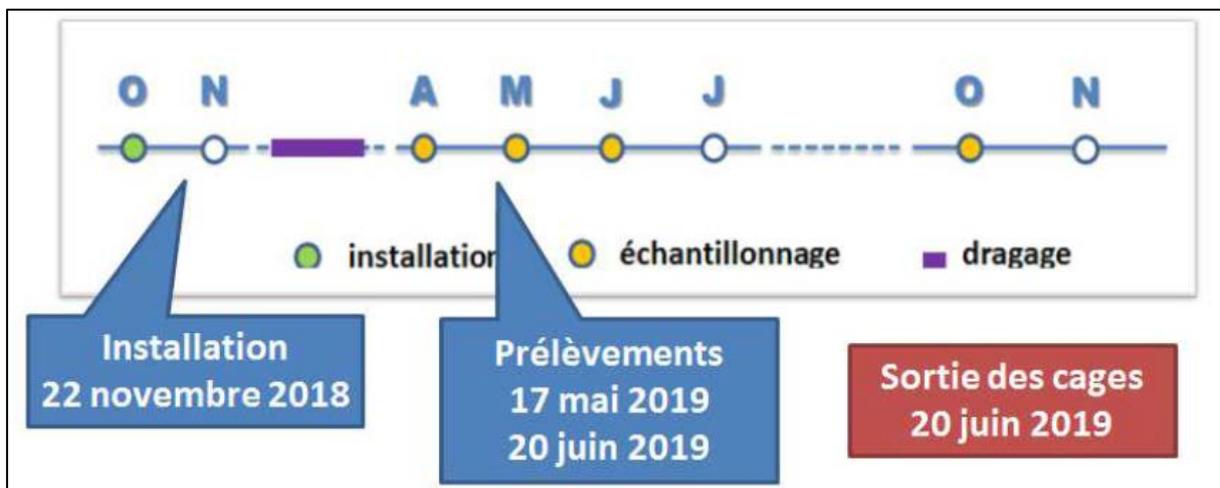
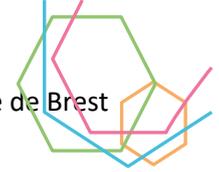


Figure 131 : Méthode de suivi des populations d'huîtres (Auffret, 2022, projet MOULOBs)

La pose de capteurs autonomes dits « passif » dans les cages au printemps 2019 (Figure 131) a fourni des données sur la présence de contaminants organiques dans l'eau (Tableau 29). La teneur en HAP apparaît 10 à 40x supérieure à la Station 1 (Bouée) par rapport aux autres stations. Le contributeur majeur est le naphtalène. Ce HAP a été retrouvé dans les sédiments, à des niveaux jugés bas (Rapport ASCONIT 2015). La présence dans l'eau a pu résulter d'une remobilisation lors d'usages ordinaires du port, ou de dépôts atmosphériques. La teneur du milieu en pesticides est également supérieure à la Station 1. Le principal contributeur est le métolachlore (herbicide grandes cultures) probablement issu



du bassin versant de l'Elorn. Globalement, l'ensemble de ces teneurs peuvent être considérées comme faibles, n'indiquant aucune dégradation de la qualité des eaux dans cette zone.

Les teneurs en HAP et PCB, contaminants organiques présents dans les sédiments du port, mesurées dans les tissus des huîtres après 7 mois d'immersion étaient faibles sur l'ensemble des stations moins de quelques ng/g), indiquant une faible exposition des organismes filtreurs. Ces résultats suggèrent une faible remobilisation des vases contaminées en conditions d'utilisation normale de cette zone portuaire.

| Stations | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| HAP | 931 | 36 | 114 | 23 |
| PCB | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pesticides | 4,3 | 1,9 | 2,7 | 1,9 |

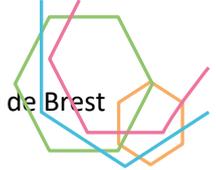
Tableau 29 : Indices de quantité captées par famille de substances (Auffret, 2022, projet MOULOBS)

Des observations et mesures ont été réalisées sur les géniteurs (huîtres exposées) et sur leurs produits larvaires obtenus en Station Expérimentale (IFREMER – Argenton). Le taux de fécondation est dans les valeurs attendues pour l'ensemble des stations (valeurs non montrées ici). En revanche, un sex-ratio en faveur des individus femelles a été calculé pour la Station 3 « STEP » (Zone portuaire), pouvant évoquer une exposition à des substances reprotoxiques (Tableau 30).

| Code | station | femelles | mâles | indéterminés | sex ratio | taux fécondation (%) |
|------|---------|----------|-------|--------------|-----------|----------------------|
| 1.2 | bouée | 16 | 17 | 9 | 0,941 | 95 |
| 2 | ro-ro | 22 | 20 | 0 | 1,100 | 95 |
| 3 | STEP | 30 | 10 | 1 | 3,000 | 99 |
| 4 | sablier | 14 | 21 | 6 | 0,667 | 94 |

Tableau 30 : Données sur le développement gonadique et sur l'aptitude à l'activité reproductrice

L'état de santé des huîtres engagées, exploré par l'approche "biomarqueurs" sur 2 campagnes, n'est pas apparu différent entre stations à l'intérieur du site d'étude (zone de travaux du port). Un signal biologique de faible intensité évoquant des perturbations endocriniennes a toutefois été détecté pour station 3 (STEP) en 2020. Cette observation a justifié une analyse complémentaire pour la recherche dans les tissus conservés en stock de molécules classées « PE », fréquemment retrouvées en tant que résidus médicamenteux dans les effluents de stations de traitement d'eaux usées urbaines. Le laboratoire de référence Labocéa a été sollicité pour une recherche de résidus pour la station « STEP » (exposée) et pour la station « Bouée » (référence). Les analyses effectuées par LC/MS-MS ont permis d'obtenir les résultats suivants.



| Paramètre | LQ (µg/Kg MS) | 2020 – Bouée | 2020 – STEP | 2019 – Bouée | 2019 – STEP |
|----------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | | NT 29739 | NT 29741 | NT 29744 | NT 29745 |
| Estriol | 0,1 | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| 17-Beta Estradiol | 0,05 | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| Testostérone | 0,05 | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| 17-Alpha Estradiol | 0,05 | < LQ (0,035) | < LQ (0,031) | 0,056 | 0,063 |
| 17-Alpha Ethynil Estradiol | 0,05 | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| Estrone | 0,2 | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| p-Androstenedione | 0,05 | 0,068 | 0,075 | < LQ (0,048) | 0,076 |
| Progesterone | 0,01 | 0,182 | 0,154 | 0,220 | 0,142 |

Tableau 31 : Résultats des analyses effectuées par LC/MS-MS sur les substances hormonales dans les huîtres (Auffret, projet MOULOBS)

Les résultats de concentration en substances hormonales sur les huîtres font apparaître une contamination faible, sauf pour la progestérone, où la limite de quantification est dépassée d'un facteur 15 à 22 (Tableau 31). Les différences entre stations, en revanche, quelle que soit la campagne, apparaissent faibles ou nulles.

En conclusion, l'implication de ces substances, bien que présentes, dans l'induction du signal observé à la station STEP en 2020 n'est pas prouvée par cette analyse. Toutefois, le dosage portant ici sur la charge tissulaire résultant d'une bioaccumulation de substances hydrophobes, aucune information n'est fournie par cette étude complémentaire sur l'éventuelle exposition à des substances non bioaccumulées. Une autre question soulevée par la présence de ces substances dans l'ensemble du site est l'étendue de la zone contaminée au-delà de la zone portuaire. Une étude complémentaire portant sur la recherche de ces substances dans les différents secteurs de la Rade de Brest serait utile, sur du matériel biologique naturel et sur du matériel expérimental, selon le protocole utilisé dans la présente étude. Dans un premier temps, des analyses d'eau en plusieurs points du bassin de réparation navale recevant l'effluent de la STEP ont été réalisées en février 2022 afin de préciser localement le processus de dilution des eaux rejetées, à partir du point d'entrée dans le milieu marin (émissaire). Les données sont en cours de traitement (Auffret, 2022, projet MOULOBS).

III.1.2.2. Les coquillages (REMI REPHYTOX)

Tout comme les sédiments, les organismes constituent des matrices intégratrices qui permettent de révéler la contamination chimique des milieux. Depuis la fin des années 70 le suivi « ROCCH matière vivante » comprend 4 stations pérennes dans la rade de Brest (Figure 132).

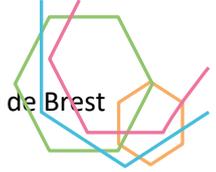


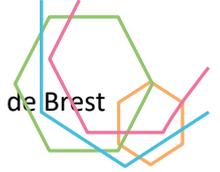
Figure 132 : Stations de suivi ROCCH matière vivante en rade de Brest (Chiffolleau, 2017).

Pour les organismes, le choix se porte sur les moules, bivalves très largement répartis sur les côtes et abondamment étudiés au niveau mondial. Toutefois, dans certaines régions, elles sont absentes et dans ce cas les huîtres sont les bivalves cibles choisis. Le concept d'utilisation des bivalves repose sur plusieurs critères :

- Equilibre entre les concentrations en contaminants dans les tissus des bivalves et dans leur environnement (on parle de facteur de bioaccumulation, propre à chaque espèce),
- Concentrations très élevées dans les organismes par rapport aux concentrations dans l'eau (facteur jusqu'à 10^6),
- Concentrations correspondant à une intégration dans le temps de l'exposition de ces organismes sédentaires.

De par leur fonctionnement physiologique et leur situation sur l'estran, les différentes espèces de mollusques accumulent différemment les contaminants, notamment métalliques, éléments plus ou moins essentiels à leur vie. Les concentrations mesurées dans la chair pourront donc être différentes d'une espèce à l'autre sur un même site. Très globalement, les coquillages fouisseurs (palourdes, coques, tellines) sont beaucoup moins contaminés que les bivalves non fouisseurs, à l'exception des palourdes qui accumulent le mercure à un niveau sans doute supérieur à tous les autres taxons, sans cependant que les niveaux de mercure n'atteignent des valeurs préoccupantes sur les côtes françaises. Il existe également des différences importantes à l'intérieur même du groupe des mollusques non fouisseurs. Par exemple, certains métaux (cadmium, zinc notamment) sont plus accumulés par les huîtres que par les moules ou le plomb qui, à l'opposé, à un niveau de présence élevé dans l'environnement, est plus accumulé par les moules que par les huîtres.

Comme pour les sédiments, un critère de qualité nommé ERL (*effect range low*) est utilisé pour définir la qualité chimique des organismes. En deçà des valeurs d'ERL, on considère que les organismes benthiques sont rarement associés à des effets toxiques (Tableau 32).



| Substance | Seuils |
|---|------------------------|
| (Règlement CE 1881/2006) | |
| Plomb (mollusques bivalves) | 1.5 mg/kg, poids frais |
| Cadmium (mollusques bivalves) | 1.0 mg/kg, poids frais |
| Mercure (tous coquillages) | 0.5 mg/kg, poids frais |
| (Règlement CE 1259/2011) | |
| Equivalents toxiques (TEQ) OMS de la somme des dioxines (PCDD + PCDF) (tous coquillages) | 3.5 pg/g, poids frais |
| Equivalents toxiques (TEQ) OMS de la somme des dioxines et des PCBdl (PCDD + PCDF + PCBdl) (tous coquillages) | 6.5 pg/g, poids frais |
| Somme des PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ET PCB180 (ICES – 6) (tous coquillages) | 75 ng/g, poids frais |
| (Règlement CE 1881/2006) | |
| Benzo(a)pyrène (mollusques bivalves) | 5 µg/kg, poids frais |
| Σ 4 HAPs (mollusques bivalves) | 30 µg/kg, poids frais |

Tableau 32 : Seuils réglementaires pour les contaminants chimiques dans les mollusques

Jusqu'en 2016 en rade de Brest, les bilans de contamination au plomb étaient réalisés sur certains des points de suivi du réseau ROCCH uniquement dans les huîtres. Après la révélation en février 2017 de teneurs largement supérieures au seuil sanitaire dans les moules d'un point nouvellement échantillonné alors que les teneurs enregistrées sur les autres points de la rade, dans des huîtres et des palourdes, restaient de l'ordre de grandeur habituellement observé, des investigations complémentaires ont été menées fin 2017 et début 2018 sur d'autres secteurs et d'autres espèces dont les moules. Dans la rade de Brest, de fortes teneurs en plomb dans les moules et des teneurs élevées en cadmium dans les huîtres ont été relevées. En particulier, sur certains des nouveaux points de prélèvements de forts dépassements des seuils ERL ont été constatés (sillon des anglais : 3.05 mg/kg Pb et au débouché de la rivière du Faou : 2.86 mg/kg Pb).

La valeur du seuil EAC pour le TBT vaut 0,98 µg d'étain (Sn) par kilogramme de chair humide (à 20% de matière sèche). En 2020 sur les huitres, les valeurs en TBT atteignent toujours des niveaux très élevés et supérieurs à l'EAL (record national, 2600 % de la médiane nationale par exemple à l'embouchure de l'Elorn, Figure 133 et Figure 134). Toutefois, les concentrations continuent à décroître sur tous les points depuis le début des années 2000.

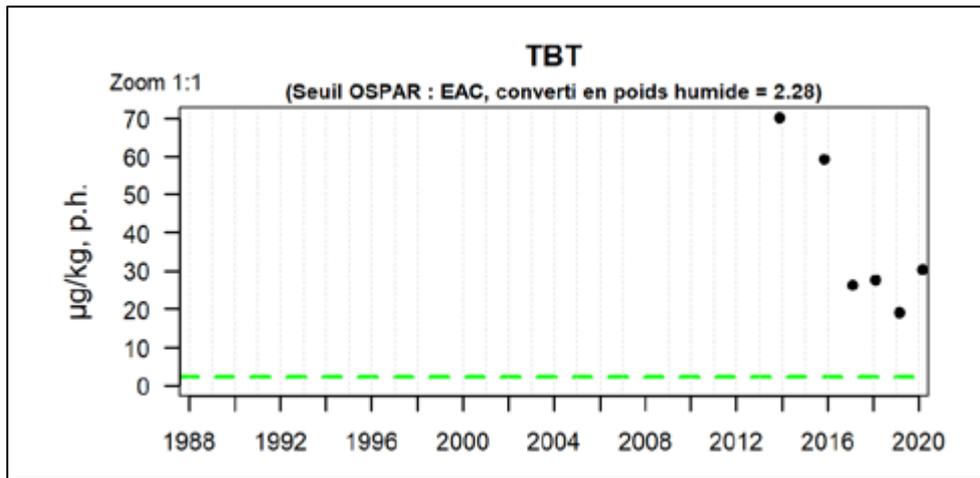
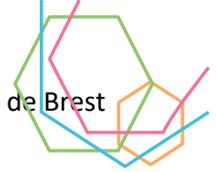


Figure 133 : Tributylétain (TBT) dans les huîtres du point Le Passage dans l'estuaire de l'Elorn (Chiffolleau, 2017).

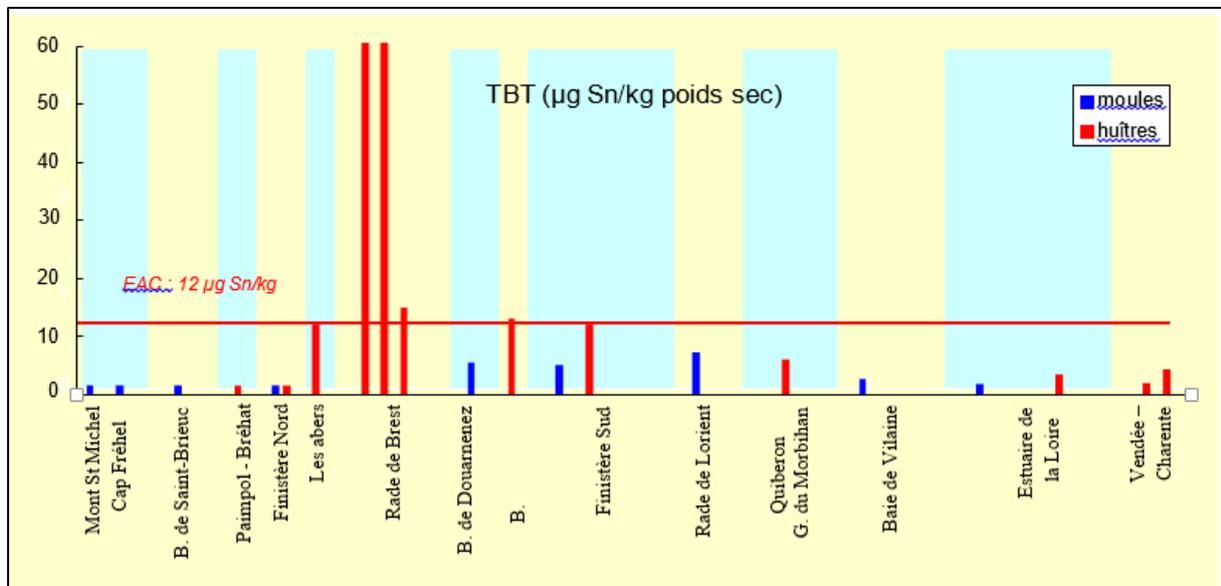


Figure 134 : Distribution actuelle des teneurs en Tributylétain (TBT) dans les moules et les huîtres sur le littoral Loire-Bretagne (Chiffolleau, 2017).

III.1.3. Indicateurs biodiversité

Plusieurs indices de suivi des populations de poissons migrateurs sont effectués sur le bassin versant de la rade de Brest, parmi lesquels les anguilles et civelles, les truites ou les saumons (Figure 135). Le saumon se reproduit en rivière et grandit en mer. Chaque bassin versant possède un stock autonome de saumons juvéniles vulnérables à la qualité de leur habitat. En Bretagne, 25 rivières sont régulièrement colonisées par le saumon. Du Nord au Sud, L'Elorn, la Mignonne, le Camfrout, la rivière du Faou et l'Aulne font partie de ces rivières fréquentées par les saumons. Le suivi du recrutement des juvéniles de saumon permet de mieux gérer l'exploitation du saumon par les pêcheurs à la ligne. Le protocole de pêche scientifique repose sur l'identification des juvéniles de saumons de l'année (tacons 0+) sur des cours d'eau à salmonidés d'une largeur de plus de 3 mètres. L'effort de pêche sur les radiers et rapides (favorables aux juvéniles) s'effectue pendant 5 min à l'aide d'un appareillage électrique. Les résultats présentés en Figure 135 montrent le résultats de comptages ciblés sur trois espèces (Anguille,



Truite, Saumon) et permettent de comparer les situations sur les bassins versants de l'Elorn et de l'Aulne. Pour l'anguille et le saumon, l'évolution des comptages montre des stocks faibles (Aulne) ou une évolution à la baisse du nombre d'individus (Elorn). Pour la truite, les données montrent une diminution persistante du nombre d'individus sur l'Aulne, et une population qui se maintient sur le bassin versant de l'Elorn (Figure 135).

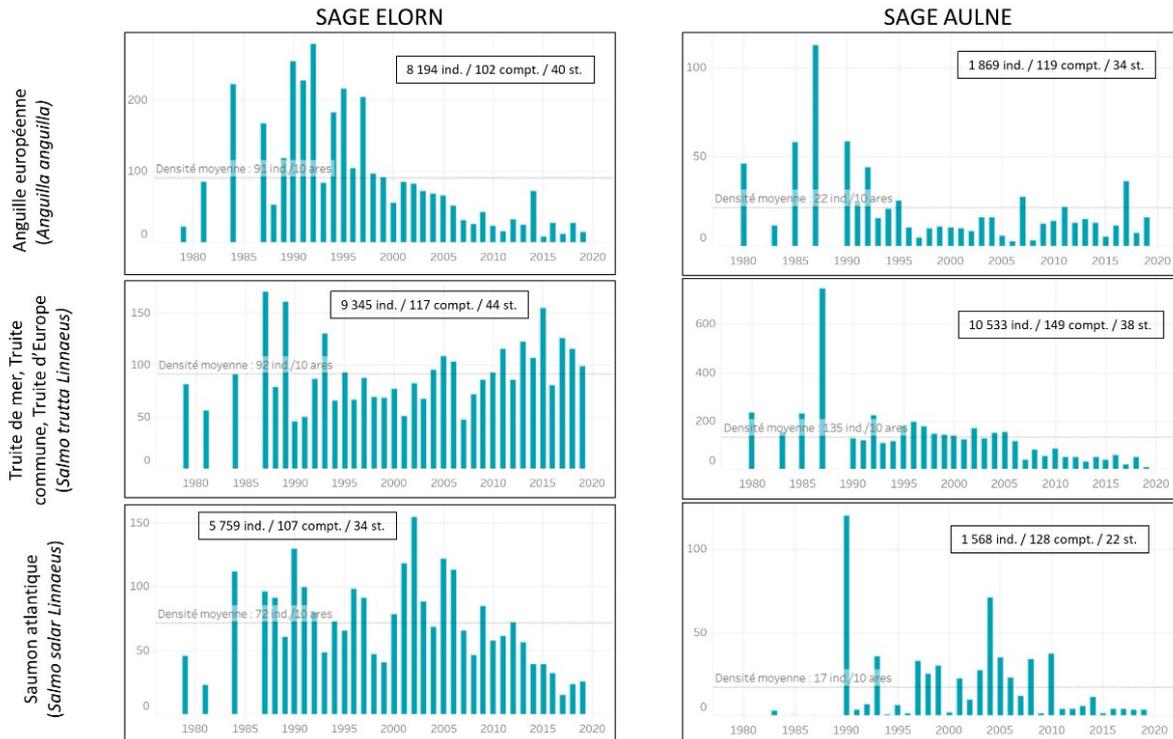


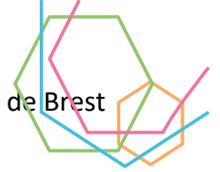
Figure 135 : Résultats des comptages sur les SAGE Aulne et Elorn pour l'anguille Européenne, la Truite, et le Saumon Atlantique depuis 1980. Le nombre d'individus comptés (ind.), les comptages (compt.) et le stations (st.) sont indiqués pour chaque graphique (Données Bretagne-environnement.fr).

Les comptages permettent d'établir des indices moyens par bassin versant :

Sur l'Elorn, les données montrent une période de progression spectaculaire de 1998 à 2011 avec le passage d'indices inférieurs à 10 à plus de 130 en 2010. Depuis 2010, on observe une dégradation de l'indice moyen pondéré avec néanmoins un indice très élevé en 2015. Depuis 2019, l'Elorn passe sous la moyenne régionale. 1998-2001 et 2019 sont les cinq moins bonnes années depuis le début du suivi. Les suivis récents (2020-2021) font état d'une légère remontée de l'indice d'abondance (ca. 35 en 2020 et 57 en 2021 – résultats provisoires). Un faible succès reproducteur est observé sur le cours principal de l'Elorn, voire très peu ou pas de recrutement sur la partie amont (Bourré, 2020a, b).

Sur les bassins versant de la Mignonne, du Camfrout et de la rivière du Faou, le suivi de 2012 à 2019 montre une dégradation de l'indice d'abondance depuis 2013, avec une division par cinq du nombre de juvéniles. Des épisodes de pollution sur la Mignonne, notamment en 2019, ont pu directement affecter la population de juvéniles (Bourré, 2020a, b). Les résultats 2020 pour la Mignonne ne montrent pas d'amélioration (BBD Mignonne, indices abondance saumon 2012-2021).

Sur l'Aulne (Figure 135), la moyenne annuelle du bassin reste toujours nettement inférieure à la moyenne régionale et à la moyenne interannuelle. Le suivi 2019 indique un indice d'abondance moyen pondéré supérieur à la moyenne interannuelle du bassin (9,6) pour la 7ème fois consécutive (Bourré, 2020a, b). Les résultats de 2021 sont encourageants (com. pers. N. Rey).



La moule perlière (*margaritifera margaritifera*) est une petite moule d'eau douce en danger critique d'extinction (Figure 136). La vallée de l'Ellez (Figure 4) est l'un des derniers espaces aquatiques de Bretagne (80% de la population régionale) dans lequel elle subsiste encore, avec *ca.* 8 000 à 10 000 individus. La moule perlière a été victime de surpêche, en particulier pour les perles, présentes dans une moule sur 100. D'autre part, son cycle de reproduction est exigeant avec un taux de développement à l'âge adulte de moins d'une larve sur 100 000. En outre, la moule perlière peut atteindre l'âge de 70 ans. La moule perlière fait partie des « espèces parapluie » dont la protection du territoire permet la protection d'un grand nombre d'autres espèces. Des actions sont menées pour mieux connaître et préserver les milieux aquatiques dont dépend l'espèce (Bretagne vivante, Fédération de pêche du Finistère, EPAGA, PNRA). L'un des enjeux de ces actions est d'évaluer la bonne santé de la population de moules de l'Ellez et de lui permettre de perdurer. L'EPAGA a lancé en 2020 un programme d'actions qui comprend l'installation d'abreuvoirs pour éviter que les bovins ne piétinent le fond des cours d'eau (la mise en suspension de sédiments est en effet incompatible avec le développement de la moule) et des aménagements d'obstacles pour permettre la circulation des poissons hôtes (les salmonidés : truite, saumon) sur lesquels les larves de la moule perlière s'accrochent. Parallèlement, des suivis de la qualité de l'eau et une étude sur l'érosion des sols sont en cours (Rédaction-évasion.fr).



Figure 136 : La moule perlière ou *margaritifera margaritifera*, moule d'eau douce (Photo R. Ronné)

III.1.4. Indicateurs de pression

III.1.4.1. Eutrophisation des eaux superficielles

L'eutrophisation des eaux superficielles résulte d'un enrichissement excessif en éléments nutritifs dont l'azote et le phosphore. Ce phénomène peut engendrer des difficultés pour la production d'eau potable, les activités de loisir et la vie aquatique. Les manifestations de l'eutrophisation peuvent être le développement important de végétaux aquatiques, notamment des micro-algues lorsque les conditions physiques sont favorables (température, luminosité, ralentissement des vitesses d'eau, voire la stagnation dans les canaux ou plans d'eau). L'importance de l'eutrophisation phytoplanctonique est évaluée par la mesure des concentrations en chlorophylle-A et en phéopigments (Bretagne-environnement.fr). La qualité de l'eau pour la chlorophylle-A et les phéopigments est considérée comme très bonne lorsque le percentile 90 moyen (Q90) est inférieur à 10 µg/l (en bleu Figure 137), bonne lorsque le Q90 est compris en 10 et 60 µg/l (en vert Figure 137), moyen lorsque le Q90 est compris entre 60 et 120 µg/l (en jaune), médiocre lorsque Q90 est compris entre 120 et 240 µg/l (en orange) et mauvais au-delà de 240 µg/l (en rouge).

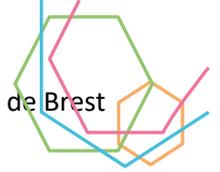


Figure 137 : Détail de la somme des concentrations en Chlorophylle-A et Phéopigments (en µg/l) sur des stations représentatives de la Penfeld, de l’Elorn et de la Mignonne (Bretagne-environnement.fr). Les périodes de mesure et l’échelle verticale est différente pour chaque station.

Sur le territoire du SAGE Elorn, les résultats d’analyse sur les concentrations en chlorophylle-A et phéopigments sur la Penfeld montrent une qualité de l’eau très bonne à bonne avec une amélioration générale des résultats depuis 2010 (Figure 137). Sur l’Elorn amont (Communa), les résultats sont très bons à bons avec une dégradation durant l’année 2002, répercutée également sur l’Elorn aval (Plouédern). Sur l’Elorn aval, les résultats sont légèrement plus dégradés que dans la partie amont, mais restent bons sur la période 2003-2015. La Mignonne affiche des résultats très bons de 2005 à 2015, avec seulement une mesure au-delà du seuil minimal (2011).

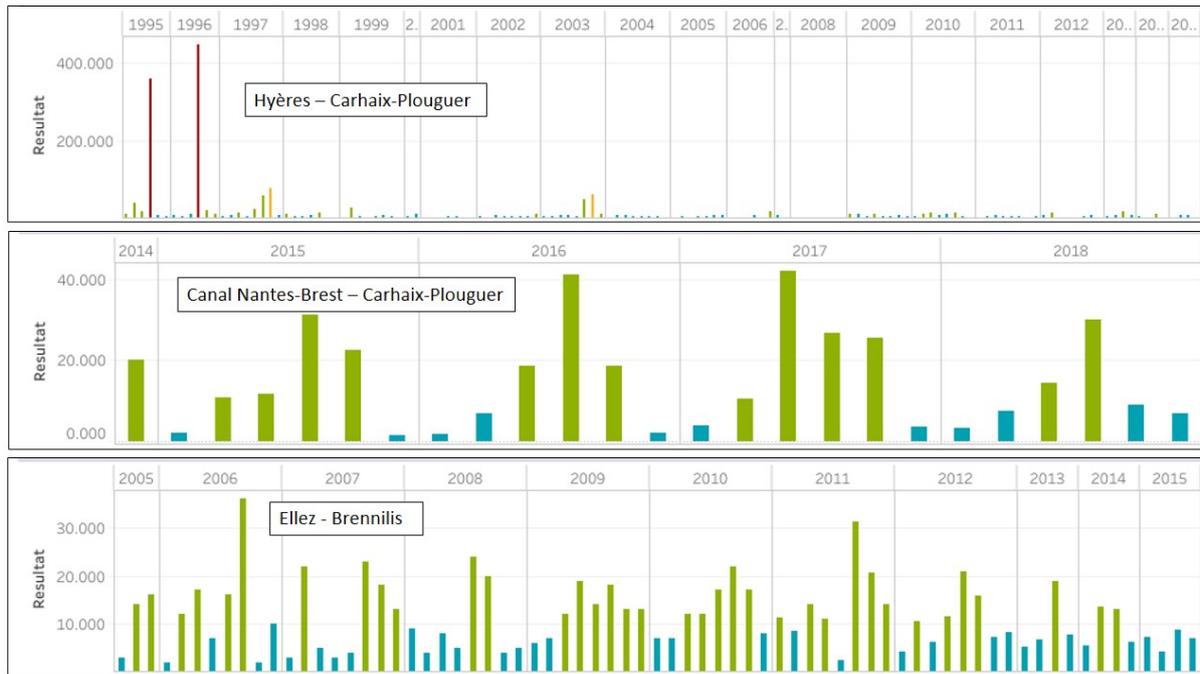
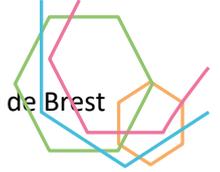


Figure 138 : Détail de la somme des concentrations en Chlorophylle-A et Phéopigments (en $\mu\text{g/l}$) sur des stations représentatives de l'Hyères, du Canal de Nantes à Brest et de l'Ellez en amont du bassin versant de l'Aulne (Bretagne-environnement.fr). Les périodes de mesure et l'échelle verticale sont différentes pour chaque station.

Une nette amélioration de la qualité de l'eau est visible sur l'Hyères sur la période 1995-2015 pour les paramètres chlorophylle-A et phéopigments (Figure 138). Les résultats de 1995 et 1996 montrent une qualité très dégradée avec des concentrations supérieures à 350 $\mu\text{g/L}$. Les résultats sur la période 2004-2015 ne montrent que des résultats bons à très bons. Sur le Canal de Nantes à Brest et l'Ellez, les résultats montrent des résultats bons à très bons sur les périodes 2014-2018 et 2005-2015, respectivement. Une légère amélioration est appréciable sur la période 2012-2015 pour l'Hyères (Figure 138).

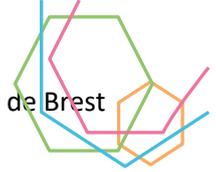


Figure 139 : Détail de la somme des concentrations en Chlorophylle-A et Phéopigments (en $\mu\text{g/l}$) sur des stations représentatives de l’Aulne (Bretagne-environnement.fr). Les périodes de mesure et l’échelle verticale sont différentes pour chaque station.

Sur l’Aulne (Figure 139), les résultats sont bons à très bons dans la partie amont (Locmaria-Berrien et Landeleau), avec une nette amélioration à Landeleau depuis les années 90. Sur l’Aulne aval, en revanche, les résultats paraissent de plus en plus dégradés sur la période 2007-2017, avec des résultats régulièrement moyens puis médiocre en 2015-2017. L’année 2018 affiche une nette amélioration avec des résultats bons à très bons.

III.1.4.2. Pression de pêche

La pression de pêche en rade de Brest peut être mesurée de manière précise en étudiant le positionnement des navires grâce à leur système AIS (système d’identification automatique). Une étude récente (Bernard et al., 2019) montre la corrélation entre la pression de pêche (faible, moyenne, intense, Figure 140) et la richesse du milieu benthique (Figure 141), en particulier du maërl.

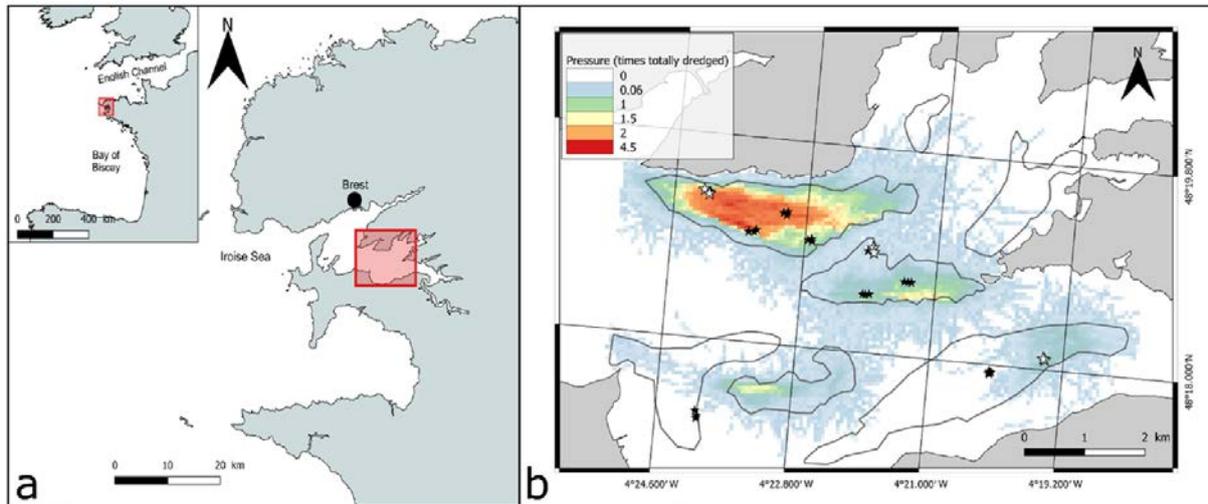


Figure 140 : (a) localisation de la rade de Brest ; (b) Intensités de dragage (pression) calculée sur 5 ans (2012-2017) pour une zone d'étude constituée de mailles de 50*50 m et localisation des bancs de maërl (polygones gris). Les étoiles noires représentent les stations échantillonnées en SPI (Sediment Profile Imagery system) et les étoiles blanches sont les stations échantillonnées à la fois en SPI et en carottage manuel (Bernard et al., 2019).

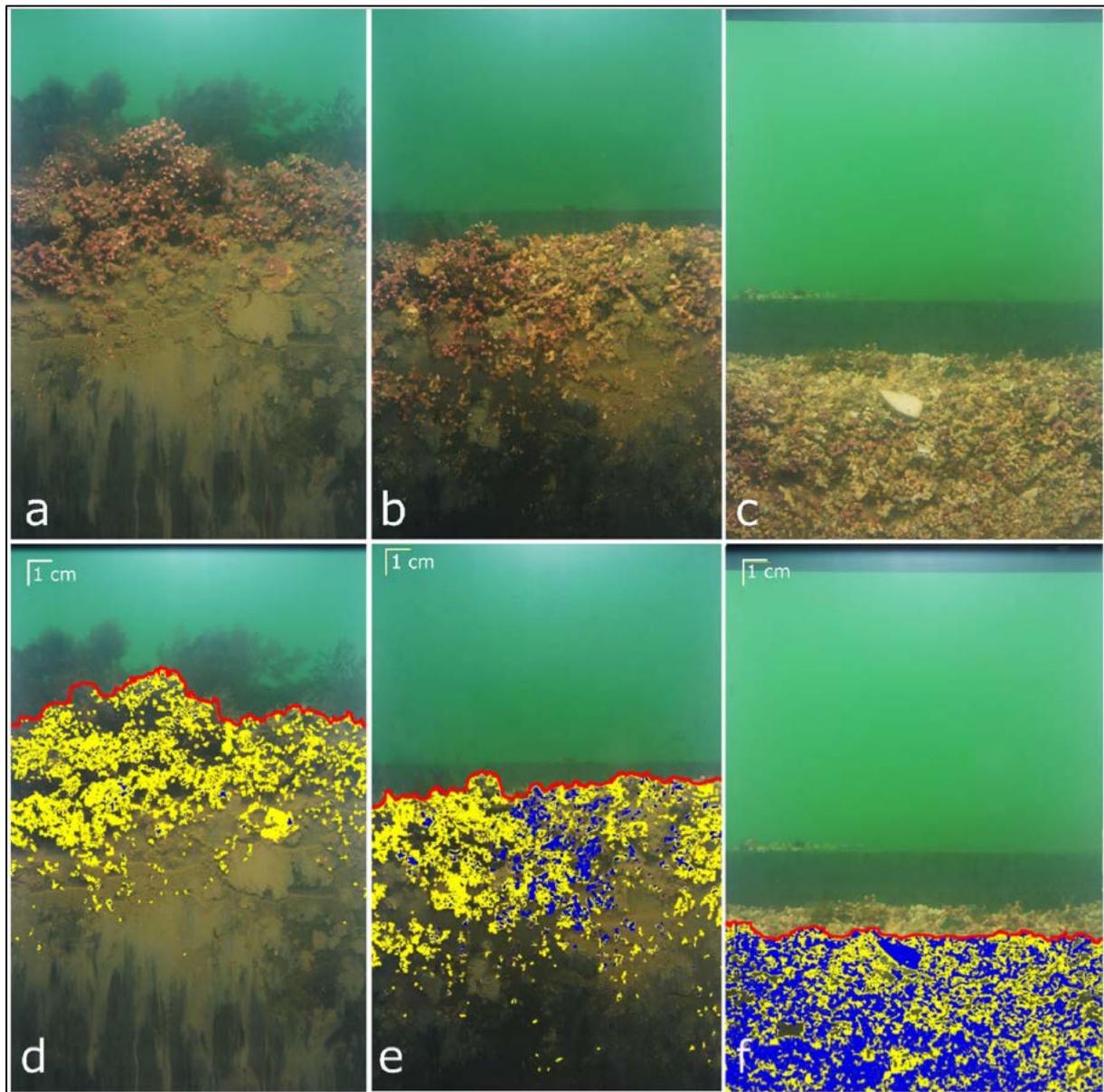
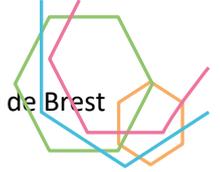
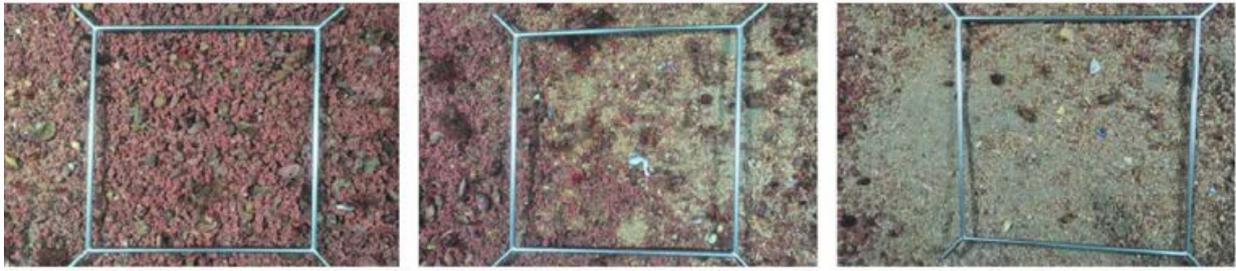


Figure 141 : Photographies sous-marines en section obtenues avec le système SPI (Sediment Profile Imagery) sur trois stations de dragage respectivement (a) contrôlée, (b) modérée, et (c) intense, et leur images analysées correspondantes (d-f). Les lignes rouges correspondent à l'interface maërl-eau, les remplissages jaune et bleu correspondent au maërl vivant et mort, respectivement (Bernard et al., 2019).

Le système SPI (Sediment Profile Imagery) permet d'évaluer quantitativement les proportions de maërl mort et vivant (Figure 141). D'autres investigations portées sur l'inventaire d'espèces benthiques mettent en évidence l'altération du milieu benthique par les mécanismes de dragage (Figure 142).



ROZEGAT (dredged)



BENDY (non-dredged)

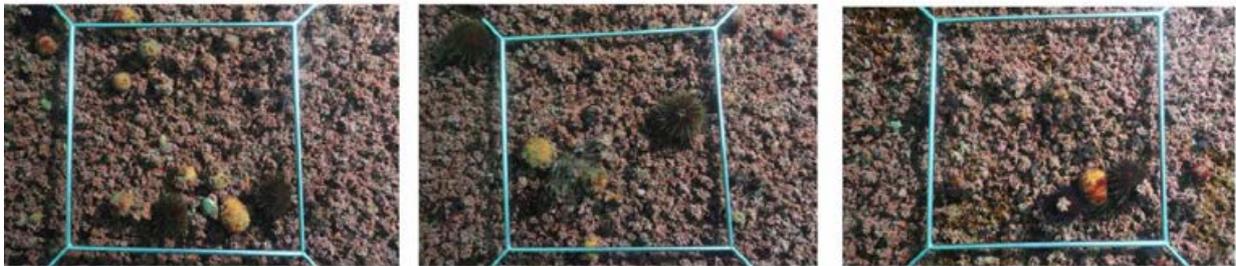


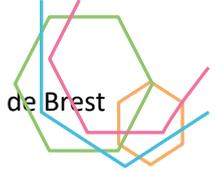
Figure 142 : Habitats sous-marins soumis à différentes pressions de pêche photographiés au travers d'un quadrat de 0.1 m² dans deux zones situées au large de Plougastel-Daoulas (Pointe de Rozegat) et à la Pointe de Logonna-Daoulas (Bendy). Des différences notables résident dans la structure de l'habitat, la présence ou l'absence de maërl vivant et de megafaune (oursins, gastéropodes etc. ; Ragueneau et al., 2018.

III.1.4.3. Impacts des rejets directs non traités dans la Penfeld

Certains faits marquants ont eu une influence positive sur l'évolution de la qualité des eaux dans l'estuaire pendant ces 30 dernières années :

- La création d'un barrage de régulation du niveau d'eau en aval du plan d'eau de Penfeld dans la partie amont de l'estuaire en 1989. Jusqu'en 2016, le mode principal de gestion de cet ouvrage consistait à maintenir un niveau haut dans ce qui était alors dénommé plan d'eau de la Penfeld. Cette gestion du plan d'eau conduisait à une augmentation des temps de séjours préjudiciable pour la qualité des eaux. A partir de 2017, la partie amont de l'estuaire de la Penfeld revit le plus souvent au rythme des marées pour assurer en particulier la continuité écologique piscicole, mais le maintien d'un niveau d'eau haut reste cependant effectif par moments pour satisfaire à des programmations d'usages sur le plan d'eau (activités nautiques de loisir).
- La suppression de la station d'épuration de Bellevue et de son rejet dans l'estuaire en 2009.
- La réhabilitation de l'ancienne décharge d'ordures ménagères du Spernot en 2012 qui a permis de limiter les volumes de lixiviats rejetés dans la rivière du Spernot qui est un affluent de la Penfeld.

Il faut aussi évoquer que les pratiques de récupération des eaux de carénage et leur traitement par la Marine Nationale ont beaucoup évolué lors de ces dernières années et permettent dorénavant de fortement limiter les apports de métaux et de biocides dans l'estuaire comme dans la rade abri. Dorénavant, les rejets des déversoirs d'orage (liés au système d'assainissement de l'agglomération) constituent la principale source de pollution dans l'estuaire. Par temps de pluie, ces rejets occasionnent de fortes concentrations en bactéries fécales et en ammonium dans le milieu. Un



programme de réduction de ces rejets est en cours de finalisation. Il permettra une mise en conformité réglementaire du système d'assainissement de l'agglomération en limitant les déversements d'eaux usées non traitées à moins de 5 % des volumes d'eaux usées générés par l'agglomération. Pour atteindre cet objectif, deux types d'actions vont être menés conjointement : la création de bassins de stockage et une généralisation des dispositifs de déconnexion des eaux pluviales visant leur infiltration afin de réduire les volumes d'effluents par temps de pluie.

III.2. Développement d'espèces invasives ou toxiques

III.2.1. Les microalgues toxiques

Le danger des micro-algues *Dinophysis spp.*, *Alexandrium minutum*, et *Pseudo-nitzschia spp.* (Figure 143) réside dans leurs toxines lipophiles (DSP pour *diarrhetic shellfish poisoning*), paralysantes (PSP pour *paralytic shellfish poisoning*), ou amnésiantes (ASP pour *amnesic shellfish poisoning*). Le réseau REPHY/REPHYTOX organisé par l'Ifremer, a pour objectif l'observation de l'ensemble des espèces phytoplanctoniques des eaux côtières, et de recenser les événements tels que les eaux colorées, les efflorescences exceptionnelles et les proliférations d'espèces toxiques ou nuisibles pour la faune marine. En outre, il permet de surveiller plus particulièrement les espèces produisant des toxines dangereuses pour les consommateurs de coquillages. Au-delà d'une certaine concentration en toxines dans les coquillages (seuil de sécurité sanitaire), le réseau prévient les préfetures concernées qui peuvent alors interdire leur vente pour éviter des empoisonnements massifs. Ces seuils sanitaires sont fixés à 160 µg/kg, 800 µg/kg, et 20 mg/kg pour les toxines lipophiles (DSP), les saxitoxines et dérivés (PSP), et l'acide domoïque (ASP), respectivement.

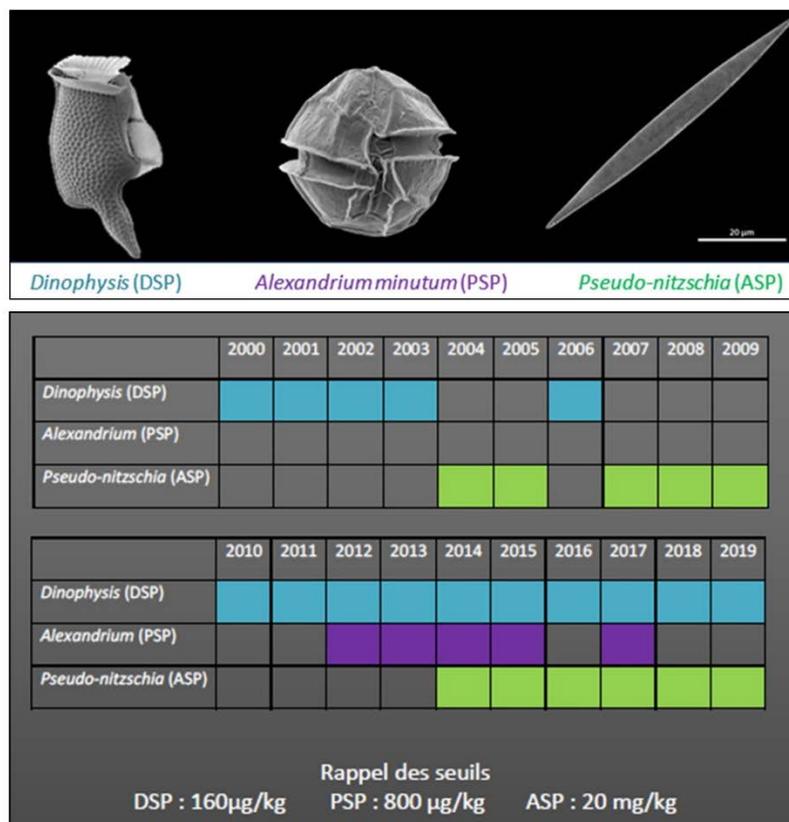
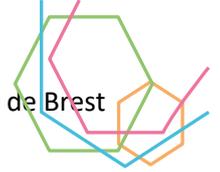


Figure 143 : En haut, observations des micro-organismes toxiques ; en bas, Dépassements de seuils pour *Dinophysis*, *Alexandrium* et *Pseudo-nitzschia* sur la période 2000-2019.



Alexandrium minutum est une microalgue (dinoflagellés) qui produit des toxines paralysantes potentiellement mortelles. Les premiers cas d'intoxication observés en France datent de 1988. Depuis 2012, *A. minutum* prolifère ponctuellement en rade de Brest et sur d'autres sites, principalement en Bretagne et entraîne une toxicité des coquillages. Le seuil d'alerte dans le cadre de la surveillance des proliférations d'*A. minutum* est fixé à 10 000 cellules/litre d'eau. Les proliférations sur la période 2010-2015 sont présentées en Figure 144, elles concernent principalement la période de mi-mai à août. *Alexandrium minutum* se développe préférentiellement dans les estuaires de la rade, profitant des flux de nutriments apportés par les différents fleuves côtiers (Elorn, Daoulas et Aulne). Cette microalgue peut s'enkyster dans les sédiments, puis se développer après une période de dormance lorsque les conditions redeviennent favorables. Lors du printemps et de l'été 2012, une efflorescence jamais observée auparavant a atteint plusieurs dizaines de millions de cellules d'*A. minutum* par litre en Baie de Daoulas, rendant les coquillages filtreurs impropres à la consommation. Des événements exceptionnellement pluvieux pour la saison ont provoqué des apports importants de nutriments depuis les bassins versants de la Mignonne, de l'Aulne et de l'Elorn. Des efflorescences ont ensuite été observées les années suivantes (2014 en particulier), bien que de moindre ampleur (Figure 144).

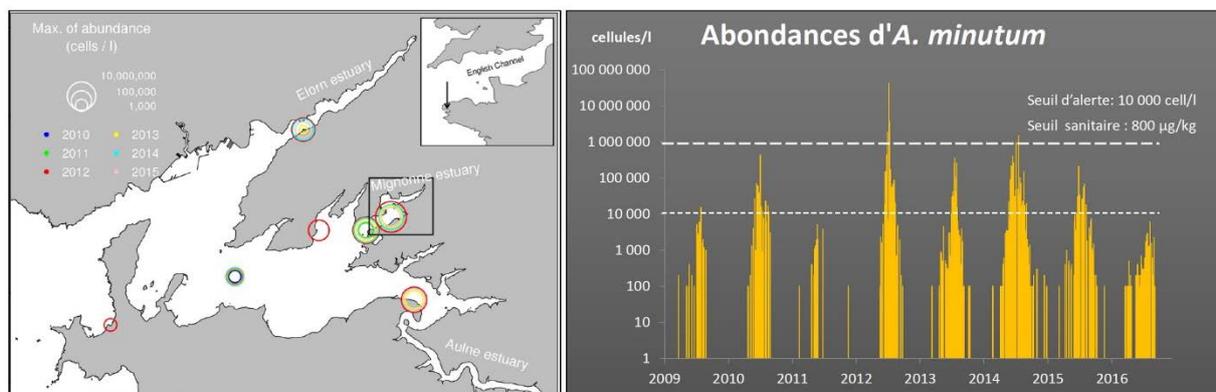
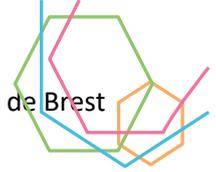


Figure 144 : A gauche, cartographie des abondances d'*Alexandrium minutum* en rade de Brest entre 2010 et 2015 (Chapelle et al., 2017, Sources RePHY, Région-Bretagne Daoulas, AELB-Phytorisk) ; A droite, abondances d'*Alexandrium minutum* en rade de Brest au regard de seuils sanitaire et d'alerte (Chapelle, 2017).

Les estuaires du fond de rade et le Sillon des Anglais sont les zones les plus touchées (Figure 144). En Baie de Daoulas et au Sillon des Anglais, l'année 2014 a présenté un développement d'*A. minutum* relativement long par rapport à 2012 et 2013, ainsi que des toxicités importantes. Le secteur Elorn a vu des concentrations en *A. minutum* ponctuellement supérieures au seuil d'alerte mais pas de toxicité des coquillages (2012 mis à part). Une température de l'eau supérieure à 15°C couplée à des apports de nutriments importants semblent être les facteurs de déclenchement des blooms. Enfin, les blooms d'*A. minutum* présentent des maxima pour les faibles coefficients de marée, c'est-à-dire lorsque les courants sont plus faibles et permettent un maintien du bloom dans les fonds d'estuaires, plus favorables à la croissance d'*A. minutum* (Chapelle, 2014).

Le programme de surveillance REPHY/REPHYTOX permet de quantifier rapidement les concentrations d'*Alexandrium minutum*. En revanche, ces mesures *in situ* sont relativement récentes, et ne permettent pas d'évaluer l'évolution des concentrations sur des échelles plus longues. Des archives plus anciennes, prélevées sous forme de carottes sédimentaires dans les vases et sables fins des estuaires de la rade de Brest permettent de remonter bien plus loin (env. 150 ans). Ces enregistrements permettent de quantifier l'ADN de cellules ou de kystes d'*Alexandrium minutum* conservé dans les couches sédimentaires (Figure 145). Ainsi, la présence de la micro-algue devient significative à partir des années 80 dans l'estuaire de la rivière de Daoulas, et depuis 2003 dans



l'estuaire de l'Elorn. Les deux enregistrements montrent une augmentation de la quantité d'ADN de cette micro-algue depuis leur apparition à ces dates respectives (Figure 145).

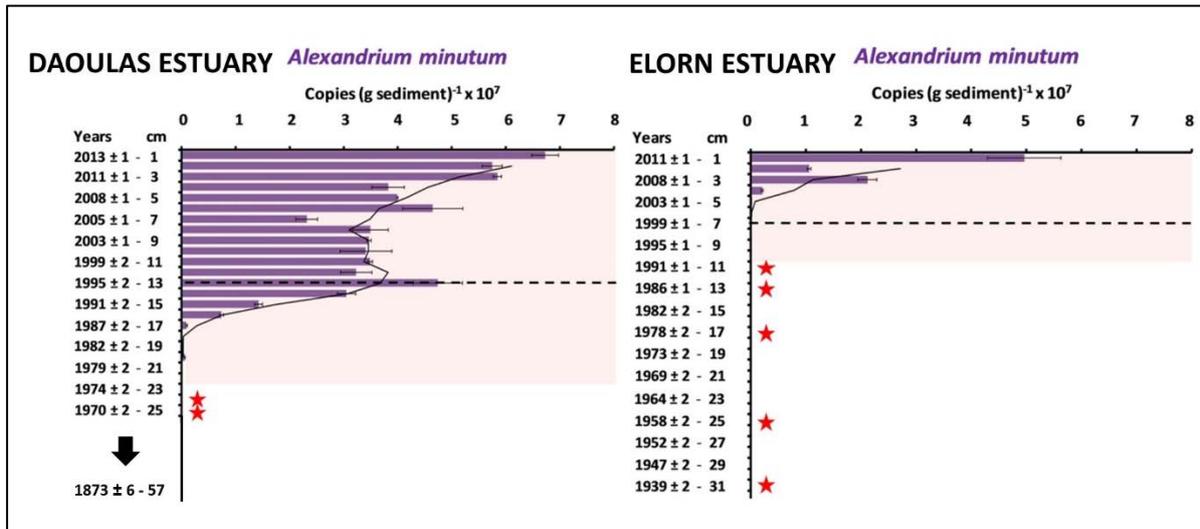


Figure 145 : Occurrences de copies de l'ADN (ITS1 rDNA) d'*Alexandrium minutum* par gramme de sédiment estimées dans l'enregistrement sédimentaire dans les estuaires de Daoulas et de l'Elorn. L'histogramme représente la quantification et les étoiles rouges à une présence sans que la quantification soit possible. Les enregistrements sédimentaires sont établis de 1873 à 2013 et de 1939 à 2011 pour l'estuaire de Daoulas et de l'Elorn, respectivement (Klouch et al., 2016a)

L'étude de ses archives sédimentaires démontre par ailleurs que les activités humaines (remembrement et intensification du ruissellement, augmentation des apports de nutriments), mais aussi probablement l'augmentation des températures atmosphériques depuis les années 1980, ont perturbé l'équilibre phytoplanctonique de la rade de Brest (Siano et al., 2021) et ont, en particulier, permis à l'algue toxique *Alexandrium minutum* de proliférer de manière excessive ces dernières années (Figure 146 ; Klouch et al., 2016, Lambert et al., 2018; Siano et Penaud, 2022).

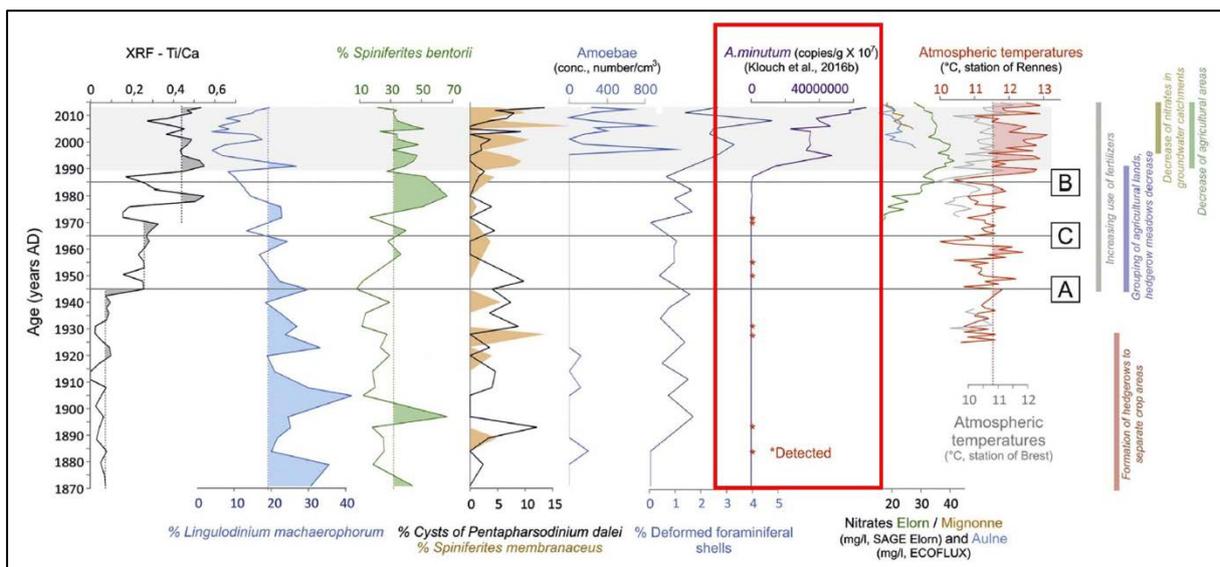
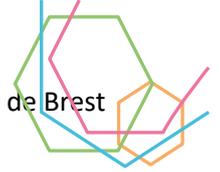


Figure 146 : Corrélation entre plusieurs variables le long d'un enregistrement sédimentaire prélevé en rade de Brest (Baie de Daoulas). L'évolution de gauche à droite : le rapport Titane/Calcium représente le rapport « signal terrestre/signal marin », son augmentation révèle un accroissement des apports terrigènes en provenance du continent. Les % correspondent à l'abondance de micro-organismes (kystes de dinoflagellés)



fossiles, les abondances d'*A. minutum* (analyses ADN) sont encadrées en rouge, l'évolution des concentrations en nitrates (SAGE Elorn et ECOFLUX) sont représentés depuis 1970 pour l'Elorn, l'évolution des températures atmosphériques (stations météorologiques de Brest et Rennes) est également représentée à droite de la figure (Lambert et al., 2018).

Certaines algues planctoniques du genre *Pseudo-nitzschia* (diatomée) produisent des toxines amnésiantes (Figure 143). En Iroise et en rade de Brest, l'espèce *P. australis* est la plus fréquemment responsable des épisodes toxiques déjà observés. On observe un décalage temporel et spatial du sud (Baie de Douarnenez) vers le nord (intérieur de la rade) des efflorescences.. Sa présence entraîne des fermetures de la pêche à la coquille Saint-Jacques en rade de Brest de manière récurrente depuis 2014. Ces toxines sont responsables d'une érosion régulière de la flottille de pêche en rade et induisent un report de pêche sur le pétoncle noir, l'huître et la praire. Ce report de pêche nécessite une réorganisation de la pêcherie, avec l'émergence de plusieurs déséquilibres. Par exemple, le pétoncle noir est menacé de disparition et les stocks ne permettent pas son exploitation pérenne. D'autre part, l'adaptation des techniques de dragage ont un impact néfaste pour les habitats benthiques. Les dragues adaptées aux praires induisent un décapage des couches de maërl et une destruction de cet habitat sensible, ce qui est moins le cas pour la coquille Saint-Jacques (Glémarec et Grall, 2000 ; Grall, com. Pers. ; Cotten, 2018).

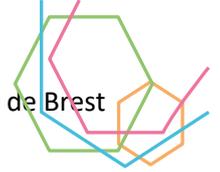
Le genre *Dinophysis* (dinoflagellé) peut entraîner, à partir de quelques centaines de cellules par litre d'eau, une accumulation de toxines dangereuses pour le consommateur. Les toxines s'accumulent dans la chair des coquillages filtreurs comme la moule ou l'huître. Lorsque les cellules de *Dinophysis* dépassent le seuil de 500 cellules par litre dans les prélèvements d'eau, la chair des coquillages est analysée. Cela permet de statuer sur leur toxicité. Le littoral de Bretagne sud et des Pays de la Loire est régulièrement affecté par des proliférations de *Dinophysis*, dont la toxicité touche essentiellement les moules et les coques. Les concentrations les plus fréquemment rencontrées varient de quelques centaines à un millier de cellules par litre. Elles peuvent toutefois atteindre épisodiquement 12 à 15 000 cellules par litre. (envlil Ifremer). Les blooms de *Dinophysis* en rade de Brest restent très fréquents depuis 2010 (Figure 143).

Les années de proliférations de *Dinophysis* (DSP), *Alexandrium* (PSP) et *Pseudo-nitzschia* (ASP) sont représentées sur la période 2000-2019 en Figure 143. La dynamique de chaque espèce de phytoplancton est différente et le développement d'une espèce par rapport à d'autres est dépendant d'une multitude de facteurs présents dans le milieu (température, nutriments, lumière, hydrodynamique, facteurs biotiques ...). En l'état actuel des connaissances scientifiques, il n'est pas encore possible de prévoir l'apparition de telle ou telle espèce, en revanche il est possible d'affirmer que les apports excessifs de sels nutritifs dans les eaux littorales couplés à un déséquilibre du rapport N/P/Si (au profit de l'azote par rapport au phosphore et à la silice) créent une situation favorable au développement des dinoflagellés, groupe auquel appartiennent plusieurs des microalgues toxiques de nos côtes. En mer d'Iroise et rade de Brest, il n'en demeure pas moins que des efflorescences de la diatomée *Pseudo-nitzschia australis* a entraîné des épisodes toxiques ces dernières années.

III.2.2. Planctons, bivalves, gastéropodes et annélides

III.2.2.1. Le cténophore *Mnemiopsis Leidyi*

Les cténophores, ou cténaïres sont des organismes planctoniques (plus rarement benthiques). La présence de cténophores, et en particulier de l'espèce *Mnemiopsis Leidyi* est attestée dans les eaux de la rade de Brest depuis cet été (Jézéquel, 2021). *Mnemiopsis Leidyi* (Figure 147) est une espèce translucide de quelques centimètres (3-20 cm) dont la migration involontaire depuis l'Amérique du Nord a probablement été favorisée par les transports maritimes (ballasts des bateaux). Le caractère invasif de *Mnemiopsis Leidyi* a été reporté dans plusieurs mers du monde dont la Mer Baltique, la Mer



Caspienne ou la Mer Noire (Shiganova, 1998). *Mnemiopsis Leidy* peut atteindre sa maturité sexuelle en deux semaines et produire près de 10 000 œufs par jour (Le Télégramme, 2016). L'espèce se nourrit de zooplancton (ex : copépodes) et autres larves de mollusques ou de poissons. Par forte concentration, les bancs de *Mnemiopsis Leidy* perturbent le fonctionnement de l'écosystème et de l'ensemble des communautés pélagiques à la base de la chaîne alimentaire.



Figure 147 : Photo de cténophores (*Mnemiopsis Leidy*), Océanopolis, J. Froc

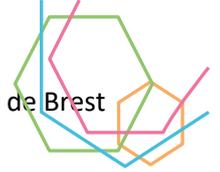
Repérée pour la première fois en 2005 dans le port du Havre, l'espèce est depuis observée régulièrement en baie de Seine et sur les côtes françaises de la mer du Nord. Son éventuelle explosion démographique et ses conséquences sur l'environnement constituent une préoccupation écologique majeure (Le Télégramme, 2016 et 2021).

III.2.2.2. L'huitre creuse *Crassostrea gigas*

L'huitre Japonaise *Crassostrea gigas* est introduite en France à la fin des années soixante, dans le but d'en développer l'élevage ostréicole. Au cours des années 90, elle commence à se reproduire dans le milieu naturel. Son caractère invasif prend une place prépondérante sur les estrans des milieux semi fermés d'Europe, du fait d'une colonisation rapide avec localement de très fortes abondances. En rade de Brest cette espèce a envahi les estrans des fonds de rade (sortie des estuaires de l'Elorn et de l'Aulne, baie de Daoulas, baie du Poulmic ou du Fret). Cette forte colonisation se traduit par d'importants changements dans la biodiversité associée au estrans de la rade, en particulier des fonds rocheux et sablo-vaseux. L'arrivée d'espèces indésirables profitent de l'habitat récif créé par la présence des huitres. Aujourd'hui, l'estran des fonds de rade est différent d'il y a 30 ans, certaines vasières ont été transformées en récifs, et des milieux rocheux sont difficiles d'accès tant ils sont couverts d'huitres. Il s'agit d'une transformation profonde et durable de l'écosystème, sous l'influence d'une seule espèce envahissante. Pour le moment, aucune mesure de n' à tenter d'enrayer ou de faire reculer cette espèce (Jézéquel, 2017 ; Grall, 2019).

III.2.2.3. La crépidule *Crepidula fornicata*

La crépidule est introduite en rade de Brest dans les années 60 par des activités d'ostréiculture en baie de Daoulas et probablement à la sortie de l'Elorn. Si l'abondance des crépidules reste à un niveau relativement réduit pendant quelques années, son abondance a explosé au cours des années 90, envahissant les chenaux et certains fonds de sable hétérogènes. A son apogée, la biomasse vivante de crépidules en rade de Brest dépasse les 200 000 tonnes au début des années 2000. Un fort déclin de la population de crépidules est amorcé depuis. Certains chercheurs pensent que les crépidules jouaient un rôle important dans la résistance de l'écosystème rade de Brest aux blooms de phytoplancton



toxiques. Les bancs de crépidules engendrent aussi un changement profond dans la sédimentation et la biodiversité vers ce qui a été qualifié de ‘banalisation des fonds’. Cette ‘banalisation’ traduit un remplacement de différents habitats (ex : le maërl) par le seul habitat à crépidules (Figure 148). En outre, les crépidules posent de sérieux problèmes de compétition pour la coquille saint Jacques, et l’activité de pêche de cette espèce. Aujourd’hui, les populations de crépidules ont fortement régressé, atteignant moins de dix pour cent de ce qu’elles ont représenté il y a 20 ans, les raisons de ce déclin restent pour l’instant inexpliquées. En disparaissant elles ont laissé derrière elle des milliers de tonnes de coquilles qui forment un habitat complexe et diversifié (Grall, 2019).



Figure 148 : photo sous-marine d’un fond recouvert de chaînes de crépidules (exemple de ‘banalisation’ des fonds marins (Beudin, 2014, photo Y. Fontana, Station Biologique de Roscoff)).

III.2.2.4. Le gastéropode *Gibbula albida*

Le gastéropode *Gibbula albida* (Figure 149) est originaire de la Méditerranée orientale et de la mer Noire. Son introduction remonte aux années 1970 pour le sud Bretagne (golfe du Morbihan) et au début des années 1990 pour le nord (Côtes d’Armor ; Le Duff et al., 2018). En règle générale, ce gastéropode se trouve à proximité des sites d’activité ostréicole. En rade de Brest, l’espèce a été identifiée dans la baie de Daoulas et dans l’estuaire de l’Elorn. Sans être à proprement parlée ‘invasive’, cette espèce est un exemple typique d’espèce exotique qui présente un développement rapide sur l’ensemble des côtes abritant l’ostréiculture. Localement, cette espèce entre en compétition avec une autre troque de grande taille, *Gibbula magus*, qui est quant à elle naturellement présente dans nos eaux (Grall, 2019).

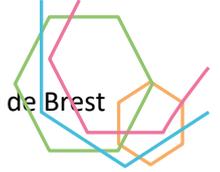


Figure 149 : Spécimen vivant de *Gibbula albida*, barre d'échelle 1 cm (Le Duff et al., 2018)

III.2.2.5. L'annélide *Chaetozone corona*

Le ver annelé *Chaetozone corona* (Figure 150) est identifié dans les bancs de maërl de la rade de Brest depuis 2012. Il est originaire des côtes californiennes et semble avoir colonisé l'ensemble des côtes Atlantiques et de la Méditerranée. Probablement arrivé dans les eaux de ballast, c'est une espèce que l'on retrouve aujourd'hui de l'estuaire de la Loire à l'archipel de Molène. Il présente l'intéressante particularité de n'être présent en rade que dans les bancs de maërl fortement soumis à la pression de pêche à la drague (praires). Cette particularité fait de cette espèce un indicateur potentiel de perturbation physique des bancs de maërl (Le Garrec et al., 2016 ; Grall, 2019).

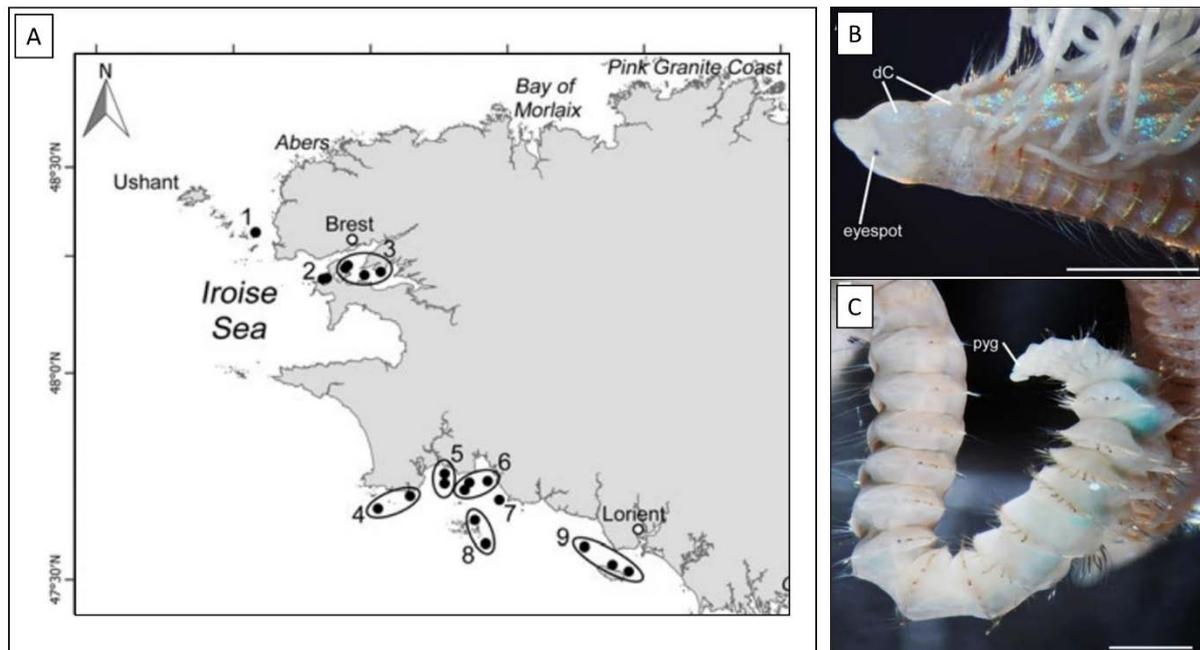
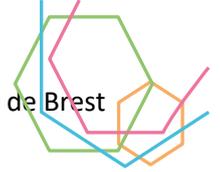


Figure 150 : (A) Stations où le *Chaetozone corona* a été identifié (3 – rade de Brest) ; (B) et (C) Vues dorso-latérale et postérieure d'un spécimen collecté dans un banc de maërl de la rade de Brest, respectivement ; Abréviations : dC, dorsal Crest, pyg, pygidium (Le Garrec et al., 2016)



III.2.3. Les algues vertes et phénomènes d'eutrophisation

III.2.3.1. Identification et formation des algues vertes

Les blooms d'algues vertes sont particulièrement connus en Bretagne car ils affectent le littoral depuis plusieurs décennies sous forme de proliférations d'algues vertes de type morphologique ulve. Ces proliférations sont en lien direct avec l'excès de nutriments (Azote, Phosphore) qui participent à des manifestations de l'eutrophisation des eaux côtières (Figure 151). Ces blooms sont appelés « marées vertes » dès l'origine de leur apparition sur la côte nord, fin des années 60-début 70, probablement dans le souvenir proche de la « marée noire » du Torrey Canon survenue un peu plus tôt, en 1967, dans ce même secteur. La principale espèce impliquée dans les marées vertes est *Ulva armoricana*, secondairement *Ulva rotundata* (CEVA, ressource documentaire). La réduction des apports en nutriments, et en particulier la réduction des apports en azote, est le levier principal pour la réduction des blooms macro-algaux d'ulves. Le suivi des proliférations de macro-algues sur le littoral Breton, est opéré par le CEVA (Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues).

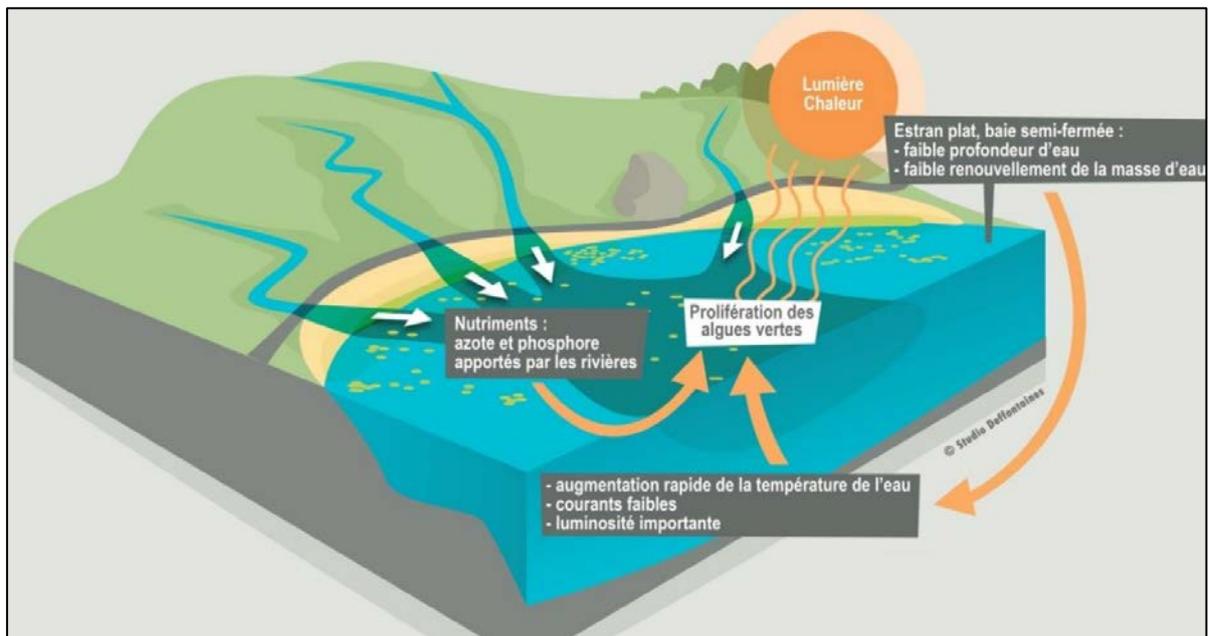
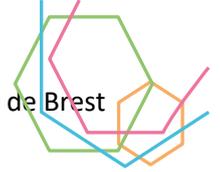


Figure 151 : Processus responsables de la prolifération des algues vertes (Pillard, 2016).

Les marées vertes à ulves se développent sur substrats meubles au printemps et en été. Les masses d'algues produites sont le plus souvent maintenues par les courants de marées et la houle dans les eaux peu profondes du très proche littoral, au niveau de baies sableuses à pente douce (CEVA). Les ulves vivent à la base en populations fixées sur des substrats durs (roches et rochers). On distingue deux grandes familles d'ulves, les ulves en lames (Figure 152) et les ulves en tubes rubanés à filamenteux (dites entéromorphes, Figure 153). Avant l'apparition des phénomènes de marées vertes, l'arrachement des ulves à leur substrat rocheux après un épisode de mauvais temps pouvait les transporter temporairement sur les baies sableuses, en mélange avec du goémon d'épave. En revanche, dans ces conditions et faute de sels nutritifs en quantités suffisante, elles ne se maintenaient que peu de temps dans ces environnements. C'est dans ces baies sableuses ou vasières et sous une forme libre et dérivante que les ulves se multiplient aujourd'hui de manière excessive. Cette multiplication est due à des flux anormalement élevés de sels nutritifs. Aujourd'hui, la production est devenue telle que la marée verte a désormais acquis la capacité de se reconduire d'une année sur



l'autre à partir de stocks résiduels hivernaux, sans qu'un nouvel apport issu de populations fixées soit nécessaire.



Figure 152 : Formes les plus communes d'algues vertes (en lames) sur le littoral breton (Ceva.fr, photo, T. Le Goff).

Les marées vertes de vasières se développent dans des configurations côtières abritées, généralement en eaux de transition (estuaires, rias) ou des eaux côtières de mers fermées. La présence d'algues vertes dans ces milieux est naturelle jusqu'à un certain niveau de développement. Alors que l'absence quasi-totale d'algues vertes est considérée comme la référence de bon état pour les deux autres types de marées vertes (ulves dérivante et arrachage), la biomasse d'une marée verte de vasière constitue des dépôts peu mobiles, avec des effets de colmatage plus durables du sédiment. Elle se recycle probablement d'une année à l'autre par des formes hivernales persistantes fixées / envasées. Outre les ulves en lame, beaucoup d'algues vertes filamenteuses participent au bloom saisonnier (Figure 153).

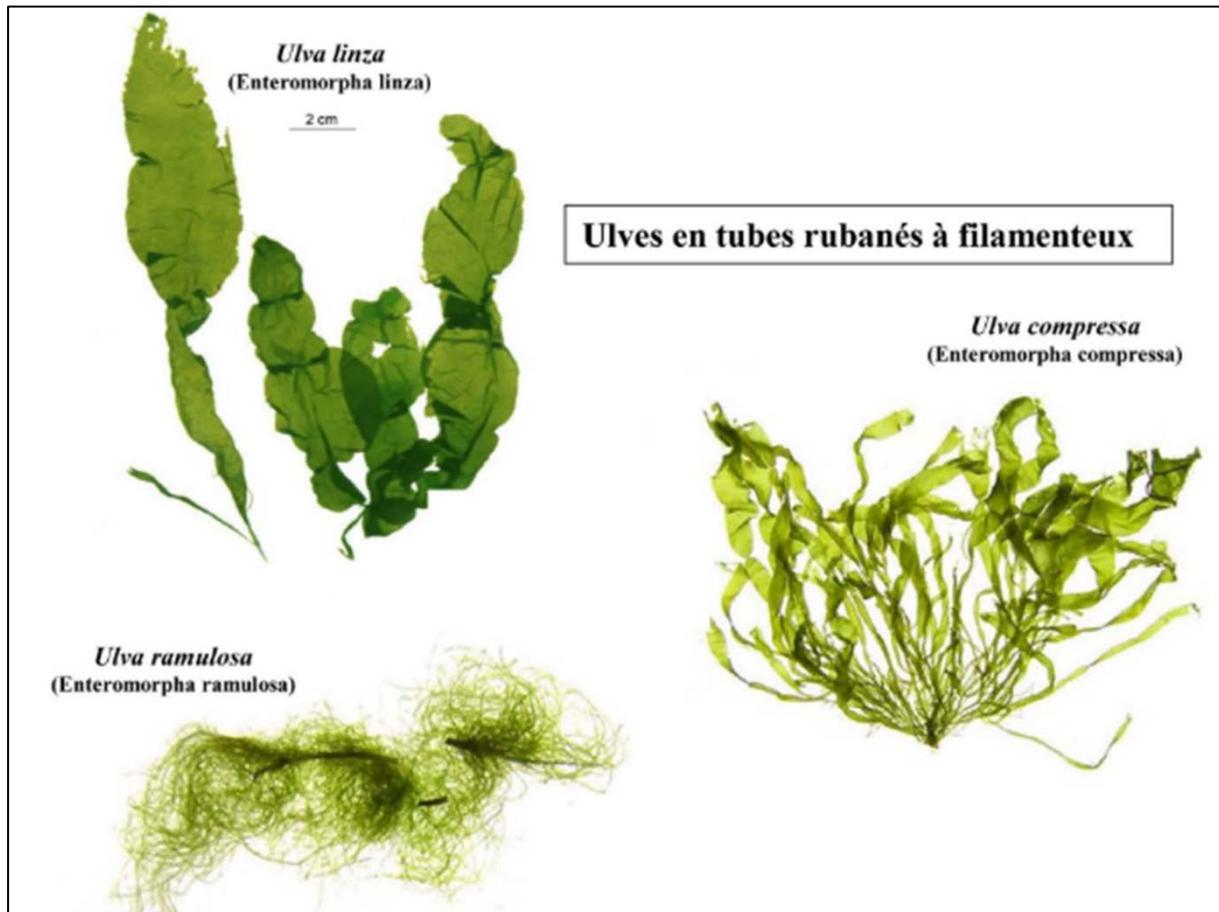
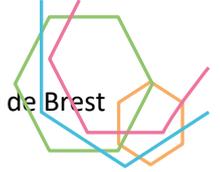
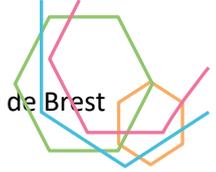


Figure 153 : Formes d'ulves dites filamenteuses, plus spécifiques des marées vertes sur vasières (cas de la rade de Brest) (Ceva.fr, photo A. Rio)

Les conditions propices au développement des algues vertes sur vasières sont réunies dans le fond de la rade de Brest au débouché des estuaires des deux grands fleuves Aulne et Elorn mais aussi dans les petits fonds de baie (ex : l'estuaire du Camfrout, la baie de Daoulas, la plage de Moulin Blanc). Les algues vertes ne peuvent s'alimenter en azote que si elles baignent dans une eau fortement chargée en azote inorganique (entre 100 et 1 000 $\mu\text{moles}\cdot\text{l}^{-1}$). Aussi, dans le fonds de baie alimentés par des bassins versants de bien plus petite dimension que ceux de l'Elorn et de l'Aulne, quand bien même les flux d'azote apportés sont plus faibles, les phénomènes d'eutrophisation peuvent s'y développer dès lors que les phénomènes de dessalure y sont suffisamment marqués.

Les importants développements d'ulves et d'algues filamenteuses se maintiennent le plus souvent répartis en couverture des fonds, impactant la biologie des milieux et les usages associés mais moins la baignade. Cet important développement algal, permis par l'importance des apports en azote et phosphore depuis les bassins versants, contribue à l'enrichissement organique du milieu, à son étouffement et à la reminéralisation différée des éléments nutritifs accumulés, ce qui favorise l'auto-entretien du phénomène.

Dans les fonds de baie de la partie orientale de la rade, ces développements d'algues vertes filamenteuses sont très marqués en raison de l'absence de houle de fond et de mouvements de vagues limités. Ces accumulations sont aujourd'hui particulièrement favorisées par la hausse des températures et conduisent à des asphyxies des fonds. Par endroits, les bancs de maërl sont ainsi recouverts d'algues filamenteuses sur 40 à 50 cm de hauteur, ce qui, en raison de l'absence de lumière provoque leur blanchiment. Malgré ces conséquences sur le milieu, la version de décembre 2019 de l'état des lieux du bassin Loire-Bretagne établi en application de la directive cadre sur l'eau ne



mentionne pas la rade de Brest parmi les sites déclassés sur le critère « développements d'algues vertes » en raison de l'absence d'échouages massifs d'ulves alors que les recouvrements de ses fonds par des algues vertes filamenteuses y constituent une problématique majeure pour ses écosystèmes et les activités d'élevage de coquillage (limitation de la circulation de l'eau dans les poches).

III.2.4. Autres phénomènes d'eutrophisation

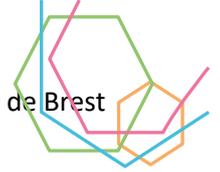
Dans la partie supérieure de l'estuaire de la Penfeld, le milieu est en état d'hyper-eutrophisation. La salinité y est très faible en surface et le temps de séjour des eaux très élevé, notamment en raison de l'existence de l'ouvrage de Kervallon, barrage destiné à maintenir en permanence un niveau d'eau minimal dans ce que l'on appelle le plan d'eau de Penfeld. Les teneurs en chlorophylle A sont très élevées, supérieures à 100 µg/L et les valeurs de pH peuvent s'élever jusqu'à 9.5. Dans ces conditions, une partie de l'azote sous sa forme d'ammonium se retrouve sous la forme ammoniacale (NH₃), toxique, et susceptible de porter atteinte à la vie piscicole. En période diurne, en surface, les mesures de terrain ont mis en évidence des phénomènes de sursaturation en oxygène avec des taux de saturation jusqu'à 150 % en été. Enfin, les teneurs en phosphore peuvent même dépasser 1000 µg/L, c'est-à-dire qu'elles dépassent de dix fois le critère de qualité sur ce paramètre qui provoque des phénomènes d'hyper-eutrophisation à partir de 100 µg/L. Ces fortes valeurs de phosphore dans l'eau témoignent de phénomènes de minéralisation de sédiments de nature organique qui se dégradent lorsque les conditions du milieu deviennent anoxiques.

III.2.4.1. Quantification des algues vertes

Depuis la fin des années 60, le littoral breton est touché, en certains points, par des proliférations de macroalgues vertes de type Ulves, connues du public sous le terme de « marées vertes ». L'évaluation de la présence de ces algues vertes a fait l'objet d'un suivi sur les quatre départements bretons depuis 2002. Il y a 20 ans, les critères d'évaluation ne sont pas harmonisés à l'échelle européenne, et le CEVA (Centre d'étude et de Valorisation de Algues) développe et met en place des outils pour organiser un suivi régulier. Des suivis mensuels et une digitalisation de certaines plages 'sableuses' est organisée sur les sites sensibles. Sur les vasières, l'évaluation est plus complexe à mettre en place, notamment car la présence d'algues y est en partie naturelle. La rade de Brest, site classifié en vasière, ne bénéficie donc pas de cet historique de suivi, et c'est dans le Golfe du Morbihan en 2004-2005 que sont effectués les premiers suivis sur vasières (Figure 154). Dès 2005, une première harmonisation du suivi du développement des algues vertes est impulsée à l'échelle européenne, sur la base des grilles de classement développées par les anglais et les irlandais.

En 2008, pour converger vers les grilles de classement de la DCE des masses d'eau de type « abritées » (vasières) mises au point par les Anglais et les Irlandais, le CEVA s'adapte et relève toutes les surfaces couvertes par les algues vertes (filamenteuses ou en lame) pour les sites classés comme « touchés par des échouages d'ulves ». Ce changement dans la méthode d'acquisition de la donnée présente plusieurs désavantages. D'une part, l'absence de différenciation entre algues filamenteuses et ulves produit un indicateur moins sensible aux évolutions, car ces deux types d'algues représentent des accumulations de biomasse différentes (plus de biomasse pour les ulves que pour les filamenteuses). D'autre part, ce traitement des proliférations sur les sites « abrités » rend délicate toute comparaison des données antérieures à 2008 avec celles postérieures à 2008.

Deux grilles de classement avaient été initialement établies : (Type 1) marées vertes se développant dans les baies sableuses et dont les dépôts sont mobiles (marée verte « classique ») ; (Type 3) marées vertes se développant sur substrat majoritairement vaseux avec des dépôts peu mobiles. Ces deux grilles répondent aux deux types de marées vertes les plus couramment observés au niveau du bassin



Loire-Bretagne. Un troisième outil d'évaluation a été élaboré pour s'adapter aux marées vertes de type 2 dont les algues ont une phase de croissance fixée sur les platiers rocheux avant d'être arrachées et de s'échouer sur les plages. Sur la base des observations de terrain et de l'importance des différents types de substrats dans la zone intertidale, chaque masse d'eau touchée par des marées vertes a été rattachée à un type de marée verte (Figure 155).

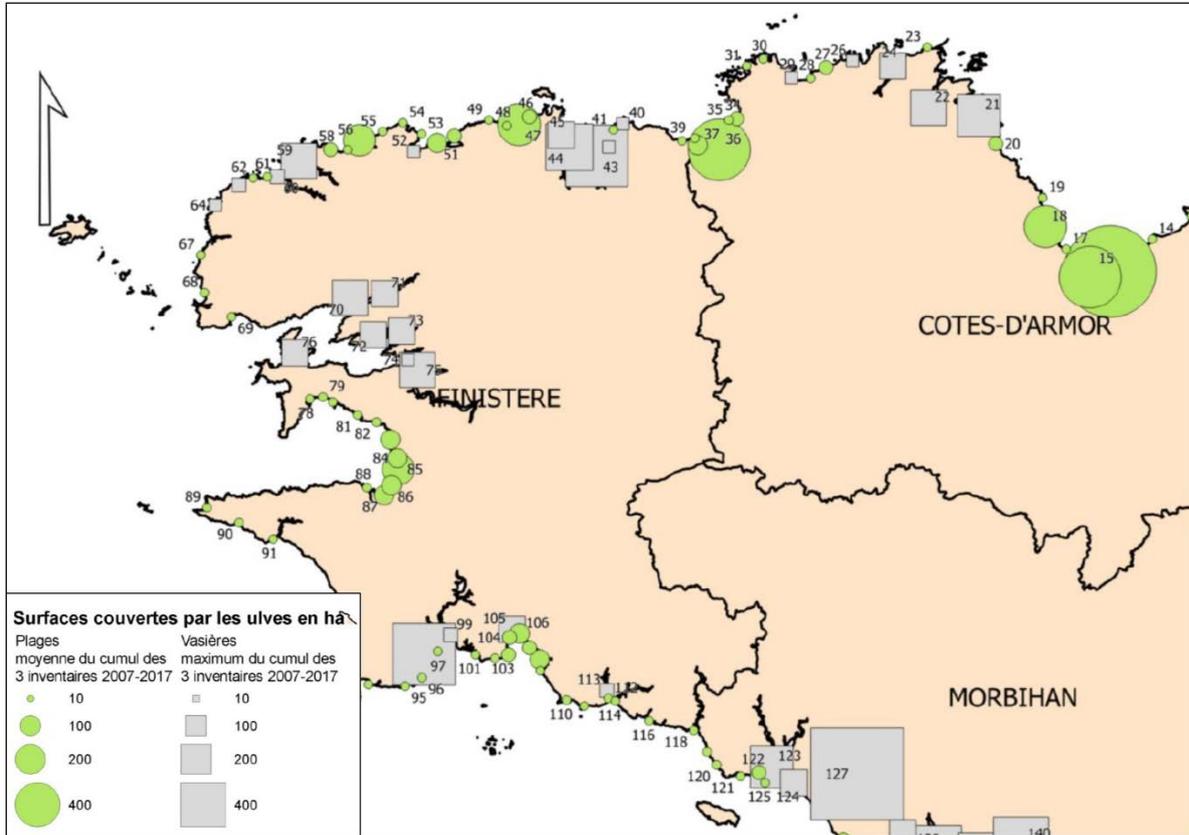


Figure 154 : Surfaces couvertes par les algues vertes sur plages et sur vasières au cours de trois inventaires sur la période 2007-2017 (CEVA et AELB).

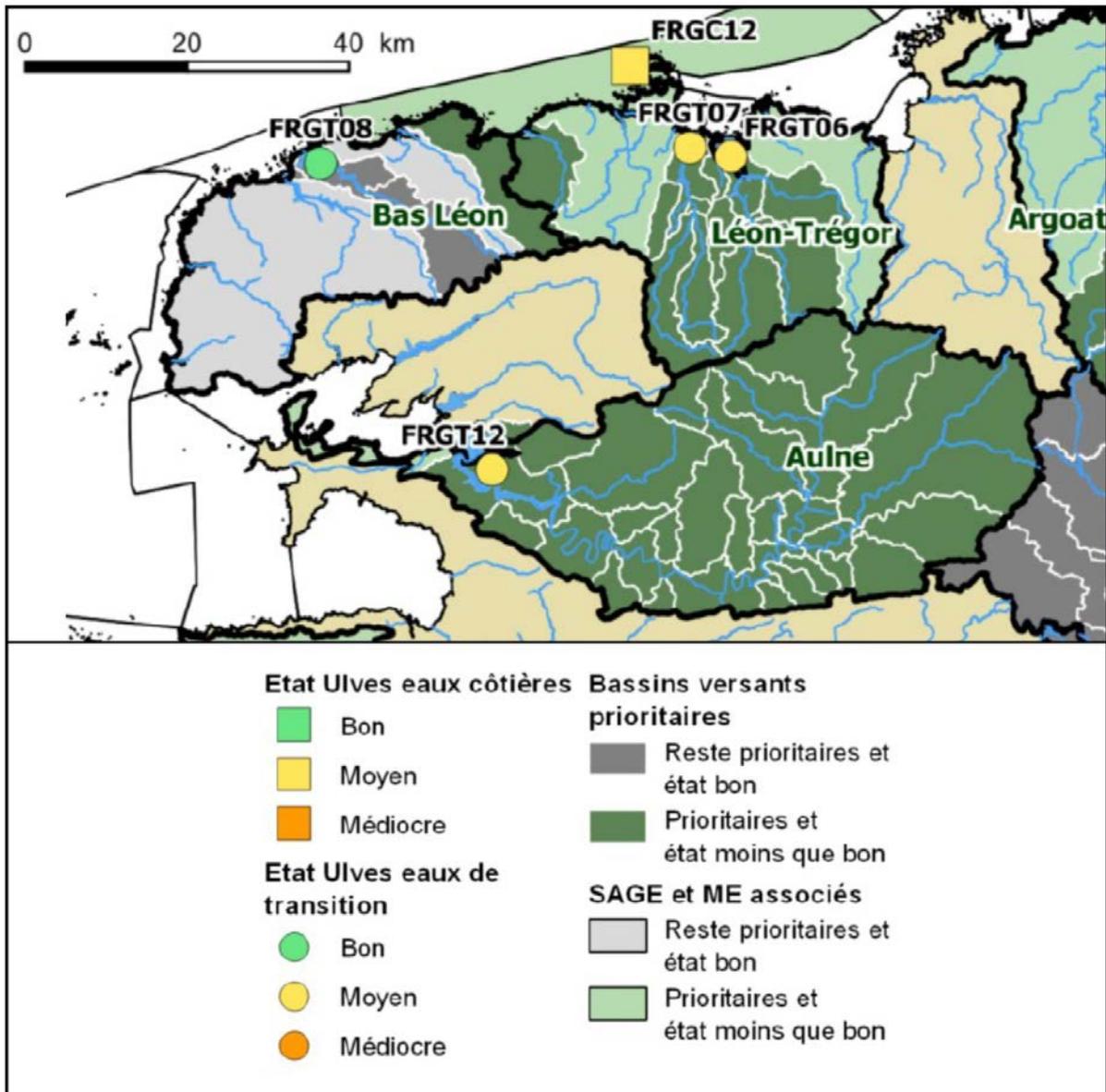
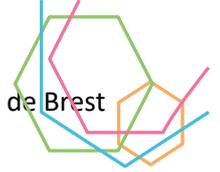


Figure 155 : Sage associés à des masses d'eau déclassées par des marées vertes sur vasières (Projet de SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027).

Les flux de nutriments en provenance des bassins versants sont la principale source de développement des algues vertes. Le stockage des nutriments en excès dans les sédiments côtiers et leur relargage (flux benthiques diffusifs et advectifs, Figure 156) fait depuis peu l'objet de recherches approfondies (projet IMPRO).

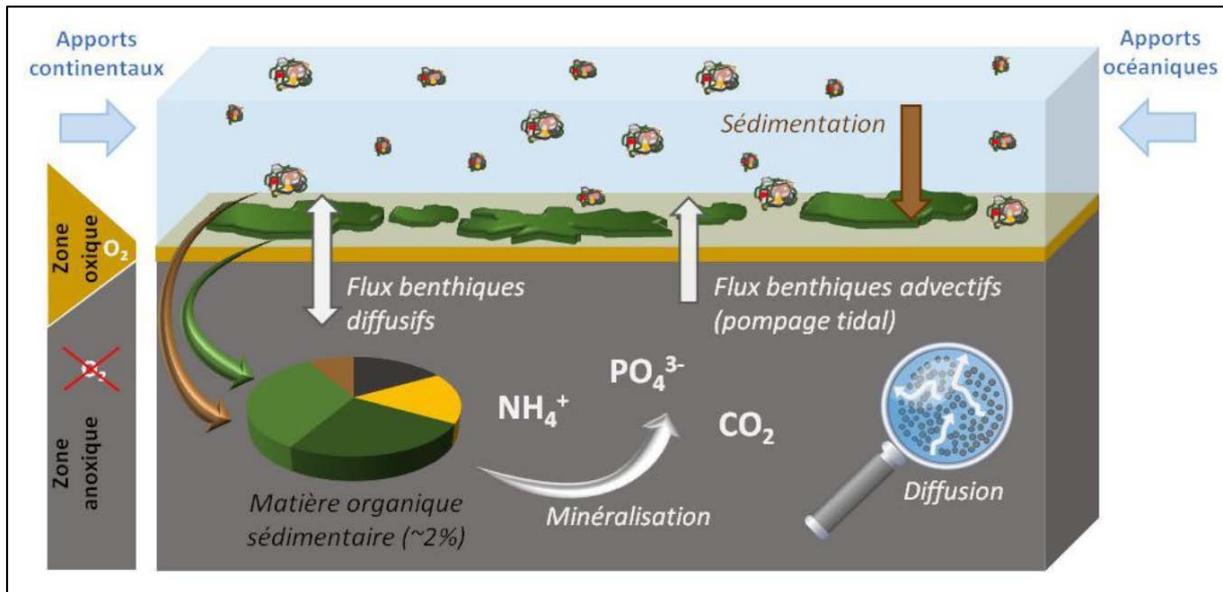
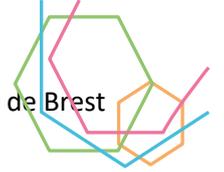


Figure 156 : Processus biogéochimiques et physiques qui contrôlent la production des flux benthiques diffusifs et advectifs (Louis et al. 2022, Synthèse IMPRO, 2022).

III.3. Autres effets des polluants et aménagements

III.3.1. Les macro et micropolluants

III.3.1.1. Les produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires ont des effets à tous les étages de l'organisation biologique. A l'échelle des individus, la neurotoxicité et la perturbation du système endocrinien sont des perturbations fréquentes, qui entraînent des surmortalités et un déclin des populations (Figure 157).

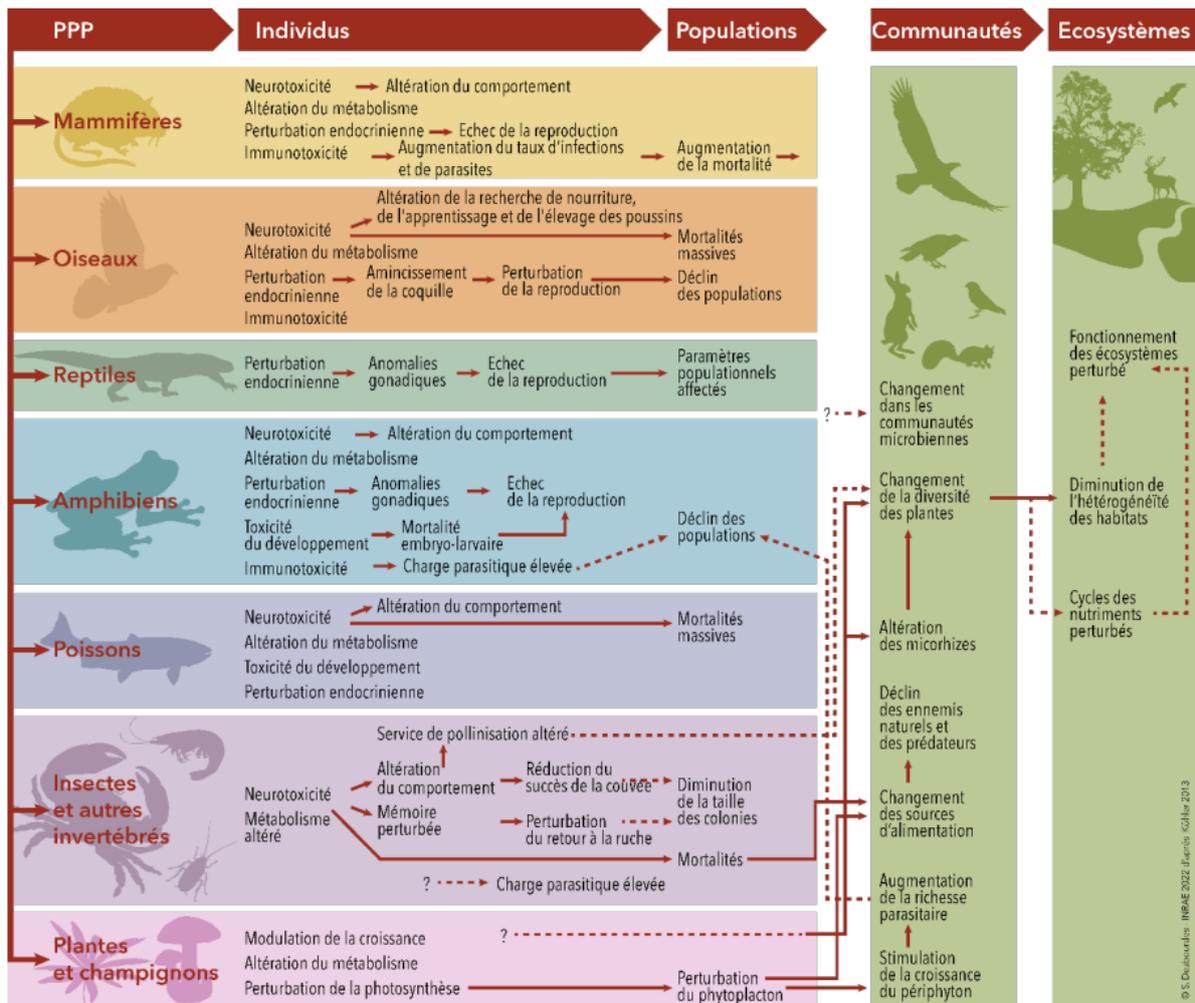
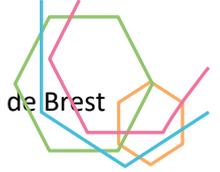


Figure 157 : Effets des produits phytosanitaires aux différents niveaux d'organisation biologique (Lenhardt et al., 2022)

III.3.1.2. Le tributylétain (TBT)

Le tributylétain (TBT) fait partie de la liste des substances prioritaires de la DCE. Utilisé depuis les années 60-70 dans les peintures antisalissures (*antifouling*), ce n'est que dans les années 1980 que l'on signale des problèmes d'écotoxicité et de persistance du TBT dans les sédiments marins. En effet, ce puissant biocide a un temps de demi-vie supérieur à 20 ans dans les sédiments et est toxique à des concentrations inférieures au nanogramme par litre. Il peut notamment entraîner des phénomènes de chambrage chez les huîtres (Figure 158), des malformations dans le développement de certains mollusques (huîtres notamment), ou la masculinisation des femelles chez certains gastéropodes (imposex).

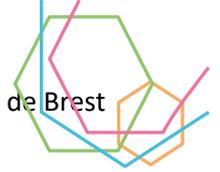


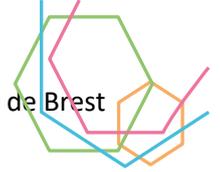
Figure 158 : Phénomène de chambrage d'une huître (Droit et Besançon, 2018)

III.3.1.3. Le Cuivre

Le cuivre est utilisé dans les peintures anti-salissure en remplacement du TBT et principalement sous la forme d'oxyde de cuivre. Il joue un rôle important dans certaines fonctions biologiques comme le transport de l'oxygène par le sang chez les mollusques. Cependant, à forte dose, il est toxique pour un certain nombre d'organismes marins (Tableau 33).

| Concentration | Effets |
|---------------|---|
| 4-600 ppm | Inhibition de la croissance phyto planctonique |
| 100 ppm | Lésions visibles des populations algales |
| 0,6 mg/l | Concentration létale pour les larves de crabe (<i>Carcinus maenas</i>) |
| 0,1 mg/l | Concentration létale pour les larves de homard (<i>Hommarus gammarus</i>) |
| 0,1 ppm | Dose létale pour 50% d'une population d'huître (<i>Crassostrea gigas</i>) |

Tableau 33 : Effets du cuivre selon la concentration sur plusieurs espèces de bivalves, crustacés algues et plancton Effets du cuivre sur les organismes vivants en fonction de sa concentration (Droit et Besançon, 2018)



III.3.1.4. Le zinc

Le zinc est un oligo-élément qui permet chez l'homme la synthèse de nombreuses enzymes. La toxicité du zinc est observée à partir de concentrations de l'ordre du microgramme par litre pour différentes espèces de mollusques benthiques (embryotoxicité, anomalies de développement larvaire...). Le suivi de la bioaccumulation montre une forte capacité d'accumulation du zinc par les huîtres, notamment dans la glande digestive. Le zinc est présent dans les peintures antifouling essentiellement sous forme de Zinc-Pyrithione et d'oxyde de Zinc. On observe également dans les ports des navires équipés d'anodes sacrificielles à base de zinc, utilisées pour comme protection cathodique des coques des navires.

III.3.1.5. Les solvants

Le benzène, xylène, le toluène, ou l'éthylbenzène présentent un faible potentiel de bioaccumulation, et sont facilement biodégradables dans l'eau. Elles sont en revanche toxiques pour l'environnement à partir de concentrations de l'ordre du milligramme par litre (Droit).

III.3.1.6. Les plastifiants

Les plastifiants, ou phtalates (ex : DEHP (di(2-éthylhexyl)phtalate), peuvent avoir des effets de type perturbateurs endocriniens.

III.3.1.7. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont faiblement solubles dans l'eau de mer, ont une capacité élevée d'adsorption sur les particules en suspension. En raison de leur caractère lipophile (et donc non hydrophile), les HAP sont préférentiellement concentrés dans les sédiments et les organismes marins. Les HAP ont des effets cancérigènes et mutagènes pour les organismes.

III.3.1.8. Les plastiques

Les déchets plastiques d'origine anthropique sont présents sur l'ensemble des bassins versants et de la rade de Brest, dans des proportions qui peuvent différer fortement d'un milieu à l'autre (Figure 96). Des clichés sous-marins des membres de l'ACDC (Association de plongée de Plougastel-Daoulas) donnent une idée de la diversité des macrodéchets présents dans la rade de Brest (Figure 159).

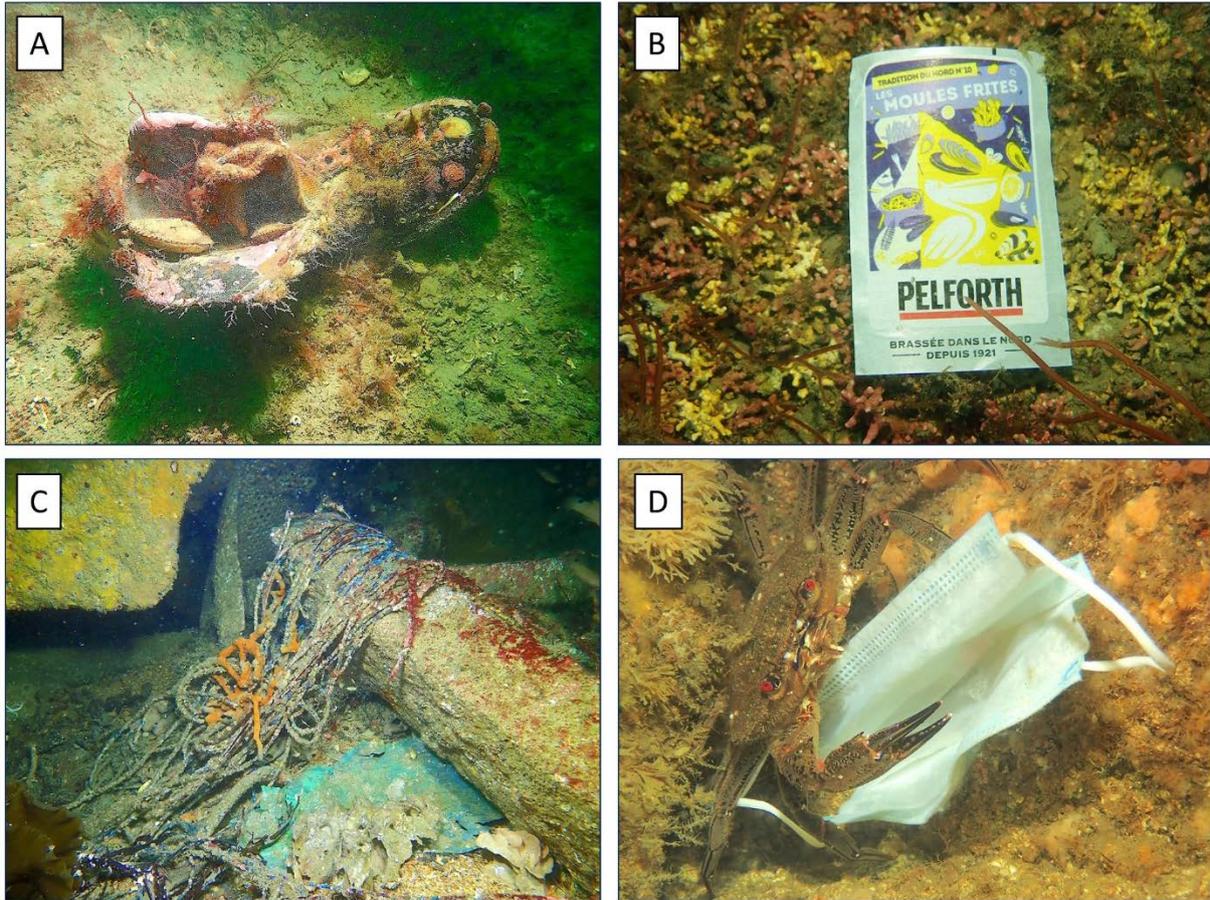


Figure 159 : Macro-déchets d'origine anthropique dans l'environnement sous-marin de la rade de Brest. (A) Chaussure colonisée par des pétoncles ; (B) Etiquette sur un lit de maërl ; (C) matériel indéterminé ; Etrille et masque chirurgical (photos ACDC Plougastel-Daoulas, A. Gastrin).

La colonisation des MP par les particules en suspension et notamment les microorganismes marins est une problématique inhérente à celle des MP en rade de Brest. Certaines bactéries, notamment celles du genre *Vibrio* ont été régulièrement observées sur des fragments de MP. Le *Vibrio splendidus* a notamment été trouvé dans 77 % des bassins observés ; or il s'agit d'un agent pathogène, notamment pour les huîtres (Waechter et al., 2002 ; Frère et al., 2018). L'ingestion des MP par les organismes filtreurs constitue un vecteur de colonisation des bactéries potentiellement pathogènes qu'il convient de prendre en considération (Figure 160, Frère, 2017).

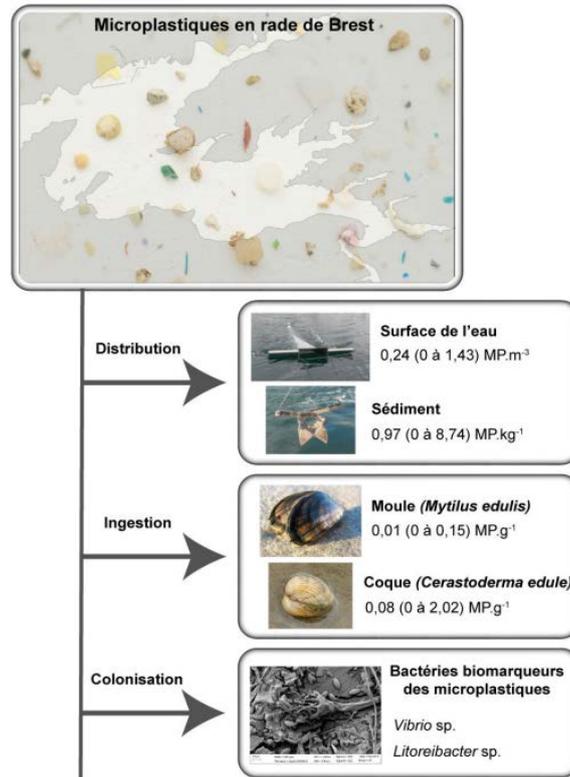
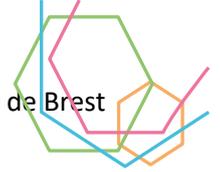


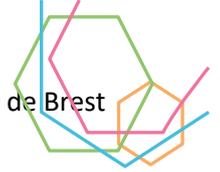
Figure 160 : Cycle de distribution, d'ingestion et de colonisation des écosystèmes marins par les microplastiques (Frère, 2017).

III.3.2. Les aménagements

Un barrage de régulation du niveau d'eau dans la partie amont de l'estuaire de la Penfeld a été construit en 1989 (Figure 161). Cet ouvrage a été créé à des fins récréatives, notamment pour la pratique du kayak.



Figure 161 : Barrage sur la Penfeld. Au premier plan l'ancienne cale et le quai Riou-Kerhallet (Wiki-Brest, site collaboratif du patrimoine et du vivre ensemble à Brest) (Jaffrès et al., 2022)



Il est géré avec une vidange et un remplissage régulièrement effectués la nuit lors des grandes marées et occasionnellement pendant les mortes eaux. L'apport d'eau saumâtre pendant les périodes de grandes marées et la fermeture du barrage pendant les mortes eaux conduisent à l'établissement d'une forte stratification haline avec un écoulement d'eaux riches en nutriments (Figure 162 ; Jaffrès et al, 2022). Cette dynamique semble être à l'origine d'une production primaire élevée correspondant à la signature d'un milieu hypereutrophisé (très fortes concentrations en chlorophylle a, pH très élevé...). L'absence de brassage vertical efficace avec la marée, contrairement à ce qui est observé dans les estuaires de l'Aulne et de l'Elorn par exemple, conduit à des phénomènes d'anoxie dans les eaux profondes de la Ria Penfeld. Ces conditions azoïques ne permettent pas le développement d'invertébrés benthiques.

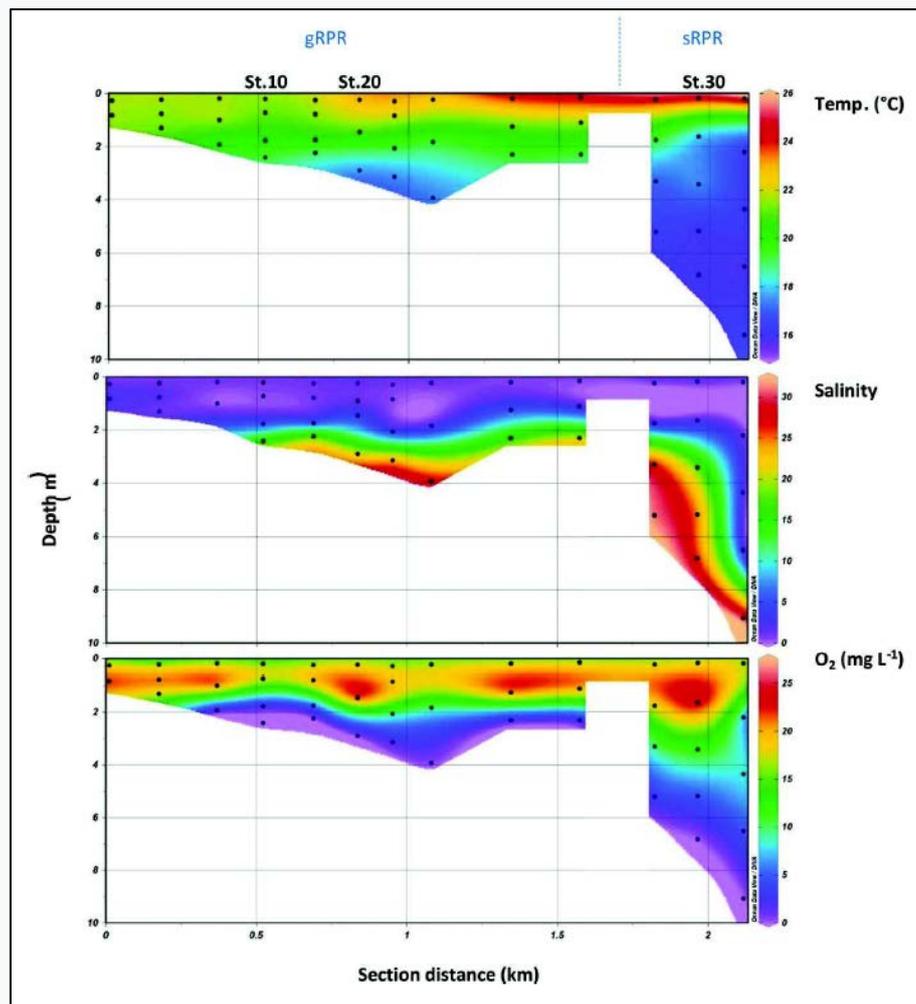
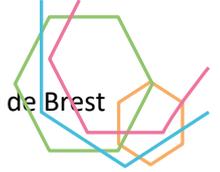
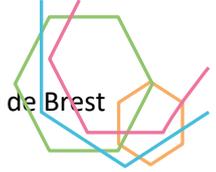


Figure 162 : Distribution verticale de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous le long d'une section du réservoir de la Ria Penfeld en Juli 2021. Abréviations : gRPR, great Ria Penfeld reservoir (zone amont) et sRPR, small Ria Penfeld Reservoir (zone aval) (Jaffrès et al., 2022)



REFERENCES PARTIE 3

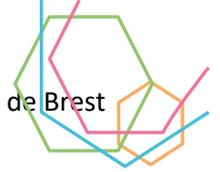
- AUffret, M. 2022. Note sur les travaux réalisés dans le cadre du Projet MOULOBS.
- Bernard, Guillaume, Alicia Romero-Ramirez, Adeline Tauran, Michael Pantalos, Bruno Deflandre, Jacques Grall, et Antoine Grémare. 2019. Declining maerl vitality and habitat complexity across a dredging gradient: Insights from in situ sediment profile imagery (SPI). *Scientific Reports* 9 (1): 16463. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52586-8>.
- Beudin, A. 2014. Dynamique et échanges sédimentaires en rade de Brest impactés par l'invasion de crépidules. Université de Bretagne Occidentale.
- Borja, A. 2004. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools ». *Marine Pollution Bulletin* 48 (3): 405-8. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.10.024>.
- Bourré, Nicolas. 2019. Suivi d'abondance en juvéniles de saumons de 10 bassins versants du Finistère_ Année 2019. Fédération du Finistère pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.
- Bourré. 2020a. Suivi des populations d'anguilles en Finistère : réseau de suivi de recrutement en juvéniles 2020. Volet poissons migrateurs 2015-2020. Fédération départementale de pêche.
- Bourré. 2020b. Suivi des populations de carnassiers de l'Aulne canalisée et du Kergoat canalisé par carnets de captures. Fédération de pêche du Finistère.
- Chapelle, A., C. Guallar, C. Bacher, M. Sourisseau, M. Plus, K. Klouch, G. Métégner, et al. 2017. *Alexandrium minutum*, une espèce modèle. Présenté à ZABri Thème 2.
- Chapelle, A., C. Le Bec, Z. Amzil, C. Dreanno, K. Klouch, C. Labry, M. Le Gac, et al. 2014. Étude sur la prolifération de la micro algue *Alexandrium minutum* en rade de Brest Projet. Projet Daoulex Rapport final. Ifremer.
- Cotten, C. 2018. La gestion des gisements de coquilles Saint-Jacques dans le Finistere. Université de Bretagne Occidentale.
- Droit, Julie, et Marion Besançon. 2018. Activités de carénage dans les ports de plaisance, zones de mouillages et chantiers nautiques privés. État de l'existant et préconisations techniques. Cerema.
- Frère, Laura. 2017. Les microplastiques : une menace en rade de Brest ? Brest: Université de Bretagne Occidentale.
- Frère, Laura, Lois Maignien, Morgane Chalopin, Arnaud Huvet, Emmanuel Rinnert, Hilary Morrison, Sandrine Kerninon, et al. 2018. Microplastic bacterial communities in the Bay of Brest: Influence of polymer type and size. *Environmental Pollution* 242 (novembre): 614-25. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.023>.
- Germis, G. 2017. Le suivi du recrutement en juvéniles de saumons Des connaissances essentielles pour le suivi de la qualité des cours d'eau bretons.
- Glémarec, M., et J. Grall. 2000. Les groupes écologiques et zoologiques d'invertébrés marins face aux dégradations de l'environnement côtier. *Bulletin de la société zoologique de France*, 2000.
- Grall, Jacques. 2019. Biodiversité des organismes marins en rade de Brest. IUEM.
- Jaffrès, S.P.H, E. Kerebel, M.M. Le Bagousse, C.J. Lefort, C.J.Y. Morisseau, K. Rouanet, N.C. Pemartin, et al. 2022. Eutrophication, oxygen status and nutrient fluxes in a macrotidal estuarine reservoir: the case of the Ria Penfled, Bay of Brest. *LBH: HYDROSCIENCE Journal*, 2022.
- Jézéquel, S. 2017. Huître creuse. La sauvage gagne du terrain, 2017, Le Télégramme édition.
- Jézéquel. 2021. L'appétit vorace d'un envahisseur américain en rade de Brest. *Le Télégramme*, 2021.
- Klouch, Z.K., F. Caradec, M. Plus, T. Hernández-Fariñas, L. Pineau-Guillou, A. Chapelle, S. Schmitt, J. Quéré, L. Guillou, et R. Siano. 2016. Heterogeneous distribution in sediments and dispersal in waters of *Alexandrium minutum* in a semi-enclosed coastal ecosystem. *Harmful Algae* 60 (décembre): 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.11.001>.
- Knoery, J. 2012. Pressions chimiques et impacts associés. Contamination par des substances dangereuses. Impacts chimiques sur l'écosystème. Sous-région marine Manche – Mer du Nord. Rapport du groupe de travail sur le BEE Descriptor 8 :



«Concentrations of contaminants are at levels not giving rise to pollution effects ». Annexe II (Janvier 2010). 12 p.

- Lambert, C. 2017. Signature paléoenvironnementale des séquences holocènes en Rade de Brest : forçages climatiques et anthropiques. Université de Bretagne Occidentale.
- Lambert C., Penaud A., Vidal M., Klouch K., Gregoire G., Ehrhold A., Eynaud F., Schmidt S., Ragueneau O., Siano R., 2018. Human-induced river runoff overlapping natural climate variability over the last 150 years: Palynological evidence (Bay of Brest, NW France). *Global and Planetary Change* 160, 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.11.004>.
- Le Duff, M., V. Le Garrec, et E. Ar Gall. 2018. Premier signalement du gastéropode *Gibbula albida* (Gmelin, 1791) sur les côtes finistériennes (ouest Bretagne). *les cahiers naturalistes de l'Observatoire marin*, 2018.
- Le Garrec, V., J. Grall, C. Chevalier, B. Guyonnet, J. Jourde, N. Lavesque, P. Bonifacio, et J. A. Blake. 2016. Chaetozone corona (Polychaeta, Cirratulidae) in the Bay of Biscay: a new alien species for the North-east Atlantic waters? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2016.
- Le Télégramme*. 2016. Une « lady » invasive, 2016.
- Leenhardt, S., L. Mamy, S. Pesce, W. Sanchez, et G. Richard. 2022. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. INRAE, Ifremer.
- Louis, J., L. Jeanneau, N. Lebris, M. Chorin, M. Liotaud, E. Jardé, C. Petton, G. Bouger, P. Petitjean, A. Laverman, F. Andrieux-Loyer, F. Caradec, E. Rabiller, P. Anschultz, C. Charbonnier, B. Deflandre, M. Lasbleiz, et al. 2022. « Impact du sédiment sur les proliférations de macroalgues sur vasières (IMPRO). Rapport Final ».
- Louis, J., L. Jeanneau, N. Lebris, M. Chorin, M. Liotaud, E. Jardé, C. Petton, G. Bouger, P. Petitjean, A. Laverman, F. Andrieux-Loyer, F. Caradec, E. Rabiller, P. Anschultz, C. Charbonnier, B. Deflandre, S. Richier, et al. 2022. Impact du sédiment sur les proliférations de macroalgues sur vasières (IMPRO). Synthèse.
- Plan d'action 2022-2024, 2022. Façade maritime Nord Atlantique – Manche Ouest. Stratégie nationale pour les aires protégées 2030. 108 p.
- Siano R., Lassudrie, M., Cuzin, P., Briant, N., Loizeau, V., Schmidt, S., Ehrhold, A., Neil Mertens, K., Lambert, C., Quintric, L., Noël, C., Latimier, M., Quéré, J., Durand, P., Penaud, A. 2021. Sediment archives reveal irreversible shifts in plankton communities after World War II and agricultural pollution. *Current Biology*, 31 (12), 2682-2689.
- Siano R., et Penaud, A. 2022. L'histoire de l'impact de l'homme sur la rade de Brest racontée par les sédiments estuariens. Océanopolis.
- Pillard, Simon. 2016. Mise au point sur les algues vertes Risques environnementaux et valorisations en 2016. Université de Picardie Jules Verne.
- Ragueneau, O., M. Raimonet, C. Mazé, J. Coston-Guarini, L. Chauvaud, A. Danto, J. Grall, F. Jean, Y. M. Paulet, et G. Thouzeau. 2018. The Impossible Sustainability of the Bay of Brest? Fifty Years of Ecosystem Changes, Interdisciplinary Knowledge Construction and Key Questions at the Science-Policy-Community Interface. *Frontiers in Marine Science* 5. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2018.00124>.
- Shiganova, T. A. 1998. Invasion of the Black Sea by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and recent changes in pelagic community structure. *Fisheries Oceanography* 7 (3-4): 305-10. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.1998.00080.x>.
- Waechter, M., F. Le Roux, J.-L. Nicolas, E. Marissale, et F. Berthe. 2002. Caractérisation de bactéries pathogènes de naissain d'huître creuse *Crassostrea gigas* Characterisation of *Crassostrea gigas* spat pathogenic bacteria. *Comptes Rendus Biologies*, 2002.





IV. REPERCUSSIONS SUR LES USAGES ET L'ECONOMIE

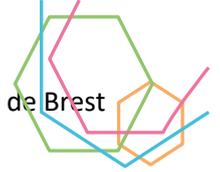
IV.1. Répercussions sur la pêche professionnelle

Plusieurs exemples peuvent nous en convaincre : l'histoire de la pêche professionnelle en rade de Brest semble témoigner d'une certaine fragilité. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, la migration saisonnière des sardines attire de nombreux marins originaires des quartiers maritimes de Douarnenez, Camaret et de Brest. En 1846, ce ne seraient pas moins de 400 navires douarnenistes qui viendraient lancer leurs filets trainants au sud de la rade pour capturer ce précieux butin (propos recueillis auprès de l'Historien J.C. Fichou en mai 2019). L'engouement est tel que la sardine s'impose, aux XVIII^e et XIX^e siècles, comme l'une des activités les plus rémunératrices du bassin brestois (se référer aux différentes enquêtes réalisées au XVIII^e siècle, ainsi que sur la Statistique des pêches maritimes, années 1866 à 1901). Toutefois, si des années d'absence de la sardine ont ponctuellement éprouvé les pêcheurs, ce poisson semble disparaître soudainement de la rade entre les années 1901 et 1923 (Statistique des pêches maritimes, années 1901 à 1923). Sans que l'on puisse attribuer les raisons de cette désertion, la sardine ne semble pas y revenir en nombre à compter de cette date.

En parallèle, le cas de l'huître plate présente quelques similitudes. Déjà exploitée de manière professionnelle au XVIII^e siècle, cette espèce n'aurait suscité l'intérêt de la Marine qu'à partir des années 1840. A cette date, la menace d'une dévastation des huîtrières incite les autorités maritimes à prendre plusieurs initiatives. Néanmoins, en dépit de mesures de gestion parfois drastiques et fortes – interdiction de pêcher pendant 17 ans entre 1866 et 1887 (Archives du Service Historique de la Défense à Brest, 2P9/35) –, l'état de santé de ces huîtrières paraît décliner au fil des ans. En 1909, le constat dressé par le Naturaliste Joseph Guérin Ganivet semble bien sombre. Parmi les quatorze huîtrières naturelles recensées par l'auteur, trois ne présenteraient plus « *aucun vestige* » (Guérin-Ganivet, 1911), tandis que sept autres recouvreraient une « *largueur insignifiante* » (Guérin-Ganivet, 1911). A partir des années 1920, les autorités cadennassent cette activité à quelques jours par saison, puis à quelques heures par saison... sans résultat probant. Pour cette ressource encore, l'heure est à la conservation d'une espèce patrimoniale et écologique plutôt qu'à une exploitation solide.

Enfin, les années 1880 laissent apparaître une nouvelle ressource pleine de promesses : la coquille Saint-Jacques. L'engouement pour cette pêche est rapide et la pression de pêche s'accroît tout au long du XX^e siècle. Toutefois, ce n'est véritablement qu'à partir de l'autorisation du navire à moteur en 1947 que la puissance de pêche y est décuplée. Les premiers résultats ne se font pas attendre puisqu'en 1953, plus de 2600 tonnes de coquilles sont relevées des dragues. Un record ! Dès lors, la surexploitation de cette ressource, combinée à l'hiver rude de 1962-1963, ont mis à mal les stocks de coquilles Saint-Jacques. Deux ans plus tard, le manque de géniteurs se fait ressentir et les pêcheurs peinent à relever 500 tonnes de leurs dragues...

En l'espace de seulement deux siècles, trois exploitations majeures de la rade de Brest ont donc disparu ou essuyé de sérieux revers. Cela témoigne d'une dégradation et de changements rapides de l'écosystème. S'il est vrai que la polyvalence des engins de pêche permet aux gens de la rade de passer facilement d'une espèce à l'autre (praires, pétoncles, amendements), elle ne résout pas ces problématiques sur le long terme. Cette rétrospective semble plutôt témoigner de la hausse de la vulnérabilité des pêcheurs, surtout quand ces exploitations contribuent à dégrader des habitats marins, indispensables au bon fonctionnement écosystémique. En ce sens, elles alimentent un cercle vicieux dans lequel Hommes et Milieu semblent inexorablement vaciller (rédaction par L. Bosseboeuf).



IV.1.1. Pêche embarquée

Dans les années 50-60, le gisement de coquillages en rade de Brest représente environ 2500 tonnes/an. Ce gisement est alors exploité par 250 navires et plus de 900 marins. La coquille Saint-Jacques y représente 85 % des apports, viennent ensuite les pétoncles et les huitres plates. Plusieurs hivers particulièrement rigoureux entraînent une chute du stock de coquilles Saint-Jacques, la production passe alors de 1500 à 150 tonnes. Les années 80 sont marquées par des programmes ambitieux d'élevage de saumons et de repeuplement avec l'appui d'organismes scientifiques (création de l'écloserie du Tinduff en 1983). La licence de pêche concerne alors 110 navires. En 2017, ces licences ne concernent plus que 20 navires goémoniers et 22 bateaux de pêche (filets, casiers, lignes) pour environ 80 marins. En 2019, le nombre de licences en rade de Brest a chuté à 32 navires (Figure 163; Comité Départemental des pêches du Finistère, 2019). En revanche, la puissance cumulée des navires de pêche ne cesse d'augmenter en rade de Brest depuis les années 90 (Cotten, 2018).

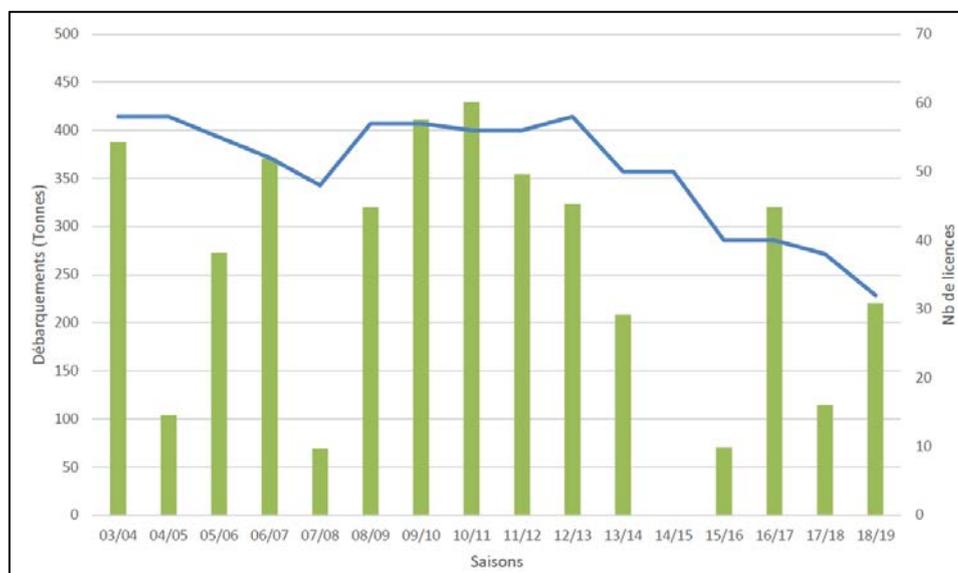


Figure 163 : Evolution du gisement rade de Brest – Camaret sur la période 2004-2019. Le tonnage de débarquement est représenté par les histogrammes verts, le nombre de licences de pêche est indiqué par la courbe bleue (Comité Départemental des pêches du Finistère, 2020).

Des fermetures récurrentes en raison de la présence de toxines du type ASP ont lieu depuis 2004 pour la coquille Saint-Jacques : elles provoquent l'érosion de la flottille (32 navires en 2020 contre 75 navires en 2000) et un report de l'effort de pêche sur les 3 autres espèces (pétoncle noir, huître et praire), ce qui les fragilise. Or l'huître plate présente des mortalités inexplicables et les pétoncles noirs sont en voie de disparition dans la rade (même suite à des périodes où il n'y a eu aucun effort de pêche ; Jézéquel, 2017). Les périodes de fermetures dues à la contamination par ASP ont augmenté en fréquence et en durée. La rade de Brest est en effet chaque année depuis 2000 le siège du développement de micro-algues toxiques soit amnésiantes (ASP : Pseudo-nitzschia), soit paralysantes (PSP : type Alexandrium minutum) soit diarrhéiques (DSP : Dinophysis), voire les trois en même temps (ex : 2014-2015 et 2017 ; Figure 143).

Qu'il s'agisse de la praire, du pétoncle ou de l'huître plate, les saisons de pêche de ces dernières années ont été alarmantes avec des débarquements anormalement faibles. L'expertise Ifremer de février 2018 sur le sujet faisait état de 3 pistes à approfondir pour expliquer cette situation :

- la dynamique des stocks, avec la hausse de la prévalence des parasites chez l'huître plate, la prédation accrue sur le pétoncle, mais les recrutements de jeunes individus restant élevés.



- Les maladies bactériennes, virales et parasitaires. La prévalence annuelle du parasite *Bonamia ostreae* est en augmentation sur le banc du Roz (18 % en 2017 contre 7 % en 2016) et celle du parasite *Marteilia refringens* est du même ordre que les années précédentes (38 % en 2017, 30 % en 2016).
- Les phycotoxines et les contaminants chimiques, constituant des facteurs aggravants.

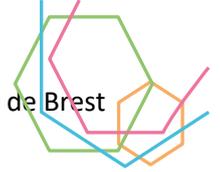
Il ressort, à ce stade, qu'il n'y pas d'explication univoque à la diminution de la ressource en huîtres plates et en pétoncles noirs mais plutôt une conjonction de facteurs aggravants dont le premier tient à l'état très faible des stocks.

IV.1.2. Conchyliculture

L'activité conchylicole dans la rade est fortement affectée par la médiocre qualité bactériologique du milieu, la pollution chimique et les épisodes de prolifération de phytoplanctons toxiques (Grouhel et al., 2019 ; Ifremer, 2020). L'article 52 du règlement d'exécution (UE) n° 2019/627 prévoit un classement des zones de production et de reparcage des coquillages vivants selon trois classes différentes (A, B et C) en fonction du niveau de contamination fécale. Ce classement est établi selon des critères de concentration de la bactérie indicatrice de contamination fécale *Escherichia coli* dans les coquillages. Le classement conditionne la commercialisation des coquillages, ceux issus de zones classées A peuvent être commercialisés directement, ceux issus de zones B doivent être purifiés avant commercialisation, ceux issus de zones C doivent être traités thermiquement ou reparcés. Le REMI (Réseau de contrôle microbiologique des zones conchylicoles) mis en œuvre par l'IFREMER permet d'estimer la qualité microbiologique des zones de production de coquillages. C'est sur la base de ces résultats que le préfet de département établit par arrêté le classement sanitaire des zones de production.

| N° Zone | Nom de la zone | Groupe | Nombre de données | Résultats sur la période (pourcentage de résultats par classe) | | | | | Classement en vigueur | Période de référence | Qualité microbiologique et chimique estimée | Mention particulière* |
|-----------|--|--------|-------------------|--|-----------|-------------|----------------|---------|---|----------------------|---|-----------------------|
| | | | | ≤230 |]230-700] |]700-4 600] |]4 600-46 000] | >46 000 | | | | |
| 29.04.010 | Eaux Profondes Rade de Brest | 2 | 26 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | A | 2018-2021 | A | cas 1 |
| 29.04.010 | Eaux Profondes Rade de Brest | 3 | 31 | 68 | 19 | 10 | 3 | 0 | B | 2018-2021 | B | cas 1 |
| 29.04.041 | Rivière de l'Elorn aval | 3 | 18 | 83 | 17 | 0 | 0 | 0 | B | 2019-2021 | A | cas 4 |
| 29.04.042 | Rivière de l'Elorn intermédiaire | 3 | 36 | 36 | 31 | 28 | 6 | 0 | B | 2019-2021 | B | cas 1 |
| 29.04.060 | Anse de Moulin Neuf | 3 | 27 | 81 | 19 | 0 | 0 | 0 | B | 2019-2021 | A | cas 4 |
| 29.04.070 | Anse de Penfoul | 2 | 37 | 27 | 35 | 27 | 11 | 0 | C 01/02 au 31/05 NC 01/06 au 31/01 | 2019-2021 | C | cas 1 |
| 29.04.070 | Anse de Penfoul | 3 | 17 | 82 | 0 | 12 | 6 | 0 | B | 2019-2021 | B | cas 1 |
| 29.04.080 | Rivière de Daoulas | 2 | 21 | 33 | 24 | 43 | 0 | 0 | B | 2019-2021 | Nombre de données insuffisant | cas 2 |
| 29.04.080 | Rivière de Daoulas | 3 | 19 | 79 | 16 | 5 | 0 | 0 | B | 2019-2021 | B | cas 1 |
| 29.04.090 | Anse de Saint Jean | 3 | 29 | 79 | 10 | 7 | 3 | 0 | B | 2018-2021 | B | cas 1 |
| 29.04.100 | Rivière de l'Hôpital Camfrout | 3 | 18 | 89 | 6 | 6 | 0 | 0 | B sauf moules | 2019-2021 | B sauf moules | cas 1 |
| 29.04.111 | Anse de Keroullé | 3 | 35 | 54 | 34 | 9 | 3 | 0 | B sauf moules | 2019-2021 | B sauf moules | cas 1 |
| 29.04.112 | Rivière du Faou | 3 | 18 | 72 | 11 | 11 | 6 | 0 | B sauf moules | 2019-2021 | B sauf moules | cas 1 |
| 29.04.130 | Rivière de l'Aulne et sillon des Anglais | 3 | 27 | 78 | 22 | 0 | 0 | 0 | A sauf moules | 2018-2021 | B sauf moules | cas 5 |

Tableau 34 : Evaluation de la qualité des zones de production conchylicole, 2022.



Dans ce tableau, le groupe 2 comprend les bivalves fouisseurs, c'est-à-dire les bivalves filtreurs dont l'habitat permanent est constitué par les sédiments (palourdes, coques, ...). Le groupe 3 comprend les bivalves non fouisseurs, c'est-à-dire les autres mollusques bivalves filtreurs (huîtres et moules notamment).

Les conclusions des études sur les profils conchylicoles montrent qu'il est très difficile d'établir quelles sources prédominantes de contamination sont responsables de la médiocre qualité bactériologique des coquillages. Il s'agit en effet très souvent d'une multitude de sources de contaminations qui se superposent sans qu'il soit toujours possible de hiérarchiser leurs contributions respectives, d'autant que beaucoup de ces rejets sont intermittents (eaux de ruissellement et assainissements non-collectifs défaillants par exemple).

En 2020, le bilan du REMI établit que presque toutes les zones sur estran de la rade de Brest se classent en mauvaise qualité bactériologique pour les huîtres, dont l'anse de Penfoul (secteur de Rossermeur) pour laquelle des analyses sont également pratiquées sur les palourdes et conduisent à un classement en très mauvaise qualité. La seule exception revient au secteur de Prat ar coachou, dans l'estuaire de l'Aulne, seul point de suivi classé en bonne qualité. Les résultats obtenus en 2020 témoignent ainsi d'une qualité microbiologique dégradée des coquillages, constat qui se répète depuis de très nombreuses années. Les producteurs doivent de ce fait purifier les coquillages avant de les commercialiser, ce qui engendre un surcoût pour la profession, et altère l'image du produit. De plus, le règlement sur l'agriculture biologique prévoit d'interdire l'appellation BIO aux produits issus de zones sanitaires classées B, ce qui impliquera l'impossibilité de ce type de production en rade de Brest. Les professionnels doivent également faire face à la pollution par le plomb détecté sur les moules dans le fond de rade et la fermeture de la zone concernée. La production mytilicole de la rade a été fortement réduite depuis 2013, elle est aujourd'hui quasi-nulle (com. pers. Comité Régional de Conchyliculture de Bretagne Nord). La présence d'algues vertes et de blooms de phytoplanctons toxiques contribue également à limiter les capacités de production.

En matière de chimie, la réglementation sanitaire prévoit deux possibilités : consommation autorisée des mollusques (zone classée) ou consommation interdite (zone non classée). Les zones de production et de reparcage de coquillages présentant un dépassement des teneurs maximales des contaminants chimiques spécifiquement établies dans le règlement (CE) n° 1881/2006 ne peuvent pas être classées. Depuis la révélation de cette contamination chimique des moules à l'embouchure de l'Aulne et dans l'est de la rade, la production et la consommation de moules est interdite dans le secteur.

De manière générale, la plupart des espèces de coquillages élevées subissent des taux de mortalité élevés avec des taux de recapture en forte baisse ces dernières années au terme du cycle d'élevage. La rentabilité économique des élevages s'en trouve affectée (com. Pers. Comité Régional de la Conchyliculture Bretagne Nord). A l'inverse, certaines espèces invasives comme l'huître creuse *Crassostrea gigas* entrent potentiellement en compétition trophique avec les espèces d'élevage (ex : fixation aux structures d'élevage, Com. Pers. Comité Régional de Conchyliculture de Bretagne Nord).

IV.1.3. Pêche à pied professionnelle

Une pêcherie de palourde avec une quinzaine de professionnels existait encore il y a quelques années. La pêche à pied professionnelle est à présent inexistante en Rade de Brest (S. Le Guennec, com. Pers.)



IV.2. Répercussions sur les activités de loisir

IV.2.1. La qualité des eaux de baignade

La qualité des eaux de baignade est généralement de nature excellente dans la rade de Brest selon les critères fixés par le ministère de la santé (Tableau 35). Une grande majorité des plages affiche des résultats excellents sur la période 2017-2020. C'est le cas de Kerric-Bihan (Argol), Kerdreolet, Tibidy (Hôpital-Camfrout), la Cale (Lanvéoc), Pointe du Bendy, Porsisquin, Yelenn (Logonna-Daoulas), Larmor, L'Auberslach, Porsguen, et Porsmeur (Plougastel-Daoulas). Certaines plages ont une tendance à l'amélioration, c'est le cas pour Saint-Anne-du-Portzic (Brest), Pen an Traon (Guipavas), Passage (Le Relecq-Kerhuon), et le Dellec (Plouzané). La plage du Moulin Blanc présente quant-à-elle une qualité suffisante à bonne, voire excellente, les résultats étant variables sur la période 2017-2020.

| Commune | Point de prélèvement | Type d'eau | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------|---------------------------|------------|------|------|------|------|
| BREST | MOULIN BLANC (1ER POTEAU) | mer | 14B | 14S | 14E | 14E |
| BREST | SAINTE-ANNE-DU-PORTZIC | mer | 14B | 14B | 14E | 14E |
| GUIPAVAS | MOULIN BLANC (COSTOUR) | mer | 14B | 14B | 14E | 14B |
| GUIPAVAS | PEN AN TRAON | mer | 14B | 14B | 14E | 14E |
| HOPITAL-CAMFROUT | KERDREOLET | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| HOPITAL-CAMFROUT | TIBIDY | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| LANVEOC | LA CALE | mer | 8E | 8E | 8E | 14E |
| LOGONNA-DAOULAS | POINTE DU BENDY | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| LOGONNA-DAOULAS | PORSISQUIN | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| LOGONNA-DAOULAS | YELENN | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| PLOUGASTEL-DAOULAS | LARMOR | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| PLOUGASTEL-DAOULAS | L'AUBERLACH (PORT) | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| PLOUGASTEL-DAOULAS | PORSGUEN | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| PLOUGASTEL-DAOULAS | PORSMEUR | mer | 8E | 8E | 8E | 8E |
| RELECQ-KERHUON (LE) | MOULIN BLANC (CANTINE) | mer | 14S | 14B | 14B | 14B |
| RELECQ-KERHUON (LE) | PASSAGE | mer | 14B | 14E | 14E | 14E |

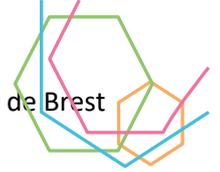
E Excellente qualité
 B Bonne qualité
 S Qualité suffisante
 I Qualité insuffisante
P Insuffisamment de prélèvements
 N Site non classé

Le nombre situé avant la lettre correspond aux nombres de prélèvements effectués dans l'année.

A partir de la saison balnéaire 2013, le mode de calcul du classement est modifié en application de la directive européenne 2006/7/CE.

Tableau 35 : Classement des eaux de baignade des plages de la rade de Brest pour les années 2017-2020, la légende de la classification est indiquée sous le tableau (extraits du site du Ministère de la Santé pour la qualité des eaux de baignade ; baignades.sante.gouv.fr).

Sur Brest métropole la qualité des eaux baignade s'est considérablement améliorée au cours des dix dernières années (Tableau 36). Cette amélioration est due à un effort de diagnostic soutenu du fonctionnement du réseau d'assainissement et des anomalies de type EU vers EP sur le réseau d'assainissement de façon à engager des actions prioritaires de mise en conformité sur les bassins versants des plages.



| Plages | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Le Minou | Suffisante | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne |
| Le Dellec | Suffisante | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Bonne | Excellente | Excellente | Excellente |
| Ste Anne du Portzic | Insuffisante | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Bonne | Bonne | Excellente |
| Le Moulin Blanc 1er poteau | Insuffisante | Insuffisante | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Bonne | Excellente |
| Le Moulin Blanc Costour | Insuffisante | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Bonne | Bonne | Bonne |
| Le Moulin Blanc Cantine | Insuffisante | Insuffisante | Insuffisante | Suffisante | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Bonne | Bonne |
| Le Passage | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Bonne | Bonne | Excellente |
| Pen An Traon | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Insuffisante | Insuffisante | Suffisante | Suffisante | Suffisante | Bonne | Excellente |
| Larmor | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente |
| Porsmeur | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente |
| Lauberlach | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente |
| Porsguen | Bonne | Bonne | Bonne | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente | Excellente |

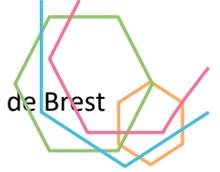
Tableau 36 : Evolution de la qualité des eaux de baignades sur 12 plages de la rade de Brest de 2010 à 2020.

IV.2.2. Pêche à pied

La surveillance des zones fréquentées en pêche à pied est assurée conjointement par l'Agence Régionale de Santé et l'Ifremer en Bretagne (Figure 164).

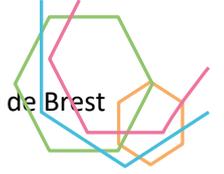


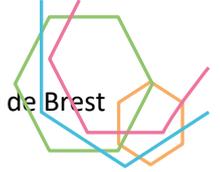
Figure 164 : Carte de situation des sites de surveillance des zones de pêche à pied au 06/09/2022 sur pecheapied-responsable.fr.



REFERENCES PARTIE 4

- Archives du Service Historique de la Défense à Brest, 2P9/35. s. d.
- Bilan 2019 de l'état écologique des poissons pêchés en France métropolitaine. 2020. Ifremer.
- Boulben, S. 2018. Evaluation de la qualité des zones de production conchylicole. RST.ODE.Littoral.LER/BO-18-003. Ifremer.
- Cotten, C. 2018. La gestion des gisements de coquilles Saint-Jacques dans le Finistère. Université de Bretagne Occidentale.
- Grouhel, A., J. Knoery, et P. Marchand. 2019. Programme de surveillance chimique sanitaire 2018 Bilan scientifique et technique définitif. r n°17/2216082. Ifremer.
- Guérin-Ganivet, J. 1911. Notes préliminaires sur les Gisements de Mollusques comestibles des Côtes des France. La rade de Brest. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco, n°195.
- Impacts socio-économiques des problématiques environnementales en rade de Brest. 2020. Présenté à Impacts socio-économiques des problématiques environnementales en rade de Brest.
- Jézéquel, S. 2017. Huîtres plates et pétoncles noirs. Hécatombe en rade de Brest, 2017, Le Télégramme édition.
- Statistique des pêches maritimes. 1866. Paris, Imprimerie Nationale.
- Statistique des pêches maritimes. 1901. Paris, Imprimerie Nationale.





V. GOUVERNANCE ET ACTIONS DE RESTAURATION

V.1. Les acteurs de la rade et de ses bassins versants

La gestion de l'eau et des milieux aquatiques est à la croisée des dimensions techniques, sociales et économiques. Cette gestion oblige à une approche transversale sur un ensemble de domaines d'intervention : risque, pollution, distribution de l'eau potable, dépollution des eaux usées, usages de l'eau, protection des milieux naturels, etc. Ces thématiques variées justifient l'intervention d'acteurs multiples dans la gestion de l'eau. Parmi ces acteurs, on compte les pouvoirs publics, les collectivités et les élus locaux, les acteurs économiques et les associations, les scientifiques. Les responsabilités s'exercent à des échelles géographiques différentes : Europe, France, bassin hydrographique Loire-Bretagne, bassin hydrographique plus restreint (ex : SAGE), région Bretagne, départements du Finistère et des côtes d'Armor, intercommunalités, communes.

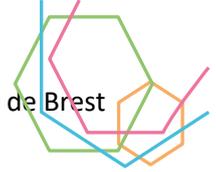
D'un point de vue législatif, l'Union Européenne établit des directives. Les états-membres, dont la France, sont tenus de transposer ces actes juridiques dans leur législation nationale. La directive cadre sur l'eau (DCE) détermine que « L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel ». Une trentaine de directives ont été adoptées pour encadrer les différents domaines de l'eau (qualité des eaux de consommation, protection contre les inondations, gestion des eaux usées, milieux marins...). Au niveau national, le Ministère de la Transition écologique organise l'intervention de l'État avec d'autres ministères impliqués (santé, agriculture, etc.). Le préfet de bassin, en lien avec les préfets de département, anime la politique de l'État en matière de police de l'eau et de gestion des ressources en eau. Il approuve le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) élaboré par le Comité de bassin. La réglementation est mise en œuvre à l'échelon du bassin hydrographique et la police de l'eau contrôle son respect. Sous l'autorité du préfet, la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), l'agence régionale de santé (ARS) et la direction départementale du territoire (DDTM) mettent en œuvre réglementairement et techniquement la politique de l'État.

Le Comité de bassin rassemble les représentants des pouvoirs publics, des collectivités territoriales, des usagers économiques et associatifs pour décider de la stratégie en faveur de la protection de l'eau et des milieux aquatiques et élabore un plan de gestion pour six ans en cohérence avec les politiques européenne et nationale de gestion de l'eau.

L'Agence de l'Eau, en lien avec les services de l'État, le conseil régional et les conseils départementaux, met en œuvre la stratégie définie par le Comité de bassin. Elle consent des prêts et des subventions aux collectivités et acteurs économiques et agricoles qui s'engagent à mettre en place des actions (production d'eau potable de qualité, dépollution des eaux, entretien et restauration des milieux aquatiques, etc.). Les fonds destinés à ces incitations financières proviennent des redevances que l'agence de l'eau collecte auprès des usagers de l'eau (consommateurs, activités économiques) qui, selon le principe pollueur-payeur, s'en acquittent au prorata de leur utilisation d'eau et de leur impact environnemental.

Les collectivités territoriales, responsables de la mise en œuvre locale assurent le lien entre politique d'aménagement du territoire et gestion de l'eau. Le Conseil régional et les Conseils départementaux apportent leur concours technique et financier aux communes.

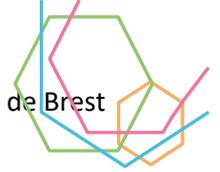
Acteurs économiques et associations sont force de proposition et relais d'opinion. Ainsi, les industriels et les agriculteurs sont responsables de leurs installations de dépollution et de prélèvement. Les associations d'usagers, de consommateurs ou de protection de l'environnement ainsi que des fédérations professionnelles sont associées aux décisions au sein du Comité de bassin, des



Commissions Locales de l'Eau (CLE). Enfin, les organismes et institutions scientifiques constituent des acteurs clés permettant la mobilisation des connaissances utiles à l'appréciation des enjeux liés à la gestion de l'eau (Tableau 37).

| STRUCTURE |
|---|
| Union Européenne |
| Etat Français |
| Préfecture maritime de l'Atlantique |
| Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) |
| Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) |
| Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) |
| Centre d'Etudes et Expérience en Risques, Environnement, Mobilité et Urbanisme (CEREMA) |
| Institut de Radioprotection et de sûreté Nucléaire (IRSN) |
| Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) |
| Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) |
| Institut national de l'Information Géographique (IGN) |
| Météo-France |
| Museum national d'histoire naturelle |
| Office Français de la Biodiversité (OFB) |
| Conservatoire du littoral |
| Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE) |
| Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'Energie (ADEME) |
| Centre National de la Recherche Scientifique |
| Bureau de Ressources Géologiques et Minières (BRGM) |
| Agence de l'Eau Loire Bretagne (AELB) |
| Conservatoire botanique national de Brest |
| AGROCAMPUS OUEST |
| Groupe d'étude des invertébrés armoricains (GRETIA) |
| Agence régionale de la santé (ARS) |
| Chambre Régionale Agriculture de Bretagne (CRAB) |
| Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) |
| Conseil Régional (CR) |
| Centre de ressources et d'expertise scientifique sur l'eau de Bretagne (Creseb) |
| Centre d'étude et de valorisation des algues - CEVA |
| Centre de Géocologie littorale (CGEL) |
| Parc Naturel Régional d'Armorique (PNRA) |
| Observatoire de l'environnement en Bretagne (OEB) |
| Eau et Rivières de Bretagne |
| Groupe Mammalogique Breton (GMB) |
| Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) Bretagne |
| Chambre de commerce et de l'Industrie (CCI) |
| Stations biologiques marines (Concarneau, Dinard, Paimpont, Roscoff) |
| GIS HomMer |
| Comité Régional de la Conchyliculture (CRC) Bretagne-Nord |
| Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de Bretagne |
| Bretagne vivante |
| Etablissement public foncier de Bretagne |
| Université de Bretagne Occidentale, Université Bretagne sud, Universités Rennes 1 et Rennes 2 |
| Syndicat de Bassin de l'Aulne (EPAGA) |
| Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) |
| Conseil départemental (CD29) |
| Chambre des métiers |
| Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins du Finistère (CDPMEM 29) |
| Fédérations de Chasseurs 29 |
| Syndicat de Bassin de l'Elorn |
| Parc Naturel Marin d'Iroise (PNMI) |
| Brest métropole, communautés de communes, communes |
| Agence d'Urbanisme de Brest-Bretagne (ADEUPA) |
| Association Agréée de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques (PPMA) |
| Association Pour l'Etude et la Conservation des Sélaciens (APECS) |
| industriels, coopératives privées, agriculteurs, pisciculteurs... |

Tableau 37 : Structures et acteurs intervenant dans différentes sphères de la gestion de l'eau et des milieux naturels. L'échelle d'action pour chaque structure est indiquée par une couleur (de haut en bas : vert, Européen ; Bleu, National ; Jaune Inter-régional ; orange, Régional ; gris, inter-départemental ; bleu, départemental ; vert, local ; gris, autre)



V.2. Programmes de conservation – restauration

V.2.1. Côté Terre

V.2.1.1. Programme zéro phyto

L'entretien des espaces urbains utilise parfois une quantité importante de produits phytosanitaires, en majorité des herbicides (entretien des espaces verts pour des raisons esthétiques, désherbage de la voirie pour des raisons de sécurité...). Ces espaces dont le revêtement est le plus souvent imperméable favorisent le ruissellement des polluants et leur transfert vers les cours d'eau. La diminution puis la suppression de l'usage des produits pesticides par les collectivités publiques constitue un levier d'action important pour la protection de la ressource en eau. Le SAGE de l'Elorn avait fixé pour 2015:

- La suppression totale de l'emploi d'herbicides sur les zones imperméabilisées,
- La suppression totale de l'emploi de tout « produit phytosanitaires de synthèse » sur au moins la moitié des communes du territoire du SAGE.

Depuis le 1er janvier 2017, la loi Labbé impose aux collectivités l'interdiction d'usage des produits phytosanitaires. Les cimetières et terrains de foot ne sont toutefois pas concernés par cette loi. Pour atteindre les objectifs du SAGE, une charte communale de désherbage a été mise en place afin de sensibiliser les collectivités à la problématique et engager les communes vers une démarche zéro-phyto (Figure 165). Depuis la loi Labbé, une animation reste nécessaire afin de conseiller sur les pratiques alternatives au désherbage chimique et inciter l'arrêt d'utilisation sur les cimetières et terrains de foot.

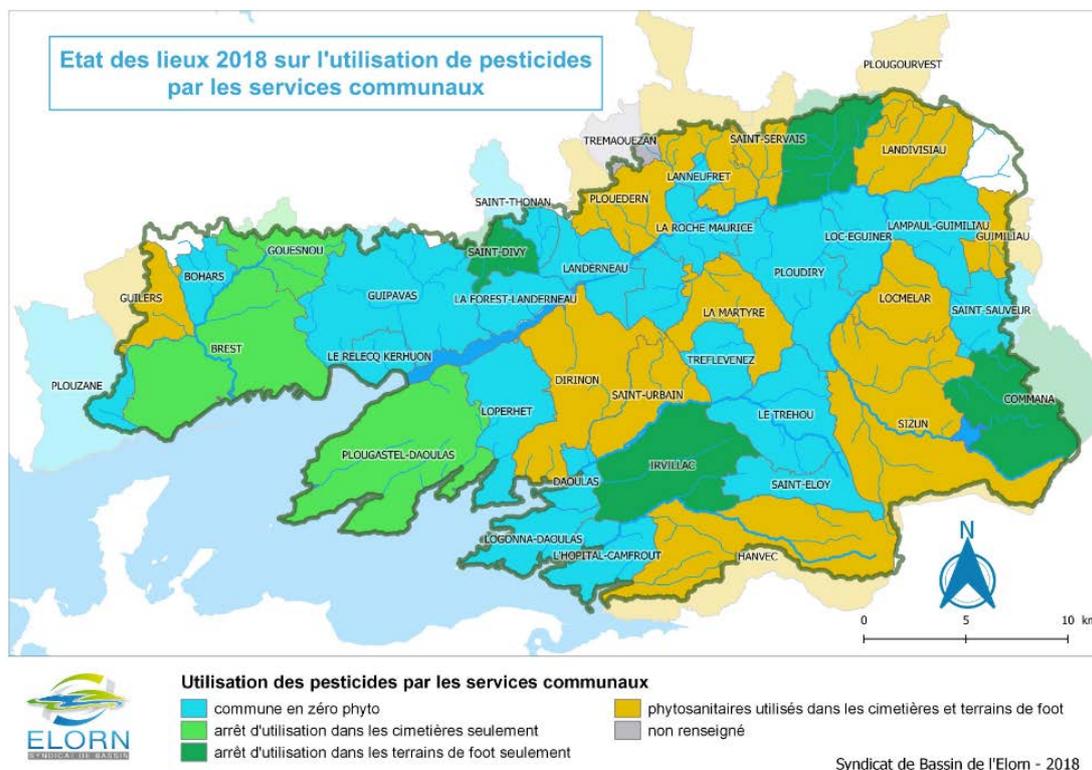
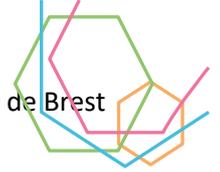


Figure 165 : Etat des lieux 2018 sur l'utilisation de pesticides par les services communaux (SAGE de l'Elorn)



V.2.1.2. Gestion bocagère

Les haies et talus font partie des aménagements considérés comme des «zones tampons» ou «protection aval» pour lutter contre les transferts de polluants (pesticides, phosphore, nitrate...). Les haies et talus bien entretenus et correctement localisés :

- Constituent un obstacle à la progression des particules de sol érodées des parcelles vers le réseau hydrographique,
- Contribuent à redistribuer les sols dans les versants (accumulation en amont et érosion en aval de la haie-talus). Dans la gouttière ménagée en amont du talus, où les particules de sols sont freinées et stockées, il va se produire un phénomène de rétention des produits phytosanitaires et de stockage du carbone,
- Ralentissent les flux d'eau et d'éléments associés et vont ainsi favoriser leur infiltration verticale. Une fois les flux ralentis, les molécules de produits phytosanitaires sont susceptibles d'être adsorbées sur les particules de matières organiques et d'être biodégradées,
- Prélèvent dans le sol une part significative d'eau et de nutriments associés (assimilation par la végétation).

Les Syndicats de Bassin de l'Elorn et de l'Aulne portent, avec le soutien financier du programme Breizh Bocage, diverses actions en faveur du bocage.

Depuis 2009, le syndicat de bassin versant de l'Elorn s'est inscrit dans un projet d'aménagements bocagers (Figure 166). Porté sur deux premiers secteurs prioritaires, le Breizh Bocage 1 était un programme de reconstitution du bocage. Il avait pour objectif la création et la reconstitution de nouvelles haies bocagères ou talus ou talus boisés, dans le cadre d'opérations groupées au sein des exploitations agricoles. Le but de ce programme n'était pas de réaliser le plus grand nombre de kilomètres de bocage mais bien de construire un bocage cohérent avec les pratiques agricoles en place et qui réponde aux besoins en termes de qualité d'eau mais également de biodiversité, de paysage. C'est pourquoi les propositions réalisées sur le terrain ont été discutées avec chaque exploitant. Au total, 70 exploitations ont été diagnostiquées (10 % des exploitations du territoire) soit 4800 ha : ce sont 37,5 km de talus et de haies qui ont été créés. Sur la programmation 2015/2020, quatre territoires prioritaires ont été privilégiés. Ils sont présentés dans la carte suivante. Tous les exploitants des territoires seront contactés. Un diagnostic individuel leur sera proposé. Pour les exploitants qui le souhaitent, il sera possible d'engager avec eux une réflexion plus poussée sur la gestion de leur bocage et les possibilités de valorisation.

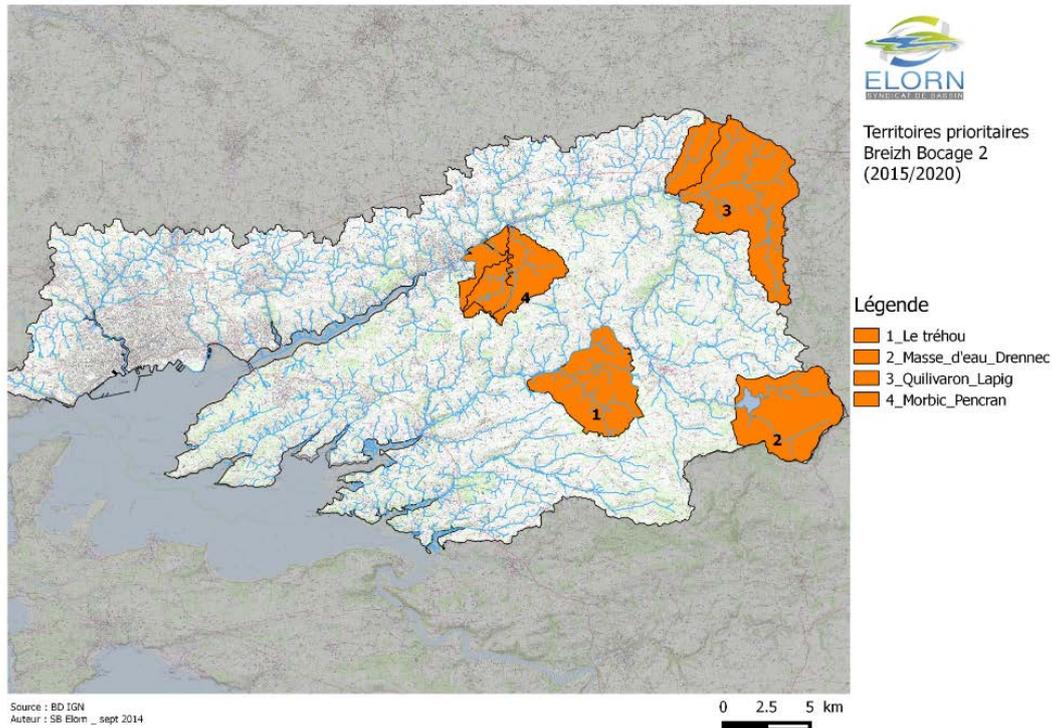
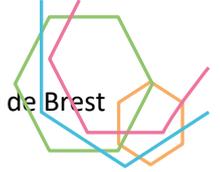


Figure 166 : Territoires prioritaires Breizh Bocage 2 (2015/2020). Syndicat de Bassin de l'Elorn.

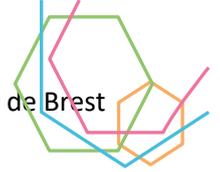
L'aménagement ou la réimplantation de haies et talus, pour leurs fonctions hydrologiques et de conservation des sols, doit s'inscrire dans une optique d'organisation spatiale et d'optimisation du réseau bocage à l'échelle du bassin versant.

Ces programmes de préservation et de restauration ne sont pas les seuls sur les bassins versants de la rade de Brest. Les programmes prolittoral (CEVA) ou encore la directive nitrates visent à lutter contre le transfert de nutriment sur le territoire et à lutter notamment contre les marées vertes.

V.2.1.3. Outils de protection Natura 2000

Les outils de protection existent pour les zones Natura 2000 (Elorn, Aulne, Rade de Brest) ainsi que pour la Réserve naturelle régionale géologique de la presqu'île de Crozon. La partie sud de la rade de Brest est une aire marine protégée, classée au titre de Natura 2000 depuis 2004. La rade de Brest accueille 2 sites Natura 2000 : La ZSC (directive habitats) « Rade de Brest – Estuaire de l'Aulne » (FR 5300046) - 9239 ha – 70% marine ; et la ZPS (directive oiseaux) « Rade de Brest : Baie de Daoulas, Anse de Poulmic » (FR5310071) – 8076 ha – 99% marine. Le Document d'Objectifs (DOCOB) a été approuvé par les préfetures Maritime et du Finistère par arrêté le 22 janvier 2015. Le Parc naturel régional d'Armorique est opérateur local de ces sites et a notamment pour mission de préserver et restaurer les habitats d'intérêt communautaire. Ces actions sont renforcées sur les habitats marins (bancs de maërl, herbiers de zostères, champs de blocs et vasières) depuis 2018 grâce au projet Life intégré Marha (Marine Habitats) dont le Parc naturel régional d'Armorique est bénéficiaire. Le Life Marha poursuit l'objectif de rétablir et maintenir le bon état de conservation des habitats naturels marins. Une liste non-exhaustive des actions menées sur le site Natura 2000 de la rade de Brest :

- Coordination et mise en œuvre d'actions de suivis scientifiques sur les différents habitats (maërl avec l'IUEM, champ de blocs, bientôt vasières...), suivis avifaune hivernante et nicheuse, suivis chiroptères ;

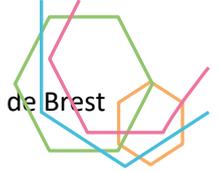


- Déploiement de protocoles en sciences participatives sur les herbiers de zostères (Observatoire Participatif des Herbiers de Zostères et Syngnathidés - OPHZ'S) en partenariat avec des plongeurs ;
- Actions pêche à pied de loisir ;
- Actions de restauration menées :
 - Chantiers de lutte contre la Spartine Américaine sur les prés salés et vasières de la rade de Brest
 - Opérations de retrait d'épaves sur les prés salés et vasières de la rade de Brest
 - Opérations de retrait de déchets sur des bancs de maërl à haute valeur patrimonial (opérations menées avec l'Office Français de la Biodiversité)
 - Assistance aux communes et aux associations de plaisanciers pour le déploiement de systèmes de mouillages de moindre impact sur bancs de maërl et herbiers de zostères
- Actions de sensibilisation (usagers, élus, scolaires, professionnels...) : exemples : mises en place d'animations de découverte de la biodiversité de la rade de Brest, référent aire marine éducative pour l'école primaire de Logonna –Daoulas, déploiement d'outils de sensibilisation plaisance et pêche à pied de loisirs notamment ;
- Actions pour la prise en compte des habitats marins dans les politiques locales, régionales ou nationales, notamment via le réseau des aires marines protégées.

V.2.2. Côté Mer

V.2.2.1. Analyse de risque Natura 2000

En application des directives européennes « Oiseaux » (2009/147/CE) et « Habitats » (92/43/CEE), l'article L.414-4 du code de l'environnement prévoit que les activités de pêche professionnelle soient dispensées d'évaluation d'incidences Natura 2000 dès lors qu'elles font l'objet d'une analyse de risque de porter atteinte aux objectifs de conservation du site Natura 2000, du fait de la spécificité de cette activité, gérée à l'échelle des flottilles de pêche et non du porteur de projet (ie de l'armateur). Ces analyses sont réalisées lors de l'élaboration, ou de la révision, des DOCOB des sites Natura 2000 où s'exercent ces activités de pêche. Si un risque de porter atteinte aux objectifs de conservation du site est identifié à l'issue de l'analyse, les activités de pêche concernées doivent faire l'objet de mesures réglementaires afin de réduire la pression de l'activité sur l'habitat ou l'espèce concerné. A moyen ou long terme, si l'évolution des activités ou l'amélioration des connaissances le justifient, au moment de la révision du DOCOB notamment, cette analyse peut être complétée et/ou mise à jour. Deux méthodologies nationales ont été élaborées pour garantir la réalisation d'analyses de risque homogènes à l'échelle du réseau des sites et favoriser la cohérence des mesures de gestion à l'échelle nationale. Elles concernent respectivement les habitats et les espèces d'intérêt communautaire. La mise en œuvre de ces deux méthodes permettent de conclure, pour chacun des sites Natura 2000, à un niveau de risque pour chacun des couples engin*espèce ou engin*habitat couverts par le site en question. Un guide technique, élaboré par la Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires et par la Direction générale des affaires maritimes, de la pêche et de l'aquaculture (DGAMPA) du secrétariat d'Etat à la Mer, fournit le cadre de mise en œuvre de ces deux méthodes. Il est accompagné d'un logigramme en illustrant la gouvernance.



Les dégradations possibles des habitats / espèces d'intérêt communautaires par interactions avec les activités de pêche professionnelle sont donc étudiées dans le cadre de Natura 2000 et de sa gouvernance. En Finistère, notons l'implication de l'OFB et du Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevage marin pour la réalisation de ce travail abouti pour les sites Natura 2000 de la Baie de Morlaix, Penmarc'h, Glénan et Trévignon.

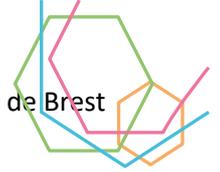
V.2.2.2. La coquille Saint-Jacques

L'histoire de la rade de Brest est intimement liée à la pêche de la coquille Saint-Jacques, et ce dès la fin du 19^{ème} siècle (cf. IV.1). Plusieurs programmes et initiatives participent ou ont participé à la gestion de la ressource en coquille Saint-Jacques en rade de Brest et au-delà. Parmi ces initiatives, **l'écloserie du Tinduff** (Figure 167) a été créée à l'initiative des pêcheurs de la rade de Brest en 1983. Alors qu'il se pêchait jusqu'à 2000 tonnes des coquilles Saint-Jacques par an dans les années 50-60 (début de la mécanisation de la pêche), la production est tombée à 320 tonnes à la fin des années 70. Cette chute s'explique par les effets combinés de la surpêche et de conditions climatiques défavorables (hivers rigoureux de 62-63 notamment). Les pêcheurs représentés par leur structure professionnelle, aidés des scientifiques (IFREMER° et des collectivités locales, ont créé l'écloserie du Tinduff afin de reconstituer le stock de coquilles Saint-Jacques. Il a fallu 15 ans de recherches avant de maîtriser les différentes phases (production de juvéniles et semis dans le milieu naturel). Cette démarche avant-gardiste est aujourd'hui citée en exemple au niveau national et international comme exemple de gestion de la ressource. Les juvéniles sont acheminés de Granville jusqu'à La Rochelle pour le réensemencement des gisements coquilliers (www.ecloserie dutinduff).



Figure 167 : (A) et (B), préparation des solutions nutritives pour les coquilles Saint-Jacques ; (C) bac de croissance des juvéniles de coquilles Saint-Jacques ; (D) juvéniles de coquilles

Le projet **COMANCHE** (Interactions écosystémiques et impacts anthropiques dans les populations de COquilles Saint-Jacques de la MANCHE) a participé à l'amélioration de la connaissance de la coquille Saint-Jacques à l'échelle de l'ensemble de la Manche, à travers une approche écosystémique des



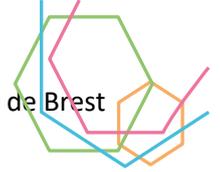
pêcheries, en faisant appel à un large éventail de disciplines scientifiques (physique, chimie, génétique, écologie, géostatistique, modélisation, économie...) : localisation spatiale des gisements, connectivité entre gisements par dérive larvaire, variabilité des traits de vie et du recrutement, dynamique des communautés planctoniques et déterminisme des efflorescences d'algues toxiques, place de ce filtreur dans le réseau trophique, développement des espèces invasives, dont la crépidule, impact de son exploitation sur le substrat et enfin analyse des principaux circuits d'approvisionnement de cette espèce. Ce projet s'inscrit dans une logique de développement durable d'une pêcherie, soutenue par l'administration, les collectivités territoriales et les associations professionnelles (Foucher, et al., 2015).

Selon les différentes actions de recherche entreprises, des méthodes numériques de modélisation, de la cartographie, des techniques de biologie moléculaire, l'utilisation de marqueurs génétiques, des mises en culture en laboratoire, etc ... ont été utilisées. Pour cela, le projet COMANCHE s'est appuyé à la fois sur l'utilisation de données in situ, à partir de séries chronologiques de données biologiques acquises soit lors de campagnes scientifiques à la mer menées depuis plus de 30 ans par l'Ifremer, soit obtenues directement dans le cadre du projet, mais également sur des données issues du flux déclaratif (statistiques de pêche) des navires de pêches (Foucher, et al., 2015).

Une carte de la connectivité entre les différents gisements a été proposée, mettant en évidence trois unités fonctionnelles majeures (baie de Seine, golfe normano-breton et côtes sud-ouest de l'Angleterre). Par ailleurs, il a été montré que l'influence de la température de surface et des grands cycles climatiques explique les fluctuations inter-annuelles du recrutement du stock de la baie de Seine, vraisemblablement en raison de l'effet de la température sur la gamétogénèse et les premiers stades du cycle de vie. Des avancées significatives ont été réalisées pour la compréhension de l'apparition des phénomènes algaux toxiques qui influencent grandement la stratégie d'exploitation de l'espèce : plus de 70 souches de 4 espèces de *Pseudo-nitzschia* différentes ont été identifiées à partir d'échantillons prélevés en baie de Seine et ont été mises en culture. Une biopuce permettant l'identification rapide des différentes espèces de *Pseudo-Nitzschia* a été mise au point et pourra constituer un outil majeur de surveillance de ces espèces toxiques. Un modèle d'écophysiologie individuel ainsi qu'un modèle de dynamique des populations de l'espèce ont été mis au point. Ces modèles ont été couplés à un modèle d'écosystème afin d'être spatialisés à l'échelle de la Manche. L'analyse économique des pêcheries pose la question de l'adéquation entre les mesures de gestion et le fonctionnement du marché dans un contexte global de progression importante de la production de coquilles en Manche (Foucher, et al., 2015).

Le projet **MASCOET** propose d'acquérir un ensemble de connaissances scientifiques lié (1) au déterminisme des blooms toxiques de *Pseudo-nitzschia* et de la toxicité associée ; (2) aux processus de contamination et décontamination en acide domoïque, neurotoxine amnésiante, responsable du syndrome ASP (Amnesic Shellfish Poisoning) chez la coquille Saint-Jacques et le pétoncle noir ; (3) aux performances biologiques et à la dynamique de population du pétoncle en relation avec la qualité de son habitat.

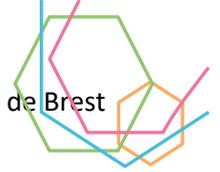
Ce projet devrait proposer des outils d'aide à la gestion des pêcheries de coquillage à l'échelle nationale par les comités des pêches partenaires du projet. Les connaissances acquises dans ce projet visent à faire bénéficier l'ensemble de la flottille française. La rade de Brest fait figure de site atelier principal pilote car elle constitue un exemple typique d'écosystème côtier fortement exploité pour ses coquillages et soumis à de multiples contraintes environnementales. D'autres sites tels que ceux de Charente Maritime ou de la baie de Seine sont associés. Le projet est financé par France Filière Pêche (FFP) et répond à deux axes thématiques de l'appel à projet : « Comprendre le fonctionnement des écosystèmes » & « Développer des outils de la gestion des ressources halieutiques marine ». Un financement complémentaire est apporté par Brest Métropole.



Le projet est piloté par l'Ifremer (Laboratoire d'Ecologie Benthique Côtière - LEBCO). Il associe en partenariat 6 laboratoires de l'Ifremer, l'Université de Brest (IUEM-LEMAR), 7 comités des pêches, l'écloserie du Tinduff et les SAGEs de l'Aulne et de l'Elorn.

Le projet **ESTOC** (évaluation des stocks de Coquille Saint-Jacques) vise à mettre en place une évaluation précise des stocks de coquille Saint-Jacques afin d'améliorer au mieux la gestion des stocks de ces espèces et ainsi pérenniser les filières emplois dans le temps. Le projet a pour but d'amener une visibilité aux pêcheurs et aux gestionnaires pour une meilleure gestion et compréhension des gisements de coquilles sur la zone à l'échelle du pays de Brest et plus largement sur le département du Finistère. Il s'agit de créer une synergie entre pêcheurs, organisation professionnelle et scientifiques, comme cela a déjà pu se faire sur d'autres projets (Langoustes Rouges, bar, homards.). La principale vocation de l'étude est d'évaluer précisément les biomasses totales et exploitables des deux gisements concernés. L'étude doit également permettre d'évaluer l'impact du recrutement naturel sur les stocks et la part des coquilles issue des semis au sein de la biomasse totale des Saint-Jacques. La collecte des données se fera par des navires de pêche qui effectueront des prospections sur des stations préalablement définies par les scientifiques, le comité des pêches et les pêcheurs (utilisation de leurs connaissances empiriques). Ces prospections doivent notamment permettre d'acquérir de l'information sur les biomasses des gisements, la répartition des individus dans les cohortes et la répartition de la ressource au sein du gisement. Un travail d'échantillonnage sera également mené durant les campagnes de pêche sur les CSJ commerciales afin d'obtenir des moyennes de taille et d'âge pour les coquilles commercialisées (ESTOC, 2019).

Le projet **DECIDER** vise, au vu des enjeux pour la filière pêche, à se doter de moyens d'évaluation de son activité. Ces outils devront lui permettre de proposer de façon concertée les actions à mettre en place avec les professionnels sur le terrain. En répondant à cette demande opérationnelle de la profession, le projet DECIDER vise à : i) Comprendre et évaluer la diversité des situations sur le terrain (diversité des engins, diversité des habitats, mise en perspective avec les autres activités humaines, les conditions environnementales et tout élément lié au contexte des sites...) ; ii) Partager à l'échelle de la façade atlantique une méthodologie commune et robuste, impliquant les professionnels pour évaluer l'incidence de la pêche sur son milieu. Les besoins des structures professionnelles de la façade atlantique et le cas d'étude drague/maërl en Bretagne sont le support pour construire et tester cette méthodologie ; iii) Agir en mettant au cœur du projet les pêcheurs professionnels. L'objectif est de les impliquer pour qu'ils s'approprient les enjeux de l'analyse de risque et qu'ils soient force de proposition. En rade de Brest, Le projet a été présenté en Commission Bivalves. Par la suite, un groupe de travail avec les pêcheurs concernés a eu lieu le jeudi 17 mars 2016. Ce groupe de travail a permis de présenter le projet, d'identifier les pêcheurs potentiellement intéressés pour participer à l'étude qui permettra de différencier les interactions selon le type de drague. Un autre groupe de travail a eu lieu avec les professionnels de Brest et des Glénan pour présenter les premiers résultats des études. L'association des professionnels permettra également de recueillir leurs connaissances empiriques et leurs propositions de gestion (ex. jachère tournante). Ce site a été le sujet de la phase 3, détaillée par la suite. Les enquêtes terrain et sociologiques ont permis de faire émerger quelques éléments de compréhension de la dynamique sociologique du site : - Le site est considéré comme étant extrêmement riche en espèces de poissons et de coquillages. - Le maërl est un élément important de l'histoire de la rade de Brest. Il existe un fort lien terre-mer avec l'historique des extractions pour un usage agricole. - L'activité coquillière est une pratique historique, bien que largement en déclin depuis une décennie. Elle est en équilibre précaire du fait de fermetures sanitaires et de l'état des stocks de coquillages. Pour assurer une stabilité de la ressource, l'écloserie du Tinduff a été créée. - Les scientifiques jouent un rôle important dans la prise de décision pour les zones Natura 2000 (DECIDER, 2017).



V.2.2.3. L'huître plate

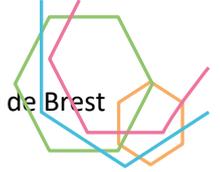
Les conchyliculteurs ont initié, entre 2011 et 2014, un programme de recherche (PERLE, programme d'expérimentation et de recherche sur l'huître plate *Ostrea edulis*) qui a réuni des producteurs et des scientifiques des régions Bretagne et Pays de la Loire dans le but d'améliorer les connaissances sur la biologie et l'écologie de cette espèce (Figure 168). Son objectif est d'assurer une production durable d'huîtres plates et de restaurer son habitat naturel dans ces deux régions (Duchêne et al., 2016). Il existe des différences qu'il faut comprendre entre les deux derniers écosystèmes favorables au captage de l'huître plate en France. Le naissain de la baie de Quiberon est généralement de meilleure qualité que celui de la rade de Brest, car il n'est pas infecté par le parasite *Marteilia*, mais il est dix fois moins abondant et il est apparu que surmonter ce handicap était la première étape à franchir dans cette quête de connaissance.

L'écosystème de la rade de Brest représente un lieu de vie idéal pour l'huître plate : les temps de résidence des masses d'eau y sont assez longs pour assurer l'intégralité de son cycle de développement et les nombreuses anses, baies et estuaires, de nature sablo-vaseuse et riches en supports de fixation pour les larves, sont autant d'habitats potentiels pour cette espèce. De ce fait, malgré la pression de pêche et les parasitoses, quelques bancs d'huîtres plates persistent, mais à de faibles densités. Ces habitats favorables permettent aux adultes de produire chaque année une quantité suffisante de larves et d'assurer ainsi le délicat renouvellement des populations et la pérennité de l'espèce. Toutefois, pour élucider le mystère des fortes émissions de larves d'huîtres plates en rade de Brest, il a fallu d'abord connaître la répartition géographique des bancs naturels, puis reproduire la dispersion larvaire à l'aide d'un modèle numérique.

Les premiers résultats ont indiqué que les zones d'émission larvaire les plus probables pour alimenter les secteurs de captage n'abritent pas de stocks importants d'huîtres adultes. Une autre approche a donc été testée : en 2012, plusieurs structures de collecte ont été immergées en différents points de la rade de Brest, sur lesquelles la densité de naissain a été évaluée. Avec cet instantané du captage et en faisant l'hypothèse qu'un seul banc fournit la majorité du naissain, le modèle a finalement pointé les bancs présents dans une zone militaire d'accès très restreint et interdite à la pêche comme source d'émission des larves : cette zone agirait donc comme un cantonnement et permettrait le maintien de populations relativement importantes en rade de Brest.

Le projet PERLE a également mis en évidence que ce site de captage, si favorable, est malheureusement un secteur présentant des caractéristiques plus estuariennes que les sites océaniques de la baie de Quiberon. Or les masses d'eau estuariennes sont généralement plus confinées, plus chaudes et moins salées que les masses d'eau océaniques et cela favorise le développement du parasite *Marteilia*. C'est cette caractéristique qui pourrait expliquer la moins bonne survie du naissain collecté dans la rade de Brest. Or, plus il y a d'huîtres plates en bonne santé dans le milieu, plus l'abondance de larves est grande. Des améliorations portant sur la fécondité de cette espèce, sa croissance et sa résistance aux maladies pourraient être apportées grâce à des croisements de géniteurs d'origines variées, afin de sélectionner des individus robustes mais conservant une diversité génétique suffisante.

Pour assurer sa croissance, l'huître plate doit se trouver dans des conditions environnementales compatibles avec sa biologie et bénéficier d'un apport suffisant en particules alimentaires. Elle se nourrit par filtration (entre 5 et 10 l/h) de matières en suspension dans la colonne d'eau, principalement de phytoplancton et de petit zooplancton. Dans le cadre du projet PERLE, des observations en plongée laissent penser que le rôle du microphytobenthos est probablement un élément clé dans son alimentation. Lors du processus de filtration, des composés chimiques néfastes pour la croissance et la santé de l'huître peuvent aussi être absorbés. Les zones les plus favorables au



bon développement des bancs sont donc riches en plancton, bien éclairées et peu profondes (< 10 m), oxygénées et non polluées.



Figure 168 : Préparation du système de filtration d'eau de mer à l'aide d'une pompe et d'un filet à plancton pour la pêche de larves d'huîtres plates (projet PERLE ; Duchêne et al., 2016).

Tout comme certains pays européens l'ont déjà fait, instaurer des mesures de gestion et d'exploitation durables des bancs naturels d'huîtres plates tout en encourageant d'autres études sur cette espèce ingénieuse permettrait de pérenniser le captage et donc de relance la production. Ce type d'action, poursuivant des objectifs de conservation compatibles avec les intérêts des professionnels, pourrait peut-être faire retrouver à l'huître plate le chemin des assiettes des consommateurs. Il faut cependant s'armer de patience, car une reconstitution Une des actions du projet PERLE : préparation du système de filtration d'eau de mer à l'aide d'une pompe et d'un filet à plancton pour la pêche de larves d'huîtres plates (Duchêne et al., 2016).

Le projet FOREVER a également pour objectif la restauration de l'huître plate. Il s'est déroulé en trois phases sur la période 2018-2020 :

- Phase 1: Inventaire et cartographie des populations relictuelles d'huîtres plates de Bretagne (janvier 2018 à septembre 2020)
- Phase 2: Etude des mécanismes écologiques impliqués dans la dynamique d'un banc d'huître plate (de janvier 2018 à septembre 2020)
- Phase 3: Réalisations d'actions pilotes transposables: enrichissement coquiller, semis de naissain, et développement de récifs artificiels adaptés (d'avril 2018 à décembre 2020) sur deux sites ateliers.

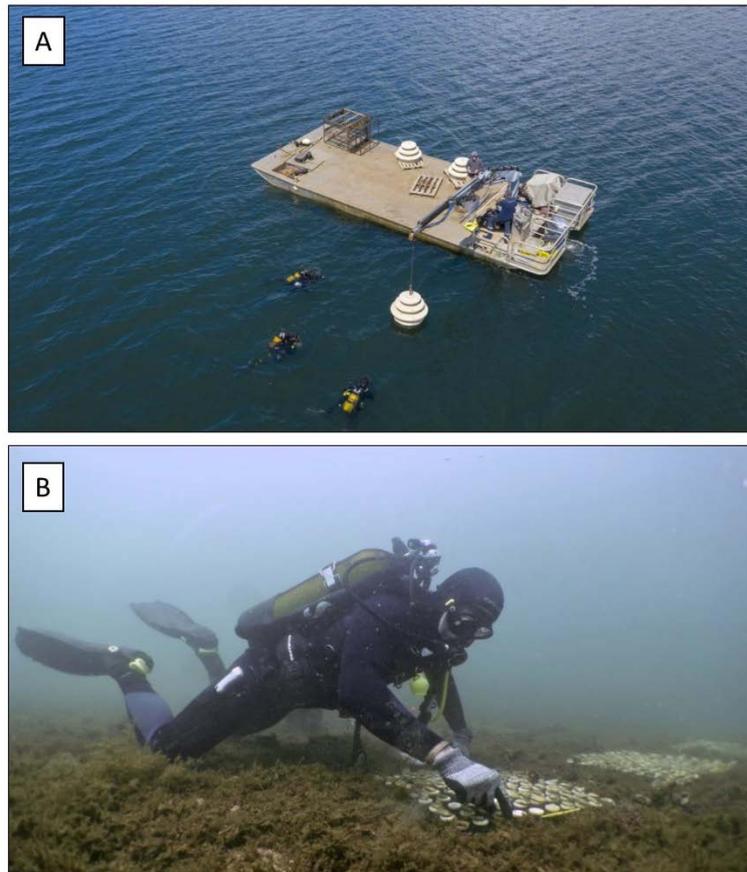
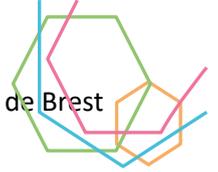


Figure 169 : (A) Déploiement de récifs en béton coquilliers sur le banc du Roz en rade de Brest (Projet FOREVER, photo S. Lesbats, Ifremer) ; (B) Evaluation du taux de prédation sur des naissains d'huîtres plates sur le banc du Roz (Projet FOREVER, M. Hubert, Ifremer).

L'inventaire des populations réalisé dans la phase 1 du projet FOREVER montre qu'il est rare de trouver des populations faisant l'objet de mesures particulières de gestion. Ce manque de gestion à l'échelle régionale et nationale est probablement l'une des causes ultimes empêchant le retour significatif de l'espèce. Afin de suivre les facteurs impliqués dans la dynamique d'un banc d'huîtres plates (phase 2), de développer et tester les méthodes de restauration proposées dans la phase 3, des sites expérimentaux scientifiques sous-marins de restauration écologique ont été mis en œuvre dès 2018, au sein des bancs dans chacun des deux sites ateliers : la rade de Brest et la baie de Quiberon (Figure 169).

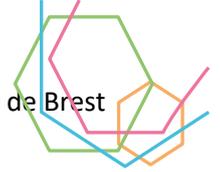


Figure 170 : Illustration de l'évolution de la colonisation sur le récif de la rade de Brest (Pouvreau et al., 2021)

Les résultats obtenus au bout de trois ans démontrent la faisabilité de la restauration au moins à petite échelle. La méthode la plus efficace reste celle mettant en œuvre des récifs en béton coquillier. Ainsi, deux premières populations assez denses sont désormais visibles en rade de Brest et en baie de Quiberon sur ces récifs. Les densités, le niveau d'agrégation et la biodiversité placent ces populations au niveau 4 de l'échelle d'évaluation de cet habitat, équivalent au niveau "Huitrière", habitat originel de l'huître plate. Ces récifs représentent une toute petite surface au sol : 6 m² en baie de Quiberon et 3 m² en rade de Brest, mais ils abritent maintenant chacun plusieurs centaines d'huîtres plates de taille adulte (Figure 170).

V.2.2.4. Le pétoncle noir

Le projet DIRAPEN s'est déroulé sur une durée de 3 ans (2015-2017). Le montant du projet s'élève à 97 000 euros dont 80% est financé par France Filière Pêche (FFP) et 20% par le CDPMEM29 (fonds EDF). Ce dernier assure la coordination du projet. L'écloserie du Tinduff, qui produit les naissains de pétoncles noirs, a également mené les opérations de balisage des zones, pose des attraites et semis des pétoncles avec l'entreprise Iroise Mer. L'Ifremer est le prestataire scientifique et technique qui a été retenu pour assurer le suivi des semis en plongée et la production d'un rapport scientifique.

Trois zones pilotes ont été choisies en rade de Brest : (1) une zone a priori peu favorable sans présence naturelle de pétoncles et sans support de fixation (Kerdrein), (2) une zone favorable avec présence



naturelle de pétoncles et de supports de fixation (Roscanvel) et (3) une zone très favorable avec présence naturelle de pétoncles et de supports de fixation enrichie en grosses coquilles d’huitres creuses (Roz). Sur chacune de ces zones, des naissains (12 mois, 22 mm) produits à l’écloserie du Tinduff (Finistère) ont été semé à raison de ~ 20 pétoncles /m² sur un carré de 1 hectare. La densité, la survie et la croissance de ces pétoncles ont été suivis en plongée sur 1 an (Figure 171).

Les résultats montrent clairement que la réussite du semis et donc la densité finale en pétoncles est directement corrélée à la densité initiale en supports et abris présents sur le fond. Sans l’ajout de supports et d’abris supplémentaires, les pétoncles semés ne trouvent pas suffisamment de refuges et font l’objet de prédateurs multiples (dorades et étoile de mer). Cette prédation intervient dès le début s’il n’y a pas du tout de supports naturels (Kerdrein), ou au fur et à mesure de leur croissance si la capacité d’accueil des supports est trop restreinte ou si ceux-ci sont déjà naturellement occupés (Roscanvel). Par ailleurs, une analyse du stock de pétoncles noirs et de sa répartition sur l’estran et en eaux profondes a été réalisée dans le cadre du projet Mascoët.

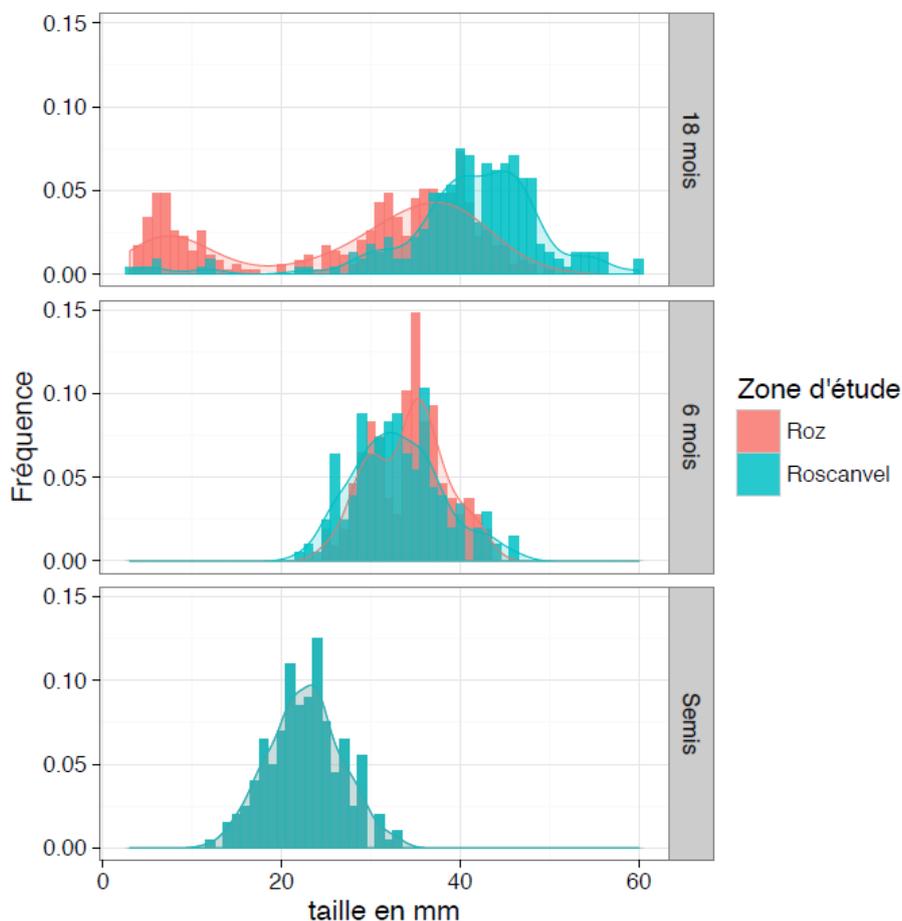
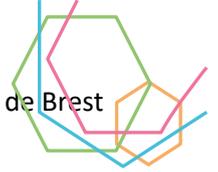
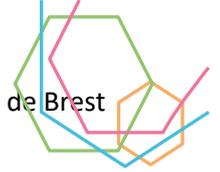


Figure 171 : Evolution du diagramme de taille des populations de pétoncles noirs semés au Roz et à Roscanvel au cours du projet DIRAPEN (semis, mai 2015 ; 6 mois, octobre 2015 ; 18 mois, octobre 2016). Compte tenu du très faible taux de survie des pétoncles semés à Kerdrein, le secteur n’a pas pu faire l’objet d’un suivi de croissance Pouvreau et al., 2016).

Ainsi, sur le site pilote du Roz, site sur lequel des coquilles d’huitres creuses ont été ajoutées aux supports naturels déjà présents, la densité 1 an après le semis est de 8,4 pétoncles par m² alors qu’elle n’était que 1,5 avant les opérations de semis : cette densité a été multipliée par un facteur 6. Sur les autres secteurs, la densité à 1 an est revenue à la valeur observée avant les opérations, le semis n’ayant pas eu d’effet significatif sur le long terme.



Au-delà de la démonstration de faisabilité de l'activité de « sea ranching » pour le pétoncle noir en rade de Brest, sous certaines conditions (présence ou dépôts d'abris sur le fond), l'action DIRAPEN a aussi démontré le rôle positif lié à l'enrichissement en supports coquilliers d'un site dégradé. Cet enrichissement en support de fixation est à l'origine d'un cercle vertueux de restauration marine côtière : la création de ces « mini-récifs » sur le fond présente de réels avantages pour le pétoncle, mais aussi pour d'autres bivalves d'intérêt (ici l'huître plate, *Ostrea edulis*, aussi élevée en conchyliculture) et pourrait permettre à terme une augmentation de la biodiversité benthique.



REFERENCES PARTIE 5

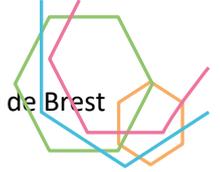
DECIDER, 2017. Rapport d'avancement technique du projet DECIDER (Nov. 2015-Mars 2017). 19 p.

Duchêne, J., I. Bernard, et S. Pouvreau. 2016. Vers un retour de l'huître indigène en rade de Brest.

ESTOC. 2019. Affrètement de navires pour la réalisation de dragage sur le gisement coquillier de la baie de Morlaix. Comité départemental des pêches maritimes et élevages marins du Finistère.

Foucher E., Blanchard M., Cugier P., Desroy N., Dreanno C., Fauchot J., Fifas S., Guyader O., Jean F., Le Gallic B., Riou P., Schapira M. et Thiébaud E. (2015). Le projet ANRCOMANCHE 2010-STRA-010. Interactions écosystémiques et impacts anthropiques dans les populations de COquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*) de la MANCHE, Rapport scientifique final, 35p. <http://dx.doi.org/10.13155/36236>

Pouvreau, S., E. Juillet, et H. Gilante. 2021. Restauration écologique de l'huître plate en Bretagne. Génie Ecologique.

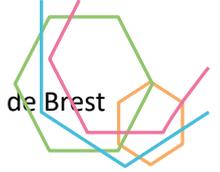


CONCLUSION

Le diagnostic met en lumière plusieurs symptômes et maux prégnants de la rade de Brest. Ceux-ci sont à mettre en relation avec les mécanismes qui favorisent leur apparition.

Les estuaires (Aulne, Elorn et Penfeld) et les petits fonds de baie principalement localisés dans la partie orientale de la rade sont des secteurs particulièrement fragilisés. Ces secteurs sont cruciaux car ils concentrent de nombreux usages à l'interface Terre-Mer (conchyliculture, mouillage de plaisance, centres nautiques, pêche à pied). Les déséquilibres recensés sur ces secteurs incluent les proliférations de micro-algues toxiques et d'ulves filamenteuses, symptômes d'une eutrophisation causée par un excès de nutriments (azote, phosphore). Les quantités d'azote et de phosphore rejetées par le bassin versant de la rade diminuent pourtant de manière constante depuis une vingtaine d'années grâce aux actions menées (gestion des rejets d'assainissement, amélioration des pratiques agricoles). Cependant, ces rejets restent encore largement excédentaires et leur rétention trop longue (7 ans pour l'Aulne, 10 ans pour l'Elorn) pour rétablir un bon équilibre trophique dans la rade de Brest. Aujourd'hui, les flux de nutriments sont majoritairement d'origine agricole, avec des sources multiples (fertilisation, ruissellement érosif). La vulnérabilité particulière des secteurs estuariens s'explique par la proportion importante d'eaux continentales qui y transitent et des substances qu'elles contiennent (influence directe des activités du bassin versant) ainsi que du faible hydrodynamisme qui ne facilite pas la dispersion des nutriments et polluants. L'influence des activités 'amont' sur l'estuaire de l'Aulne et des petits fleuves côtiers (Camfrout, Faou) est encore marquée par une contamination aux métaux lourds (Cadmium, Zinc et surtout Plomb). Cette contamination justifie encore aujourd'hui, 150 ans après l'essor minier du secteur de Huelgoat-Poullaouen, une interdiction de récolte et de consommation des moules.

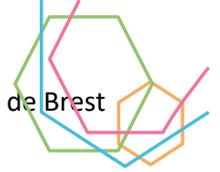
Le trait de côte au sens large (estuaires, plages, front de mer, ports) est le siège de multiples activités professionnelles et de loisir (activités portuaires, plaisance, baignade, pêche à pied). Certaines de ces activités, comme la baignade ou la pêche à pied, souffrent régulièrement d'interdictions liées à des contaminations bactériologiques. Même si la qualité bactériologique du milieu s'est améliorée sur les zones de baignades, le milieu reste toujours trop dégradé pour garantir une bonne qualité microbiologique des coquillages, condition pourtant indispensable pour pérenniser les activités d'élevage et de récolte. Les sources de ces contaminations directes sont majoritairement dues à des défaillances du système d'assainissement collectif (rejets d'eaux usées vers le réseau d'eaux pluviales), et non-collectif (non-conformité de certaines installations, 1600 rien que sur les communes littorales



de la rade). D'autre part, les effluents agricoles souillés en provenance du bassin versant présentent également un risque de transfert bactériologique, accentué par temps de pluie (ruissellement, transfert au ruisseau puis en rade).

Le milieu sous-marin est le vivier des richesses naturelles et historiques de la rade de Brest et fait vivre les activités de pêche. Nombre d'espèces emblématiques, telles la Coquille-Saint-Jacques ou l'huître plate, se développent naturellement dans des habitats benthiques fragiles. Le maërl est l'habitat – nurserie par excellence, et ce pour de nombreuses espèces qui en dépendent. Le maërl subit les pressions essentiellement mécaniques de la pêche à la drague. Sa raréfaction est d'autant plus marquée dans les zones où la pression de pêche est intense, car sa croissance est très lente (0.5 à 1,0 mm/an). Certains paysages sous-marins présentés dans ce rapport, d'une grande richesse, n'existent plus aujourd'hui (Figure 22). Par le raclage du fond autour de son corps-mort, le mouillage des bateaux de plaisance affecte aussi l'environnement sous-marin, qu'il s'agisse de maërl ou d'herbiers de zostères. La survie et le développement de ces espèces parapluie, dont le domaine vital est assez large pour que sa protection assure celle des autres espèces appartenant à la même communauté, est crucial pour maintenir une rade nourricière. D'autre part, certaines évolutions récentes ont vu la régression d'espèces dites invasives (*Crepidula fornicata*), sans même que l'on en comprenne précisément la cause. Par ailleurs, le développement récent du cténophore (*Mnemiopsis leidyi*) rappelle que la rade est ouverte aux mêmes pressions que la mer d'Iroise et l'Océan Atlantique (espèces invasives, pollutions accidentelles, macro-micropolluants).

Si certaines relations de causalité sont à présent identifiées grâce aux investigations scientifiques, les effets d'une grande majorité de contaminants chimiques issus du bassin versant sur les écosystèmes de la rade sont largement inconnus. Nombre de contaminants chimiques sont aujourd'hui scrutés et quantifiés (substances médicamenteuses, microplastiques, polychlorobiphényles – PCBs, hydrocarbures aromatiques polycycliques – HAP, pesticides etc.), mais peu de relations de cause à effet dans le milieu naturel sont clairement établies. Le nombre de substances générées par les activités humaines et qui coexistent dans le milieu naturel rend difficile l'assignation d'un effet par substance, d'autant qu'il existe des effets 'cocktails' combinant plusieurs substances. Pour exemple, 147 substances actives de la famille des pesticides étaient identifiées sur le bassin versant de la rade de Brest en 1997. Aujourd'hui, on en dénombre deux fois plus. Ces contaminants émis sur les bassins versants sont retrouvés en rade de Brest, et donnent tout leur sens à la notion de continuum Terre-Mer.



Le réchauffement climatique risque de modifier les équilibres écologiques d'aujourd'hui. Ces modifications incluent l'augmentation de la température de l'eau, l'acidification des eaux marines, et la modification du régime hydrologique des cours d'eau.

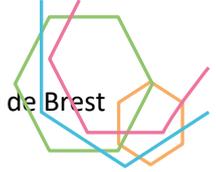
Ce diagnostic constitue un préalable nécessaire à la mise en place d'actions en faveur de l'environnement sur la rade de Brest et ses bassins versants.



VI. ANNEXES

| Classe | Classe de cultures |
|---|---|
| Cultures céréalières | Autres céréales |
| | Blé tendre |
| | Orge |
| Colza et tournesol | Colza |
| | Tournesol |
| Maïs | Maïs grain et ensilage |
| Prairies et fourrage | Fourrage |
| | Prairies permanentes |
| | Prairies temporaires |
| Légumes et fruits | Légumes ou fleurs |
| | Vergers |
| | Fruits à coques |
| Protéagineux, oléagineux et autres légumineuses | Légumineuses à grains |
| | Protéagineux |
| | Autres oléagineux |
| Espaces non-cultivés | Surface gelées |
| | Divers |
| | Estives et landes |
| Autres | Autres cultures industrielles |
| * | Triticale, blé dur, épautre ... |
| ** | Comprend en majorité des surfaces non-cultivées |

Annexe 1 : Reclassement de la nomenclature du Registre Parcellaire Graphique (RPG) pour la partie Agriculture.



VI.1. Aides financières

VI.1.1. A l'échelle Européenne

Les aides financières européennes délivrées sur le bassin versant de la rade de Brest entre 2014 et 2020 (actualisation déc. 2021) ont fait l'objet d'un décryptage selon (1) **l'origine des fonds** (Figure 172), (2) **le montant des aides allouées** par thème (Figure 173), et (3) **la proportion des aides** allouées par thème (Figure 174). Pour la méthode, une première étape de sélection géographique des sous-bassins de la rade de Brest a permis de valider l'emprise territoriale (Aulne amont, moyen, aval ; Canal de Nantes à Brest, Douffine, Ellez, Elorn, Hyères, Mignonne et Camfrou, Penfeld et rivière de Guipavas, petits côtiers de l'Elorn). Une seconde étape portée sur la sélection des types de financements pouvant affecter (positivement ou négativement) la qualité de l'eau en rade et sur ses bassins versants a permis une réduction de 104 à 16 catégories de financement qui permettent d'inclure les 1369 lignes de financement.

L'**origine des fonds** européens (Figure 172) provient de trois sources financières, il s'agit du FEADER (Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural), du FEAMP (Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche), et du FEDER (Fonds Européen de développement Régional). La majorité des aides financières provient du FEDER (54%).

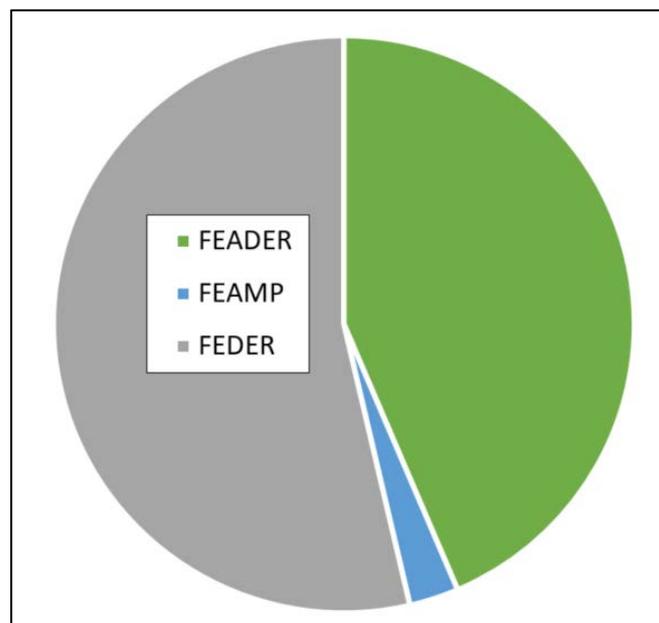


Figure 172 : Origine des financements européen sur les bassins versants de la rade de Brest.

Les trois financements les plus importants du FEDER concernent la création d'un quai Energies Marines Renouvelables au Port de Brest (15,0 M€), le projet Méga Watt Blue (9,3 M€), et la modernisation du navire océanographique Thalassa (5,2 M€). Concernant le FEADER, il représente 44% des financements, les lignes financières les plus conséquentes concernent le soutien aux investissements d'amélioration de la performance globale et à la durabilité de l'exploitation agricole (8,8 M€), le soutien aux investissements dans la transformation, la commercialisation et/ou le développement de produits agricoles (5,4 M€), et les dotations jeunes agriculteurs (4,9 M€). Le FEAMP représente 2,75% des investissements européens. Les investissements les plus importants concernent le soutien au développement local de la filière algues par la mise en place d'une animation dédiée (0.1 M€), l'aménagement d'une unité de prétraitement d'effluents en vue de la réindustrialisation de l'ex-site



GAD (Mowi) (0.1 M€), et la mise en place d'une unité de traitement de l'eau de mer pour purification collective des coquillages (0.07 M€). On remarquera que le fléchage des aides financières du FEADER (agriculture) et du FEAMP (mer) fait apparaître une importante dichotomie Terre-Mer qui s'accorde difficilement avec le concept de continuum.

Le montant des aides allouées par thématique montre d'importantes disparités. Dans le secteur maritime, l'investissement est plus important dans les thématiques Recherche et Innovation Filière Mer et Recherche et développement Energies Marines Renouvelables (Figure 173) alimentées par le FEDER. A titre d'exemple, la thématique Recherche et Innovation Filière Mer regroupe des projets de développement de plateformes instrumentées en mer et éco-ingénierie marine (projets IROMI – ISEN, ECOSYSMER – ENSTA) ou l'observation de phénomènes sous-marins (ROEC – Shom). L'investissement le plus important concerne la mise en place du quai Energies Marines Renouvelables. L'essentiel des thématiques d'action écologique, d'équipement piscicole ou de filière d'élevage de fruits de mer ou encore d'équipement de pêche est assuré par le FEAMP. A titre d'exemple, citons la création d'une écloserie nurserie d'huîtres plates et de pétoncles, l'achat de matériel ostréicole, l'acquisition de navires de pêche d'occasion, ou encore le remplacement du système propulsif de bateaux de pêche en activité. Pour le secteur agricole, les dotations 'jeunes agriculteurs' et le soutien à l'investissement occupent les postes de financement les plus importants du FEADER (Figure 173). L'aide et le soutien au développement de la filière bois est également assuré par le FEADER. La recherche et l'innovation dans les domaines terrestres et marins sont représentés par des projets tels que SMD –MAR (Systèmes Multi-drones appliqués au domaine MARitime) ou VIGISAT (observatoire spatial). Les missions de préparation, d'animation, et de mise en œuvre de stratégie locale de développement sont assurées par le FEADER. Les financements en faveur d'actions et d'animations écologiques sont assurées par le FEADER (Natura 2000, Breizh Bocage, soutien aux réserves naturelles) ou le FEDER (amélioration de la continuité écologique, PNRA, Observatoire des mammifères de Bretagne). Remarque : Certains programmes ont récemment changé de fond de financement. C'est le cas de Natura 2000 et Breizh Bocage, à présent financés par le FEDER.

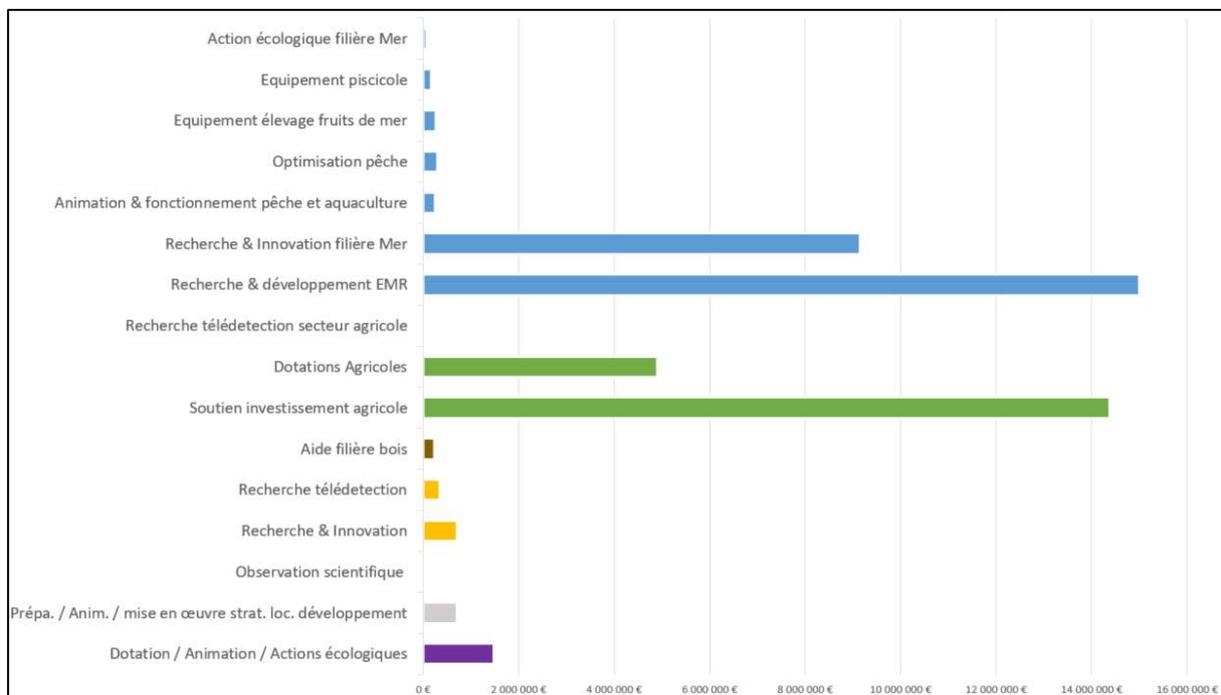


Figure 173 : Montant des allocations financières par thème recensées sur le bassin versant de la rade de Brest. En Bleu apparaissent les allocations se rapportant au milieu maritime, en Vert au milieu agricole, en marron à la filière bois, en jaune à la recherche et à l'observation scientifique (non spécifiée), en Gris au développement local, et en violet à l'écologie.

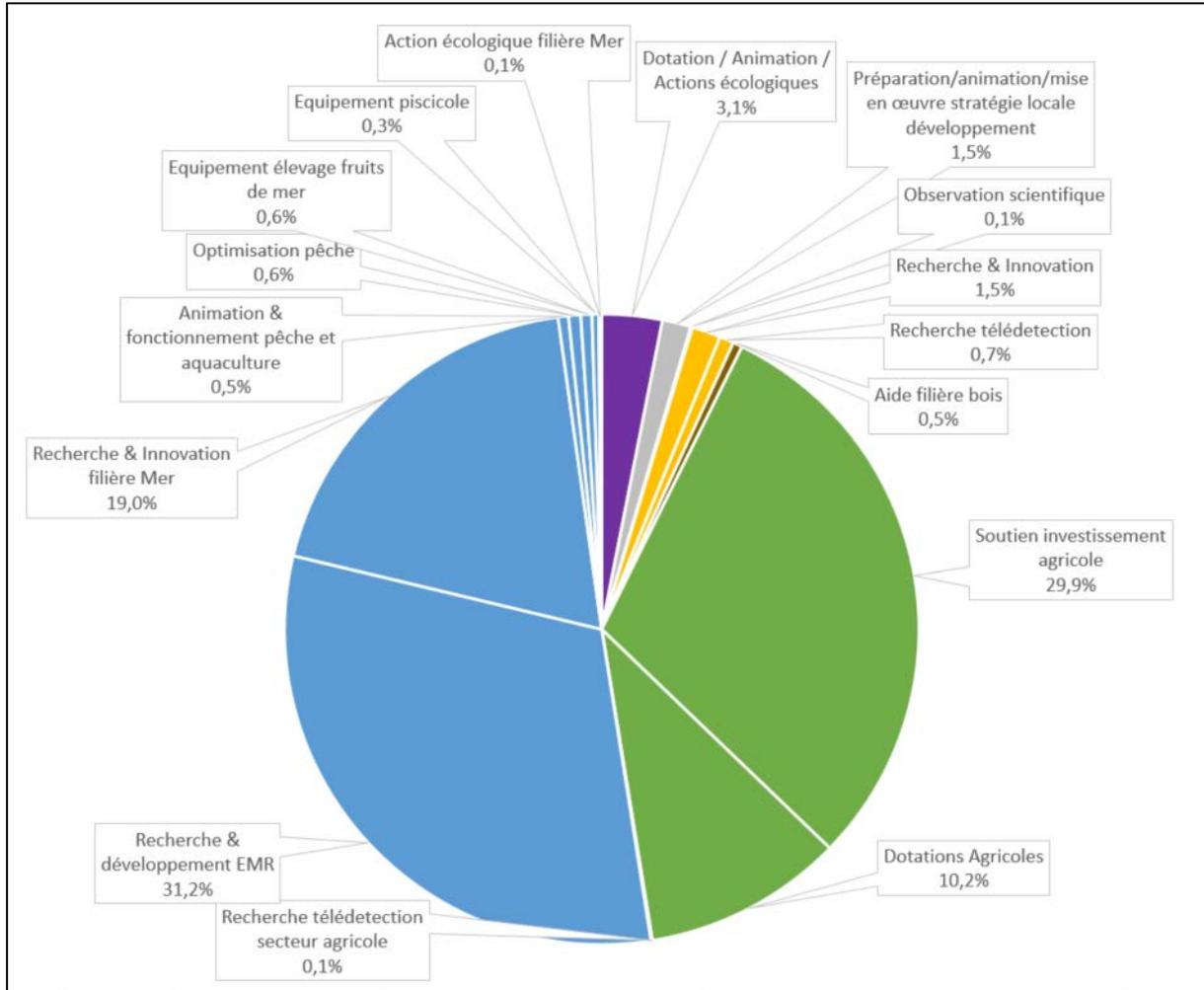
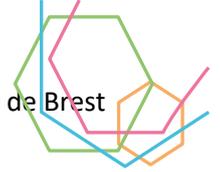


Figure 174 : Part du financement par un des fonds européens (FEADER, FEAMP, FEDER) pour chaque thématique identifiée et proportion par rapport à l'entièreté des financements liés à l'environnement sur le territoire de la rade de Brest et de ses bassins versants. Le même code couleur est utilisé pour les figures X et Y.

VI.1.2. A l'échelle du bassin versant Loire-Bretagne

VI.1.2.1. Montant des aides allouées depuis le dernier contrat de baie (1997)

Le montant total des aides de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne par commune est représenté en Figure 173. Dans un souci de représentation, les aides allouées à Brest et celles allouées aux autres communes des bassins versants sont présentées sur des cartes séparées.

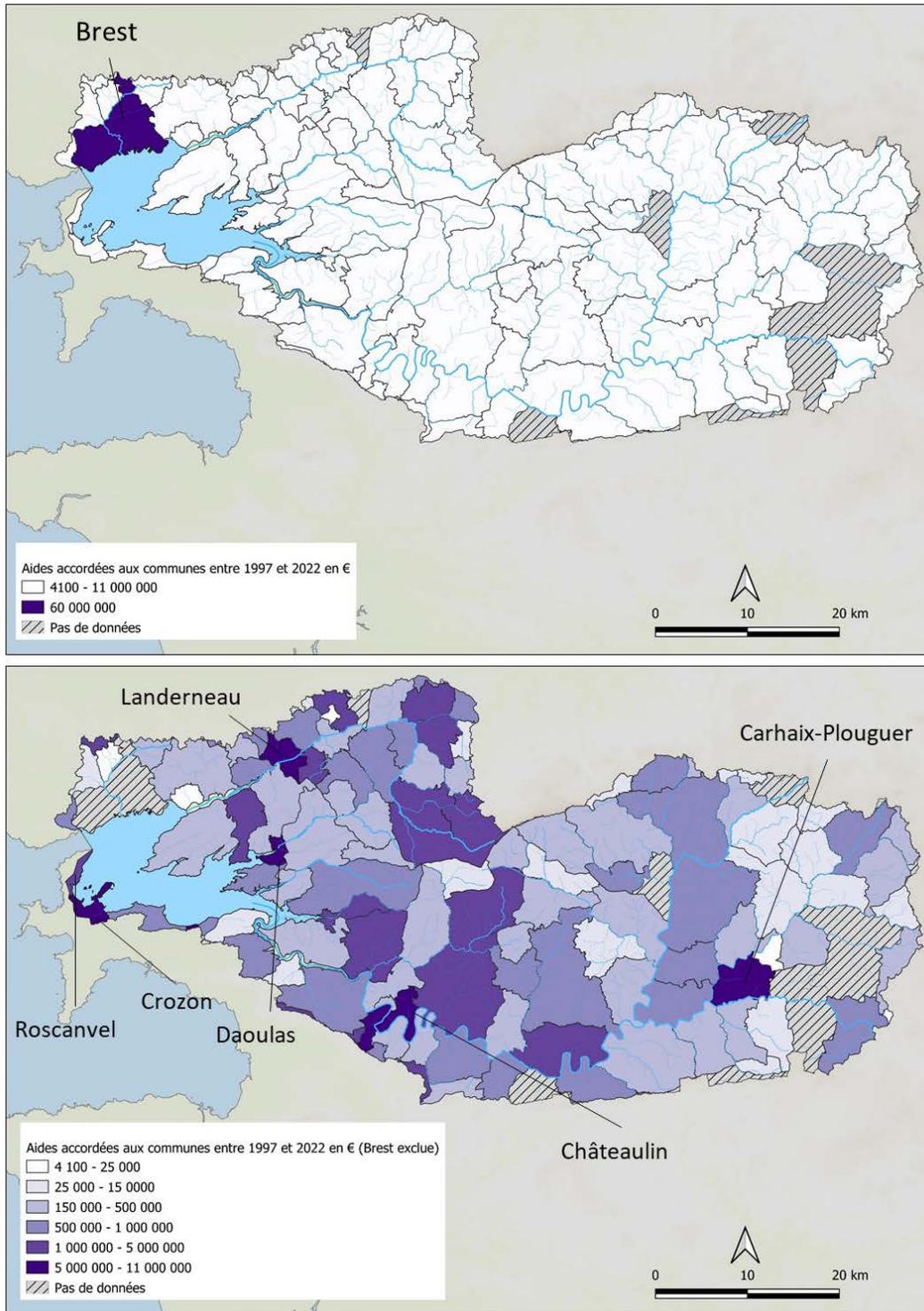
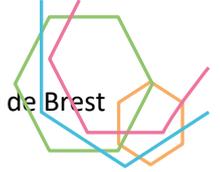
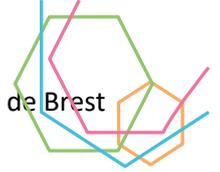


Figure 175 : (A) Montant des financières environnementales accordées entre 1997 et 2022 à la ville de Brest et sur les communes des bassins versants de la rade de Brest ; (B) Montant des aides financières environnementales accordées entre 1997 et 2022 aux communes des bassins versants de la rade de Brest (excepté pour Brest) (Source AELB).



VI.1.2.2. Aides financières de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne

La série cartographique qui suit s'intéresse à la part de l'investissement dans chaque domaine de l'environnement pour chaque commune des bassins versants de la rade de Brest, et ce sur une période de 5 à 6 ans (1997 – 2002 ; 2003 – 2007 ; 2008 – 2012 ; 2013 – 2017 ; 2018 – 2022). Les aides financières apparaissent en huit domaines distincts qui recouvrent une ou plusieurs dépenses spécifiques qui y sont associées :

- **Agriculture** : Diagnostic, accompagnement des agriculteurs, écophyto, filières, MAEC, investissement agro-environnementaux, acquisitions foncières
- **Assainissement** : Station d'épuration des eaux usées, Assainissement non-collectif, micropolluant, boues d'épuration, zonage d'assainissement, réseau, transfert, autosurveillance ;
- **Assistance** : Assistance technique station d'épuration, station d'épuration, suivi épandage
- **Eau potable** : Usines d'alimentation en eau potable, sécurisation
- **Etudes** : Etudes recherche et développement, colloque
- **Industrie** : Traitement, réduction des rejets réduction de la pollution, autosurveillance, gestion des eaux pluviales ;
- **Sensibilisation** : SAGE, contrat territorial, partenariat ;
- **Milieu aquatique** : Travaux sur les cours d'eau et les zones humides, continuité écologique, inventaires zones humides, acquisitions foncières, paiements pour services environnementaux, animation, biodiversité ;
- **Phytosanitaire** : Phytosanitaire non-agricole
- **Quantitatif** : Gestion patrimoniale, économie d'eau, forage, analyse Hydrologie Milieux Usages Climats (HMUC), irrigation, filières, acquisitions foncières, réserve de substitution, protection de la ressource, Périmètres de Protection de Captage (PPC), acquisitions foncières, boisement, indemnités.
- **SAGE** : Animation, étude, communication
- **Suivi** : Mesure qualité
- **Eau pluviale** : Traitement, gestion intégrée, amélioration du réseau, branchement

Pour la ville de Brest (Figure 176) la part des aides financières de l'AELB sont largement orientés pour le domaine de l'assainissement, qui représente plus de 50% des aides sur les cinq périodes considérées, et jusqu'à 78% (période 1997-2002). Les évolutions notables de la part des aides sur la période considérée sont les suivants :

- Une part stable d'aides d'environ 12% depuis 20 ans destinée au milieu aquatiques.
- Une diminution graduelle des aides accordées pour le domaine du SAGE.
- Une évolution à la hausse depuis 2003 des aides destinées au quantitatif.
- Une apparition récente (2018-2022) des aides destinées à la gestion des eaux pluviales.

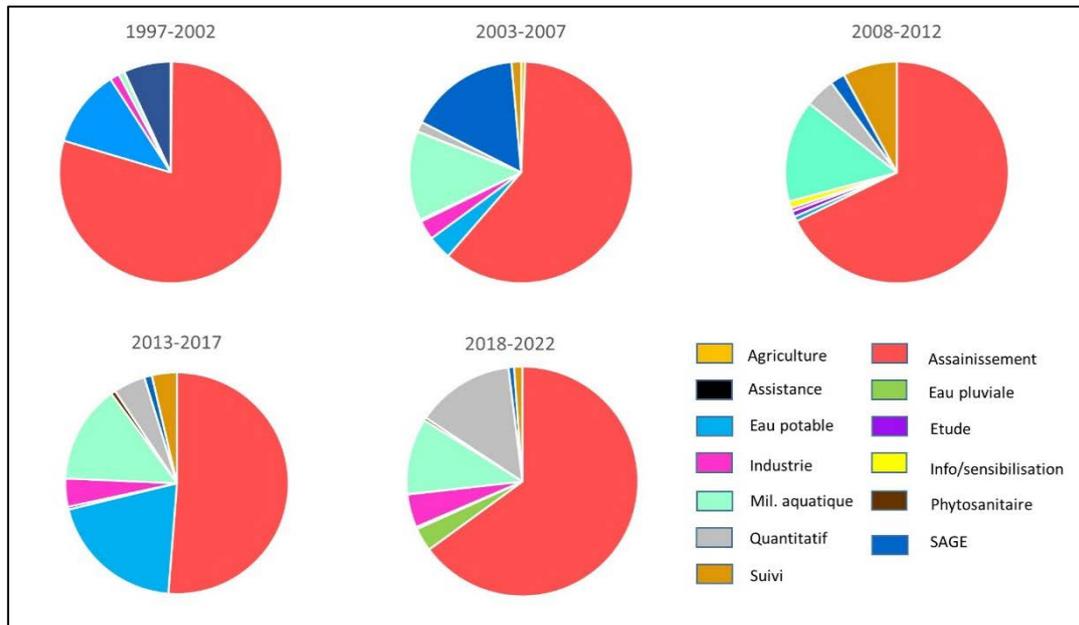
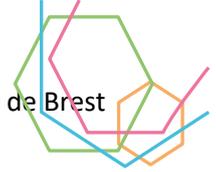


Figure 176 : Part des aides financières de l’AELB en faveur de l’environnement pour la ville de Brest sur les périodes 1997-2002, 2003-2007, 2008-2012, 2013-2017, 2018-2022 (Données AELB)

Les aides supérieures à 75 000 euros concernent l’essentiel des communes des bassins versants. Une bonne moitié du territoire est concernée par la première tranche d’aide (75 000 – 250 000). Une dizaine de communes est concernée par des aides s’échelonnant entre 250 000 et 750 000 euros, et les aides financières plus importantes (> 750 000 euros) concernent les communes de Crozon, Plounéventer, Landivisiau, Carhaix et Briec sur cette période 1997-2002. A l’inverse, une dizaine de communes n’ont pas d’aide financière répertoriée. Les aides les plus conséquentes sont souvent liées à des projets d’assainissement (couleur rose dans le diagramme). Une large part des aides financières est destinée à l’agriculture sur l’ensemble du bassin versant. C’est une part exclusive (ou quasi-exclusive) pour une dizaine de communes du bassin versant de l’Aulne et pour six communes du bassin versant de l’Elorn. Les aides sont plus diversifiées dans la partie Ouest des bassins versants (vallée de l’Elorn et bassins versants des petits fleuves côtiers de la Mignonne, du Camfrout et du Faou notamment, partie amont de l’Ellez). Ces aides ‘diversifiées’ sont destinées à des dépenses environnementales dans les domaines de l’agriculture, de l’assainissement, de l’eau potable, de l’industrie, des SAGE, ou encore du quantitatif. On notera que les communes de l’Hôpital-Camfrout, de Daoulas, de Loperhet, de Huelgoat et de Pleyben ont perçu une aide financière pour le domaine du milieu aquatique. Les aides pour les autres domaines représentent une part peu importante.

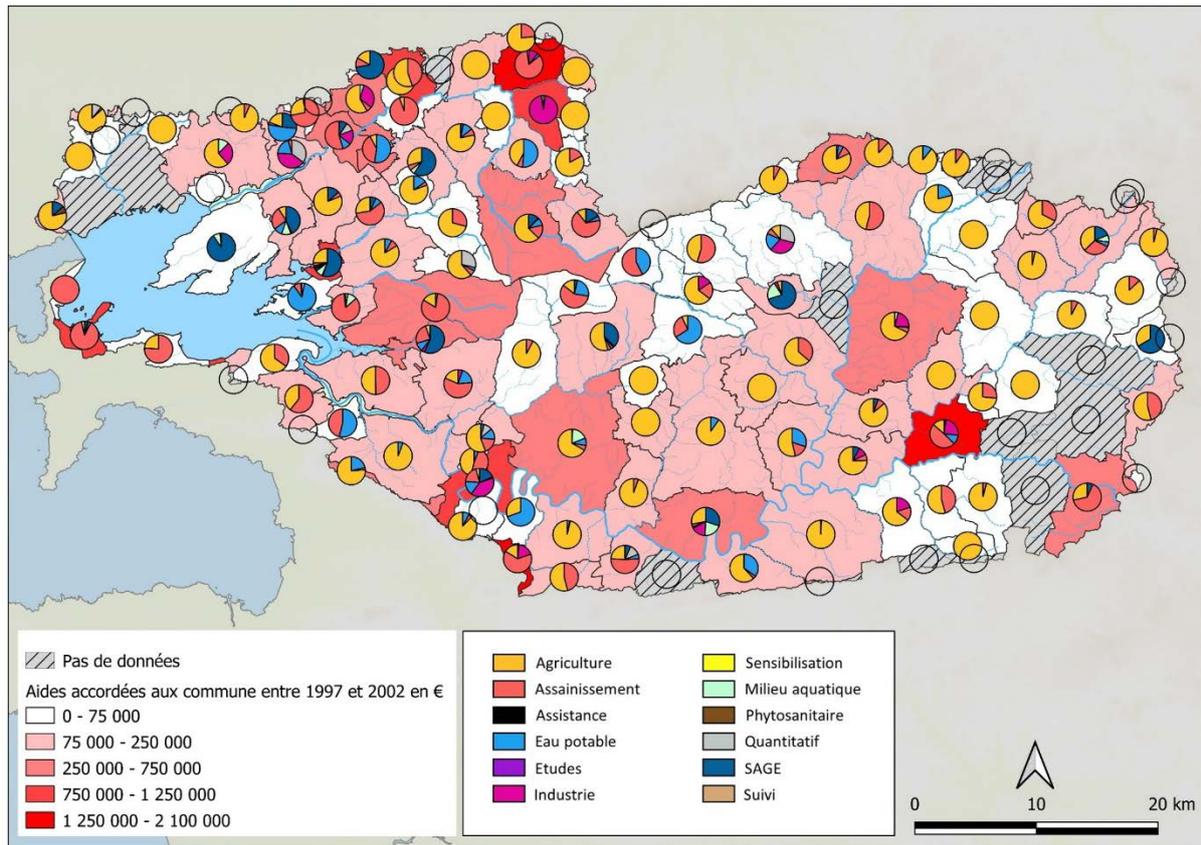
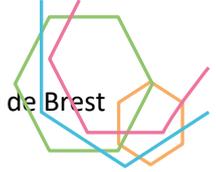


Figure 177 : Montant totale des aides par commune sur la période 1997-2002, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l'objet d'une représentation séparée ; données AELB)

Les aides financières de l'AELB sur la période 2003 – 2007 concernent l'essentiel du territoire, seule une quinzaine de communes n'est pas concernée par ces aides. Les communes en question sont pour l'essentiel peu implantées sur le bassin hydrographique de la rade de Brest (limites externes). Une large partie du territoire est concerné par des aides inférieures à 75 000 euros, notamment sur le sous-bassin versant de l'Hyères, la partie amont de l'Ellez, ou encore l'Aulne estuarien ou la rive Sud du Camfrout. Les communes situées dans les vallées de l'Aulne, de l'Elorn et de la Mignonne concentrent une large partie des aides financières supérieures à 75 000 euros. Ces aides sont parfois même supérieures à 750 000 euros. C'est le cas sur la période en question pour les communes de Carhaix, Pleyben, Châteaulin, Dinéault, Loperhet, ou Landivisiau. Une fois de plus, on remarque que ces aides sont largement attribuées dans le cadre de projets d'assainissement. La part des investissements dans le secteur agricole est moins marquée que pour la période 1997-2002. Les investissements dans ce secteur sont largement localisés sur le bassin versant de l'Elorn. Les aides liées à des projets d'investissement dans le domaine de l'eau potable sont largement supérieures à la période précédente. Ces aides sont largement ciblées sur une partie Nord du bassin versant de l'Aulne et plus sporadiquement sur le bassin versant de l'Elorn.

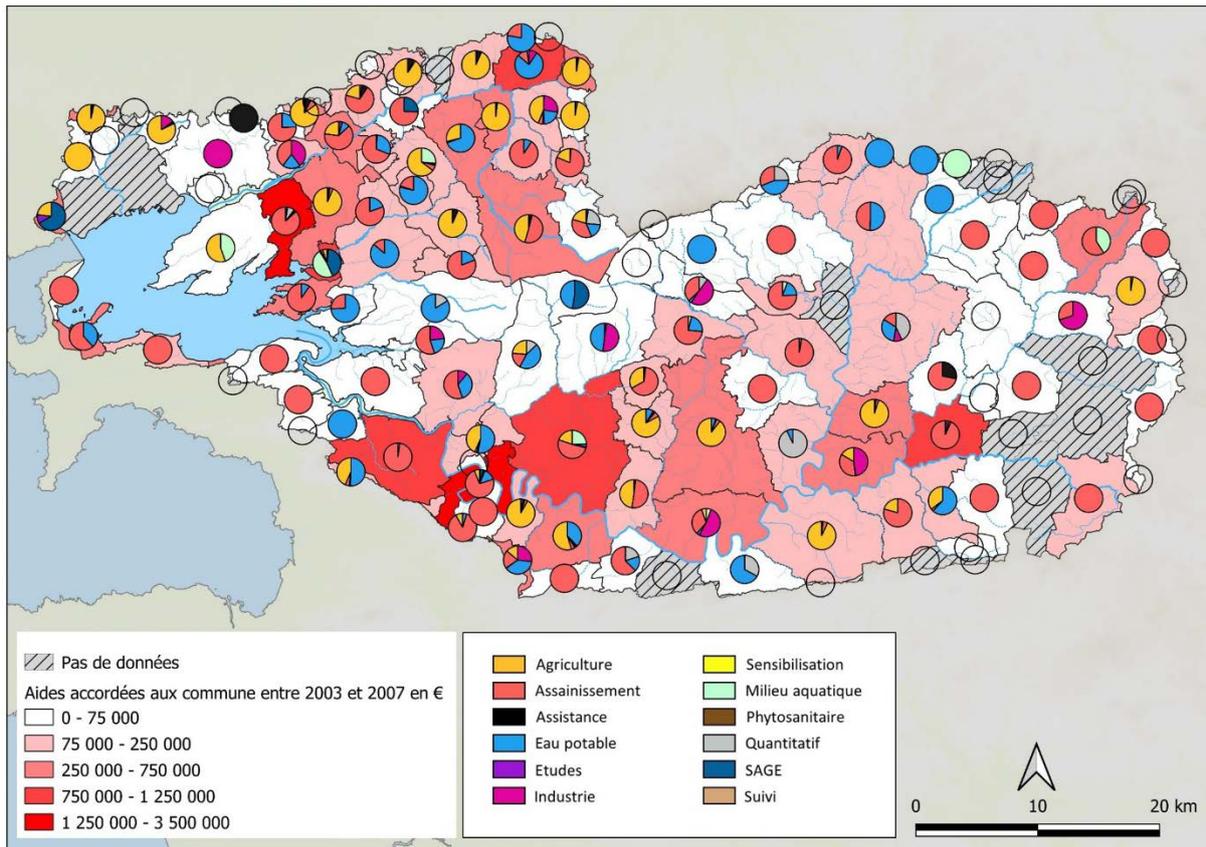


Figure 178 : Montant total des aides par commune sur la période 2003-2007, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l'objet d'une représentation séparée ; données AELB)

Sur la période 2008 – 2012, les aides inférieures à 75 000 par commune sont majoritaires sur le territoire. Une vingtaine de commune ne perçoit pas d'aide environnementale de l'AELB. Les aides les plus importantes sont attribuées aux communes ayant entrepris une modernisation de leur système d'assainissement. C'est le cas de communes de Châteauneuf-du-Faou, de Châteaulin, de Pont-de-Buis, de Crozon ou encore Landerneau. Les aides liées à l'assainissement sont majoritaires sur l'ensemble du bassin versant. Cette période 2008 – 2012 voit aussi le développement d'aides financières liées à l'assistance (assistance technique station d'épuration, station d'épuration, suivi épandage) sur certaines communes ou ce domaine représente l'intégralité des aides (Spézet, Lennon, Lothey, Dirinon ou Saint-Sauveur notamment). Les domaines 'quantitatifs' occupent une large part des aides pour une dizaine de communes sur le bassin versant de l'Aulne. Les budgets destinés à l'industrie représentent une part importante des aides pour certaines communes, c'est le cas de Carhaix, Saint-Hernin, Brennilis, Braspart, Lampaul-Guimiliau, Pencran, ou encore La Forest-Landeneau. Notons l'apparition significative d'aides financières destinées à la sensibilisation (communes de Plouzané et Daoulas).

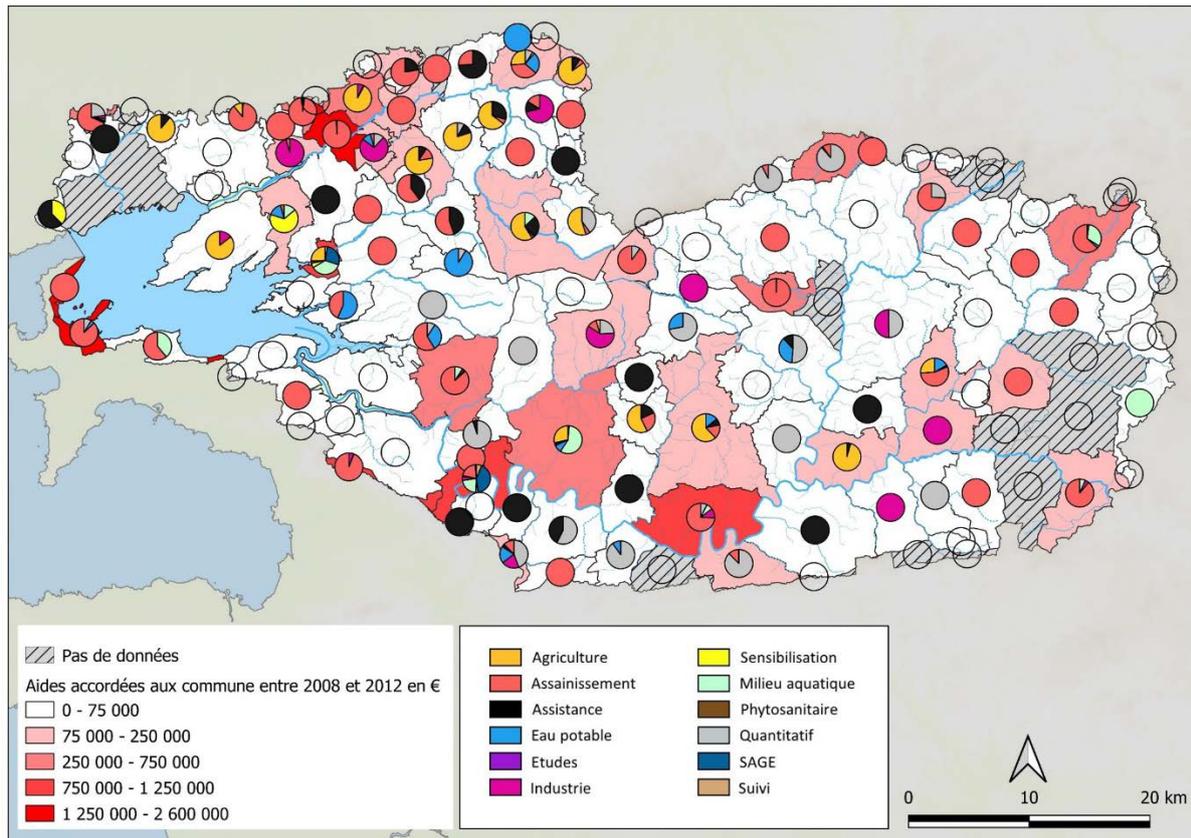
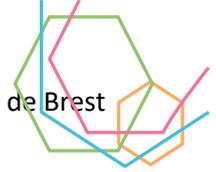


Figure 179 : Montant totale des aides par commune sur la période 2008-2012, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l'objet d'une représentation séparée ; données AELB)

Sur la période 2013 – 2017 les aides financières de l'AELB sont plus diversifiées (Figure 180). L'assainissement reste un poste de dépense important pour plusieurs communes (ex : Kergloff, Saint-Goazec, Châteauneuf-du-Faou, Brasparts) mais le domaine industriel occupe une large partie des aides financières dans d'autres communes (ex : Guipavas, La Forest-Landerneau, Landerneau, Pencran, Plouédern, Lampaul-Guimiliau, Pont-de-Buis, Trévargan). A noter que le domaine 'quantitatif' compte une part importante des aides sur le bassin versant de l'Aulne. Sur le bassin versant de l'Elorn, ce sont les domaines 'phytosanitaire', et 'assistance' qui ont justifié l'aide financière de l'AELB pour de nombreuses communes. Notons également que la proportion d'aides pour des projets dans le domaine agricole reste mineure sur cette période, et qu'une large partie du bassin versant de l'Aulne 'amont' n'a pas perçue d'aides financières de l'AELB sur cette période.

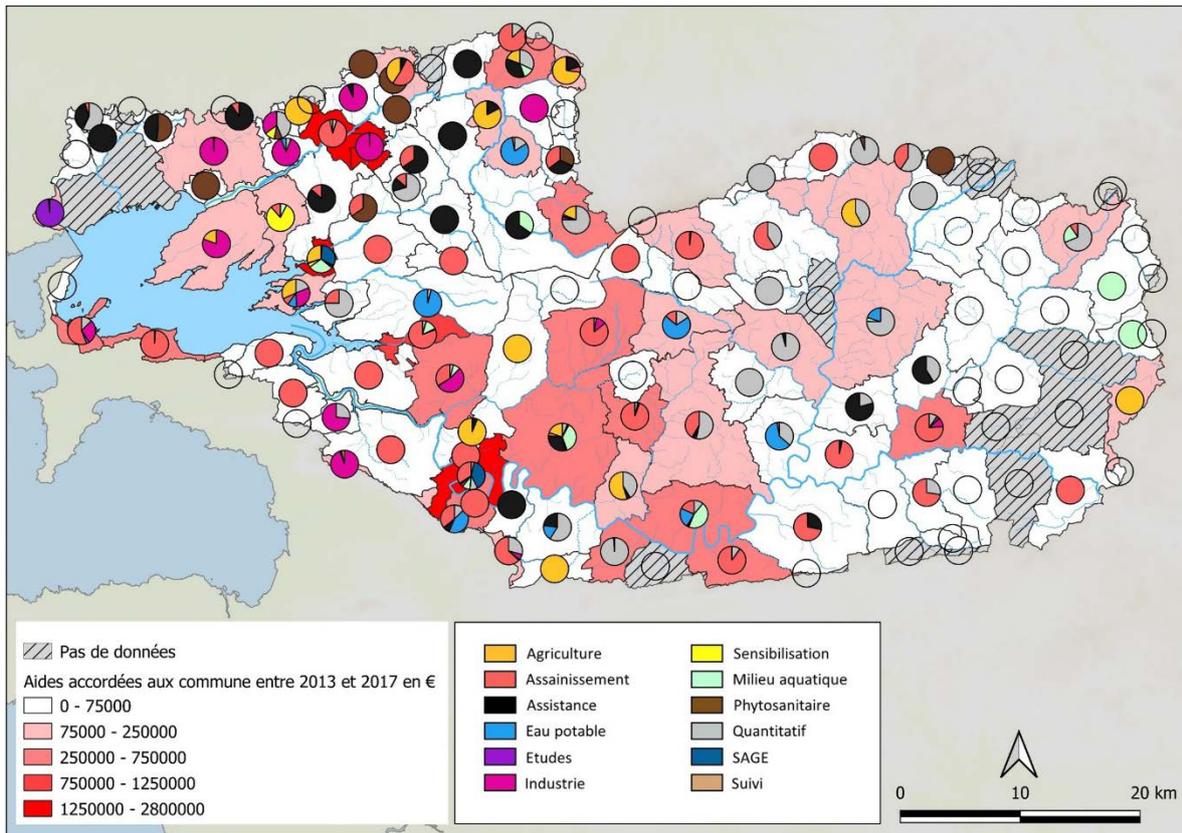
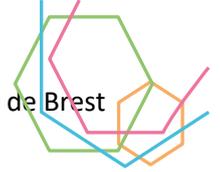


Figure 180 : Montant totale des aides par commune sur la période 2013-2017, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l'objet d'une représentation séparée ; données AELB)

Sur la période 2018 – 2022, une majorité des communes du territoire n'ont pas reçu d'aides financières pour des projets environnementaux de la part de l'AELB. Les aides les plus importantes sont allouées aux communes de Carhaix, Châteauneuf-du-Faou, et Châteaulin pour des projets liés à l'eau potable et à la gestion des eaux pluviales. La gestion des eaux pluviales est un poste d'aide financière qui apparaît pendant la dernière période traitée (2018-2022). La diversification des aides est très marquée à l'échelle du bassin versant. Cinq communes du bassin versant de l'Aulne et une dizaine de communes du bassin versant de l'Elorn ont reçu des aides de financement pour des projets dans le domaine de l'agriculture. Les aides liées à l'assainissement représentent 100% des aides pour certaines communes (Rosnoën, Landévennec, notamment). Pour d'autres communes, cette aide est exclusivement destinée au domaine industriel (Lampaul-Guimilliau, La Forest-Landerneau), ou au milieu aquatique (ex : Callac).

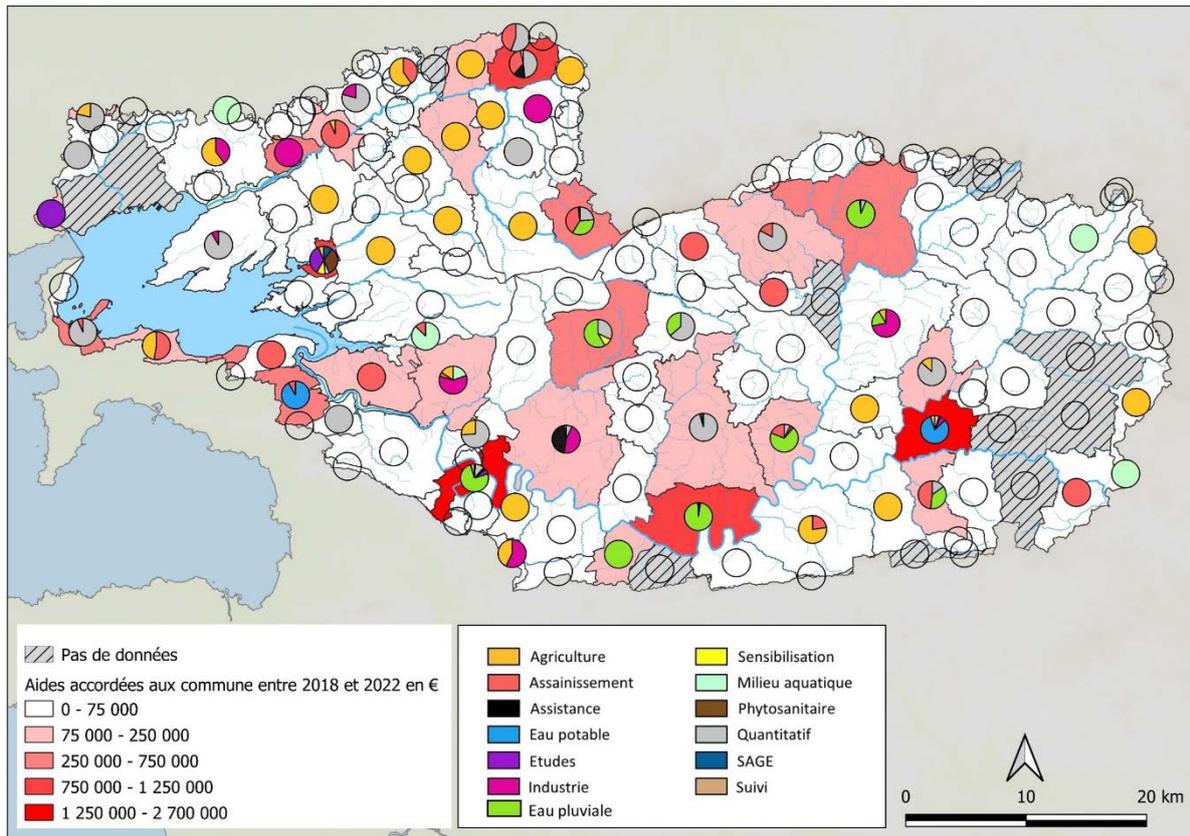
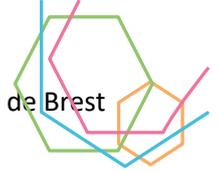


Figure 181 : Montant totale des aides par commune sur la période 2018-2022, et part respective pour chaque domaine de dépense (Brest fait l'objet d'une représentation séparée ; données AELB)

VI.2. Ateliers participatifs

VI.2.1. Première session

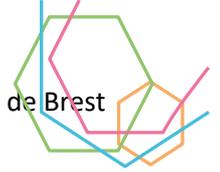
Les objectifs de la première session des ateliers du contrat de rade organisés le 17 Mars 2022 à Moulin Mer (Logonna-Daoulas) sont (1) de présenter le pré-diagnostic réalisé par Labocéa à tous les acteurs de la rade de Brest, (2) de recueillir les réactions de ces acteurs à ce diagnostic, et (3) de recueillir in fine les attentes des participants par rapport au contrat de Rade. Les acteurs ont travaillé par groupe :

- Professionnels du bassin versant
- Usagers de la Rade
- Usagers de l'eau et les associations environnementales
- Elus
- Scientifiques

80 personnes ont participé à cette première session. Les figures X à Y présentent les réactions au pré-diagnostic (objectif 2) et les attentes des participants par rapport au contrat de rade (objectif 2). Ces résultats sont exprimés par groupe, et chaque diagramme circulaire (camembert) reprend le résultat d'un vote organisé successivement autour des points suivants :

Vos réactions au pré-diagnostic

- Un point important (cartons verts)
- Ce qui manque (cartons jaunes)



- Ce qui pose problème/qui m'impacte le plus (cartons rouges)

Vos attentes et vos craintes par rapport au contrat de rade

- Vos attentes (cartons bleus)
- Vos craintes (cartons oranges)

Le nombre de 'votes' reste indicatif dans la mesure où les deux bulletins de vote par personne et par point n'ont pas toujours été utilisés. Les propositions sont reprises le plus fidèlement possible, elles sont reformulées lorsque nécessaire.

VI.2.1.1. Les concertations de groupe

Le nombre de 'votes' reste indicatif dans la mesure où les deux bulletins de vote par personne et par point n'ont pas toujours été utilisés. Les propositions sont reprises le plus fidèlement possible, elles sont reformulées lorsque nécessaire. Les réactions des professionnels de bassin versant sont représentées en Figure 182, leurs attentes et leurs craintes sont représentées en Figure 183.

VI.2.1.1.1. Les professionnels de bassin versant

Ce groupe est constitué d'usagers différents, agriculture conventionnelle, biologique, aquaculture, développement économique, mais aussi d'institutions publiques, et avec des points de vue parfois diamétralement opposés sur les questions prioritaires du bassin versant. Bien que quelques idées très controversées soient évoquées, les échanges sont restés courtois, et chacun a montré sa volonté d'avancer sur la question en bonne intelligence.

Une partie des échanges a tourné autour de la contribution de l'agriculture à la condition actuelle de la Rade, aux types d'agricultures contributifs, etc. mais les participants ont aussi remarqué que la pollution de la Rade n'était pas uniquement d'origine agricole (microplastiques et polluants émergents notamment). Beaucoup de participants, bien qu'en désaccord sur certains constats (doit-on mettre l'économie en premier objectif ? ou l'environnement ?) ont quand même souligné que l'effort collectif était nécessaire. Les acteurs du monde agricole ont rappelé qu'ils avaient beaucoup de pression économique et sociale sur les épaules, et qu'il ne fallait pas qu'ils soient les seuls à qui on demande des efforts.

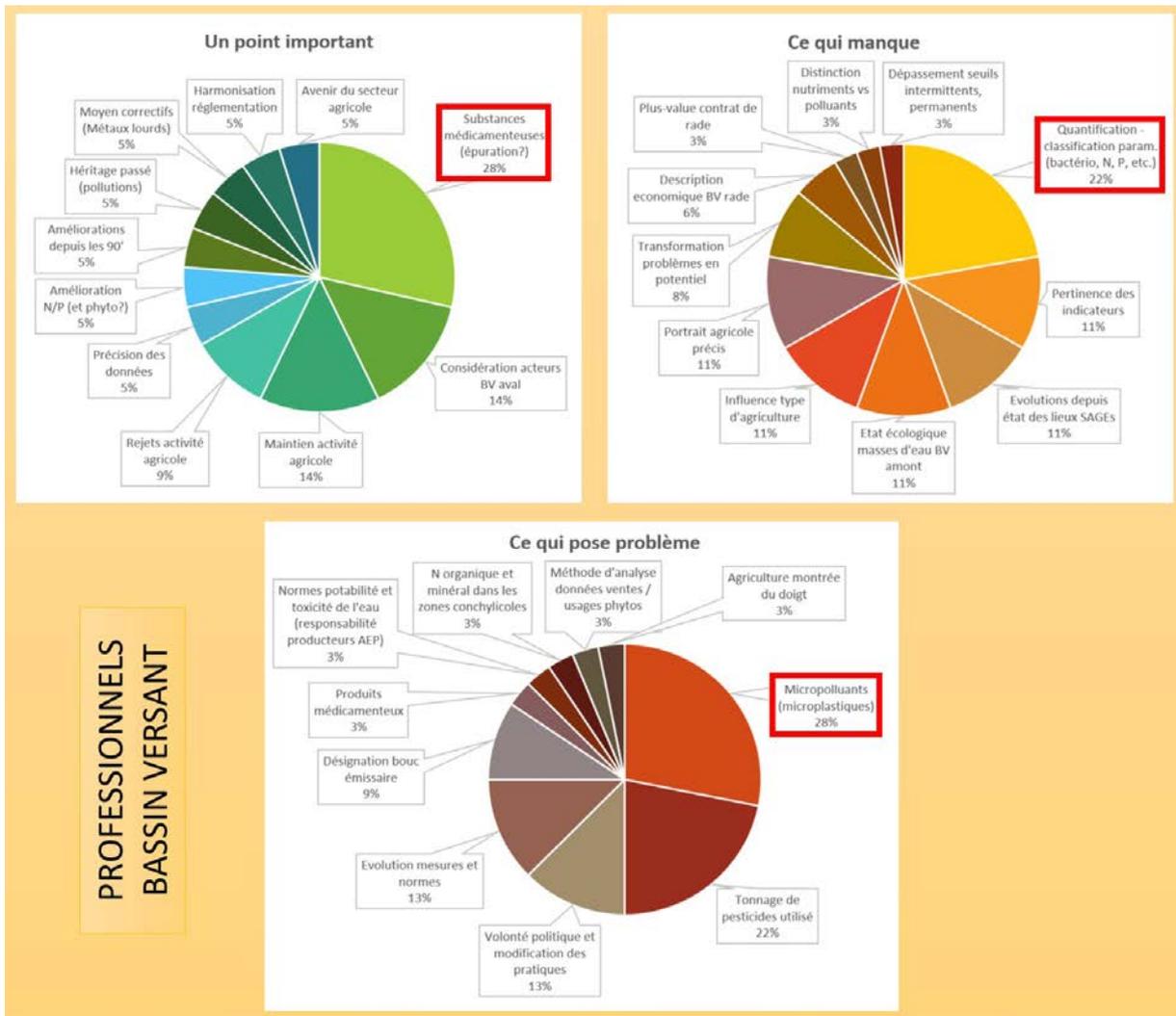


Figure 182 : Réactions des professionnels de bassin versant au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

Plusieurs participants ont indiqué qu'il fallait que les activités amont permettent les activités aval. Enfin, l'accord était assez unanime pour dire qu'il ne fallait pas que le contrat de Rade soit une usine à gaz, inutilement contraignante, et pas suivie d'effet. Les participants ont majoritairement souhaité un contrat engageant, associé à des moyens financiers, un suivi opérationnel, et des objectifs précis.

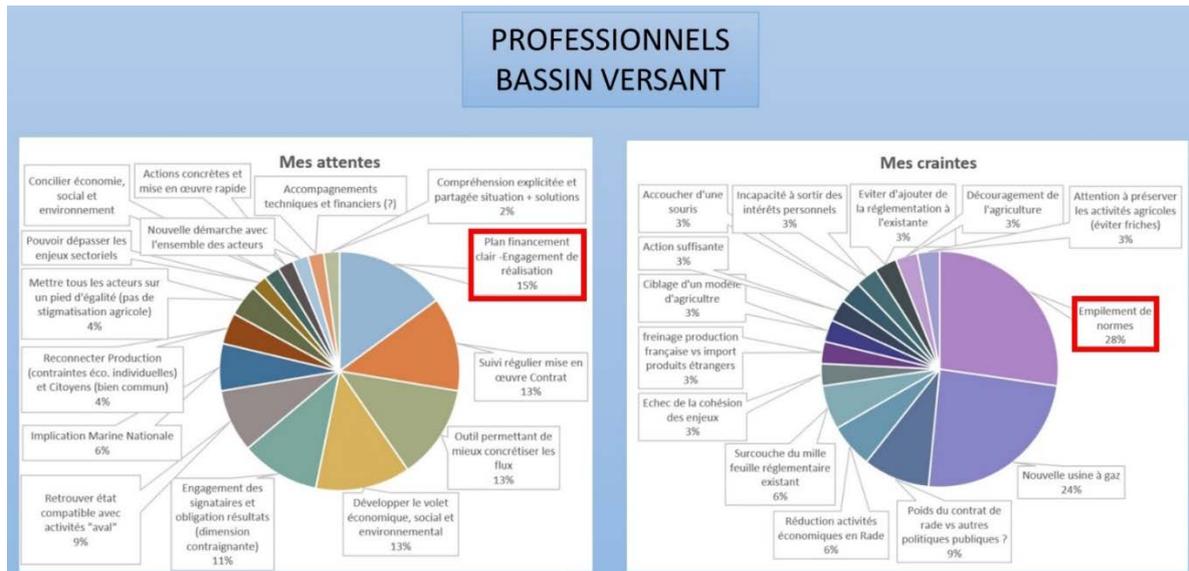
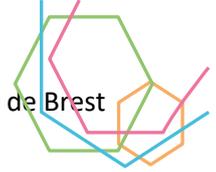


Figure 183 : Attentes et craintes exprimées par les professionnels de bassin versants vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

VI.2.1.1.2. Les élus

Au regard de la participation générale, on peut considérer que le groupe élu a fait preuve d'une bonne compréhension des attentes, et d'une bonne représentation des problématiques. L'ensemble des participants a proposé des idées et réflexions, et des échanges constructifs ont eu lieu. De manière générale, les membres du groupe ont exprimé une grande volonté de changement, d'implication et d'appropriation des sujets, avec une ouverture d'esprit au-delà des problématiques pouvant être propres à leurs communes respectives. Les réactions des élus sont représentées en Figure 184, leurs attentes et leurs craintes sont représentées en Figure 185.

Plusieurs membres se sont interrogés sur le principe du fonctionnement en « focus groupe ». La première phase de l'atelier portée sur la compréhension du pré-diagnostic a fait dans un premier temps ressortir un thème de préoccupation relatif à l'assainissement, et notamment à l'assainissement non-collectif. Cependant, dès qu'un premier carton a mentionné la problématique des pollutions agricoles, celle-ci s'est avérée partagée par la majorité des participants.

Pour les différents thèmes, une volonté de conciliation entre la limitation des impacts environnementaux et la prise en compte des aspects sociaux a été exprimée. Suite à l'affichage des différents cartons/idées, l'absence de la problématique « perte de biodiversité » a été exprimée, et globalement partagée. La présentation du pré-diagnostic a été bien perçue, mais des précisions sont attendues dans l'expression de certains indicateurs.

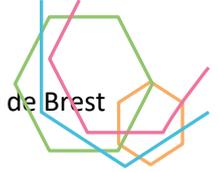


Figure 184 : Réactions des élus au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

La seconde phase de l'atelier relative aux attentes et craintes a fait ressortir l'importance du nécessaire accompagnement réglementaire et financier de la démarche, avec l'espoir qu'une réelle ambition se manifeste, et que les actions soient concrètes et efficaces. Un souhait de transversalité a également été exprimé, avec la nécessité de communiquer sur les actions menées et sur les résultats obtenus. L'organisation et le timing proposés ont été appréciés et respectés. 2 participants ont dû quitter le groupe après la première phase.

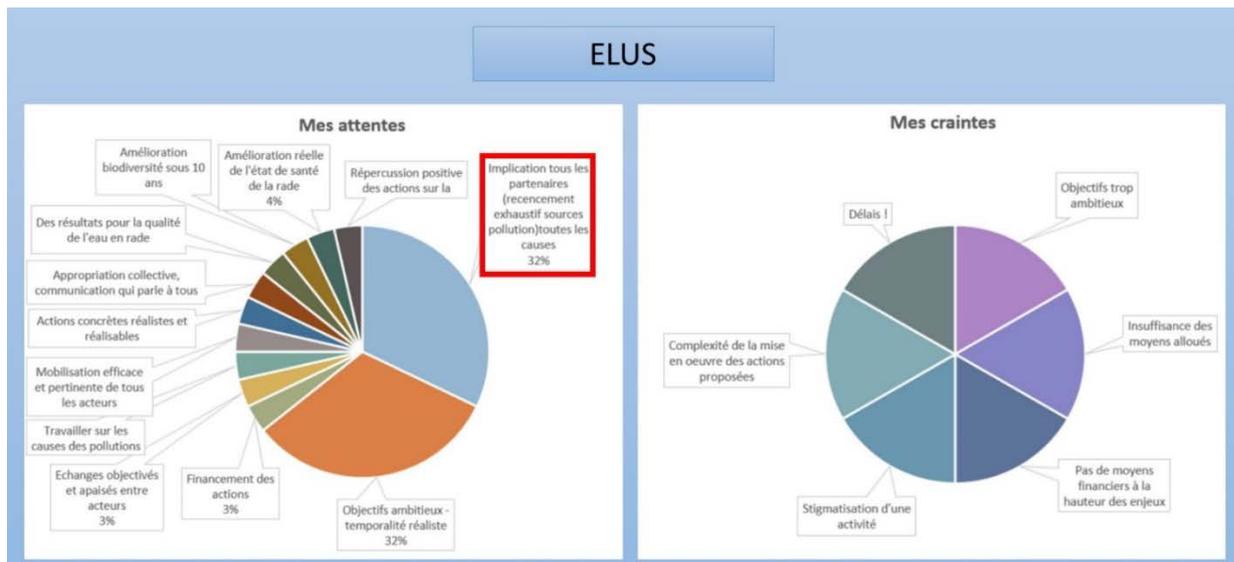


Figure 185 : Attentes et craintes exprimées par les élus vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

VI.2.1.1.3. Les usagers de la rade

Les échanges ont montré une bonne appropriation du pré-diagnostic durant la première phase de discussion. Certains acteurs regrettent qu'il faille en passer par cette étape pour enfin aboutir à des actions pertinentes et efficaces. Selon eux, les problématiques et sources de pollutions sont connues depuis des décennies et les conditions de réussite de ce contrat se résument en une nécessité d'un « courage politique » qui ferait tomber les tabous et s'attaquer au vrai problème : « l'agriculture intensive sur les BV ». La question d'une gouvernance efficace pouvant contraindre et imposer des actions a également été clairement posée. Des propositions très ciblées ont émergé telles que la création d'une aire marine protégée entre l'île ronde et l'Auberlac'h. Les réactions des usagers de la rade sont représentées en Figure 186, leurs attentes et leurs craintes sont représentées en Figure 187.

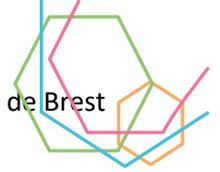


Figure 186 : Réactions des usagers de la rade au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

Durant la seconde partie des discussions, le groupe est arrivé plus rapidement sur des attentes et craintes déjà énoncées. Quelques échanges ont permis de verbaliser de nouveaux éléments plutôt partagés. Ici aussi la question du courage politique est ressortie ainsi que la crainte que tout ce travail n'aboutisse qu'à des vœux pieux non suivis d'effets. Le besoin de transparence a également été souligné. En résumé les acteurs de ce groupe semblent motivés et prêts à confronter leurs points de vue et leurs idées avec les autres groupes. L'ambiance générale était studieuse et cordiale quoique parfois un peu plus tendue

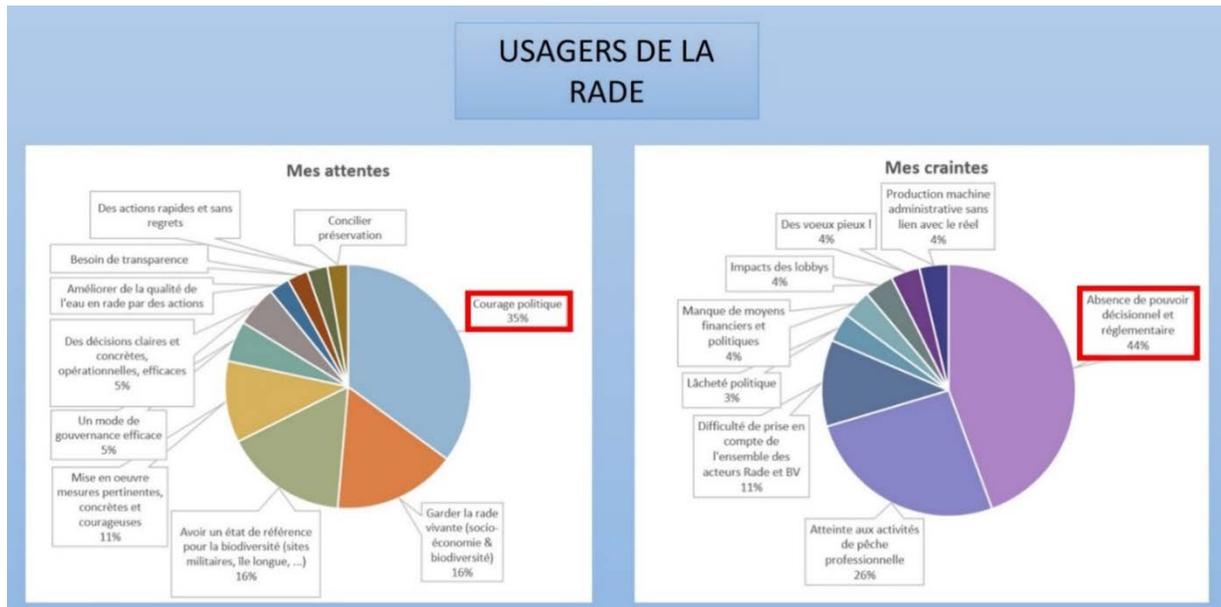
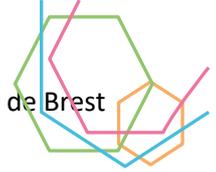


Figure 187 : Attentes et craintes exprimées par les usagers de la rade vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

VI.2.1.1.4. Les associations et usagers de l'eau

Au regard des échanges et idées émises, on peut considérer que le groupe associations et usagers de l'eau a fait preuve d'une bonne compréhension des problématiques soulevées au sein du pré-diagnostic qui leur a été présenté. Les réactions des associations et usagers de l'eau sont représentées en Figure 188, leurs attentes et leurs craintes sont représentées en Figure 189.

La première phase de l'atelier a fait ressortir très clairement plusieurs idées principales, tant en termes de points importants, de manques ou de problèmes : la notion de temporalité et de tendances de la situation, l'importance d'une prise en compte de la biodiversité, l'importance des pollutions diffuses agricoles pour expliquer les phénomènes observés, l'impact des pollutions microbiologiques, une nécessaire bonne échelle de gouvernance, les liens de causalité amont-aval, les liens up et down avec le grand public.

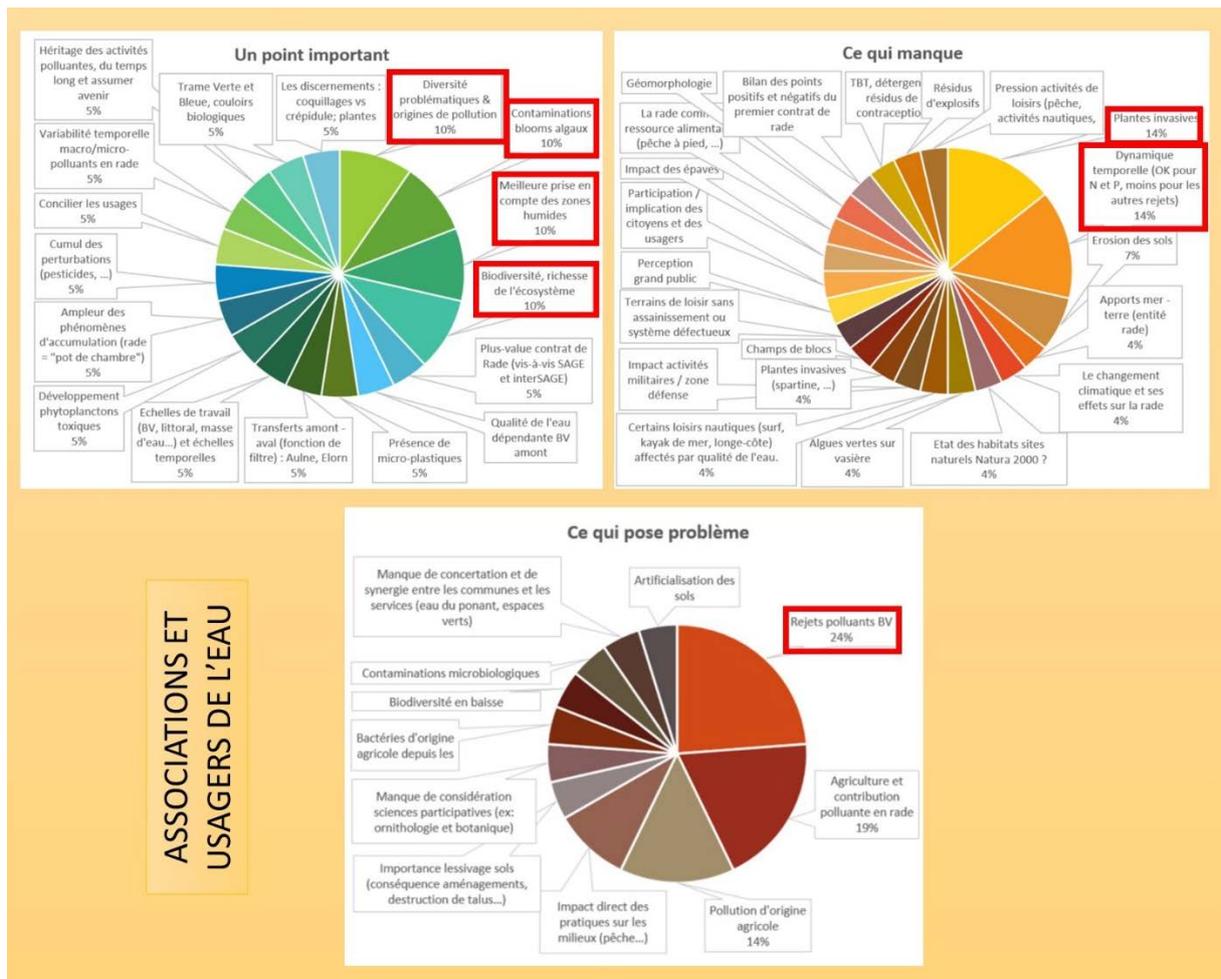
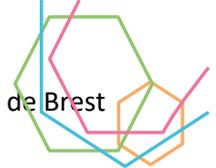


Figure 188 : Réactions des associations et usagers de l'eau au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

Le second temps d'atelier a quant à lui fait apparaître des attentes et des craintes beaucoup plus diverses, allant des notions liées aux échelles et moyens de concertation, à la volonté réelle des acteurs et des politiques, à la concrétisation d'actions grâce à des moyens suffisamment en phase avec les problématiques à solutionner, à leur mise en œuvre rapide et assumée, à leur priorisation et à leur suivi en vue d'en identifier leur efficacité.

Concernant l'organisation et le timing, de façon générale, on peut penser que toutes les idées principales présentes au sein de ce groupe ont pu s'exprimer, bien que nous aurions pu gagner en précision, si on avait eu un peu plus de temps sur la seconde séquence, séquence au cours de laquelle les attentes et les craintes ont fait l'objet de très nombreuses remarques et précisions verbales de la part du groupe (précisions dont les idées principales se retrouvent sur les cartons).

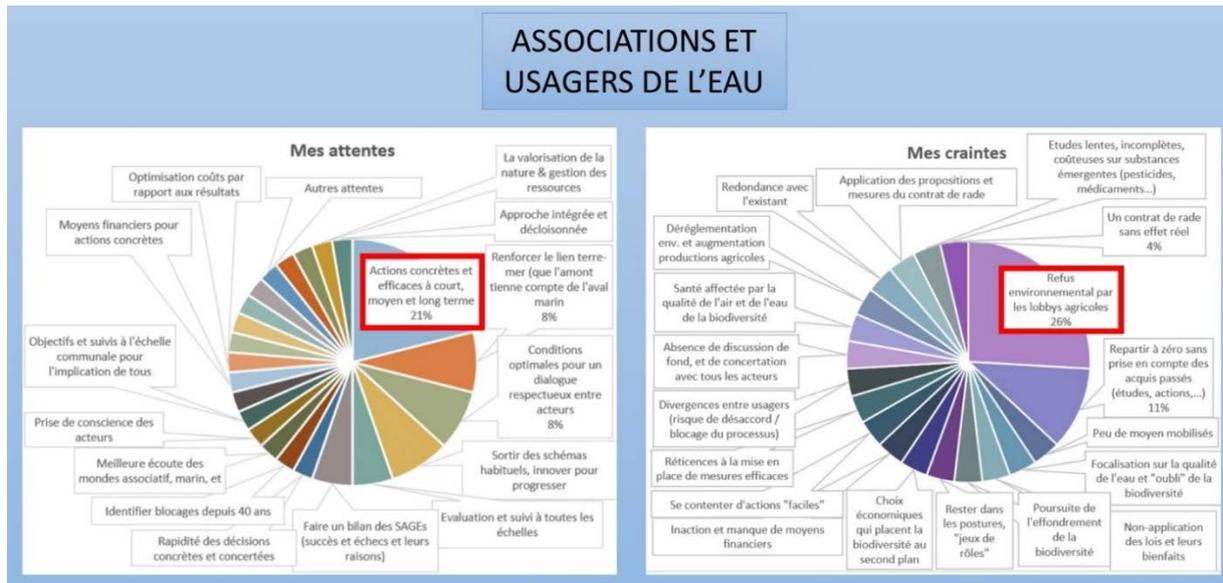
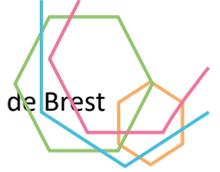


Figure 189 : Attentes et craintes exprimées par les associations et usagers de l'eau vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

VI.2.1.1.5. Les scientifiques

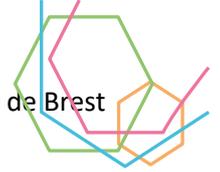
La composition du groupe scientifique est très intéressante avec des spécialistes de sujets variés (l'écologie/écotoxicologie, sociologie/économie, biologie, physique, chimie). De même, des personnes connaissant parfaitement la rade de Brest et l'histoire des actions déjà menées en sa faveur (réseau rade) côtoyaient des personnes ayant découvert tout récemment ce lieu. Les réactions des scientifiques sont représentées en Figure 190, leurs attentes et leurs craintes sont représentées en Figure 191.

La **première phase de l'atelier** fait ressortir la qualité du pré-diagnostic mais également le besoin de compléter ce pré-diagnostic avec des approches et données complémentaires. Les améliorations souhaitées sont les suivantes :

- Lister les actions de restauration déjà engagées (ex : Natura 2000) et analyser de leur efficacité.
- Réaliser un diagnostic des usages et un inventaire cartographique des pressions locales.
- Réaliser un inventaire des pertes de biodiversité et des habitats, et identifier de leurs causes.
- Analyser plus finement les impacts potentiels du changement climatique sur la rade.
- Réaliser un diagnostic des pollutions suivantes : pollution sonore, HAP, TBT, radionucléides, résidus médicamenteux, antifouling, terres rares, pollutions liées aux activités industrielles, militaires, portuaires, leur évolution dans le temps et leurs impacts.
- Identifier les pollutions pour lesquelles on ne dispose pas de données.

La problématique de la dynamique récente des matières en suspension à l'exutoire des rivières a également été soulevée. Certains manques de données ont été soulignés (ex : pollution atmosphérique, données de concentration d'azote et de phosphore dans les sols). Le manque d'accessibilité aux données STEP et installations classées a également été souligné. Le développement d'indicateurs pertinents pour évaluer la bonne santé des écosystèmes, la prise en compte des attentes de la société, la description des évolutions sur un temps long, sont les idées ont rassemblé l'assentiment de tous.

Un autre point crucial est partagé par plusieurs scientifiques. La majorité des problèmes de la Rade vient de l'extérieur de celle-ci et en particulier des bassins versants en amont. Pour les plus anciens, cela dénote d'une véritable évolution des mentalités. De plus, il est nécessaire d'évoquer ce qui arrive



dans la Rade de l'extérieur par la frontière marine (goulet de la Rade). Il manque une vision intégrée qui prenne en compte la connectivité de l'aquasphère. En outre, il est nécessaire de créer une communauté humaine du continuum terre-mer.

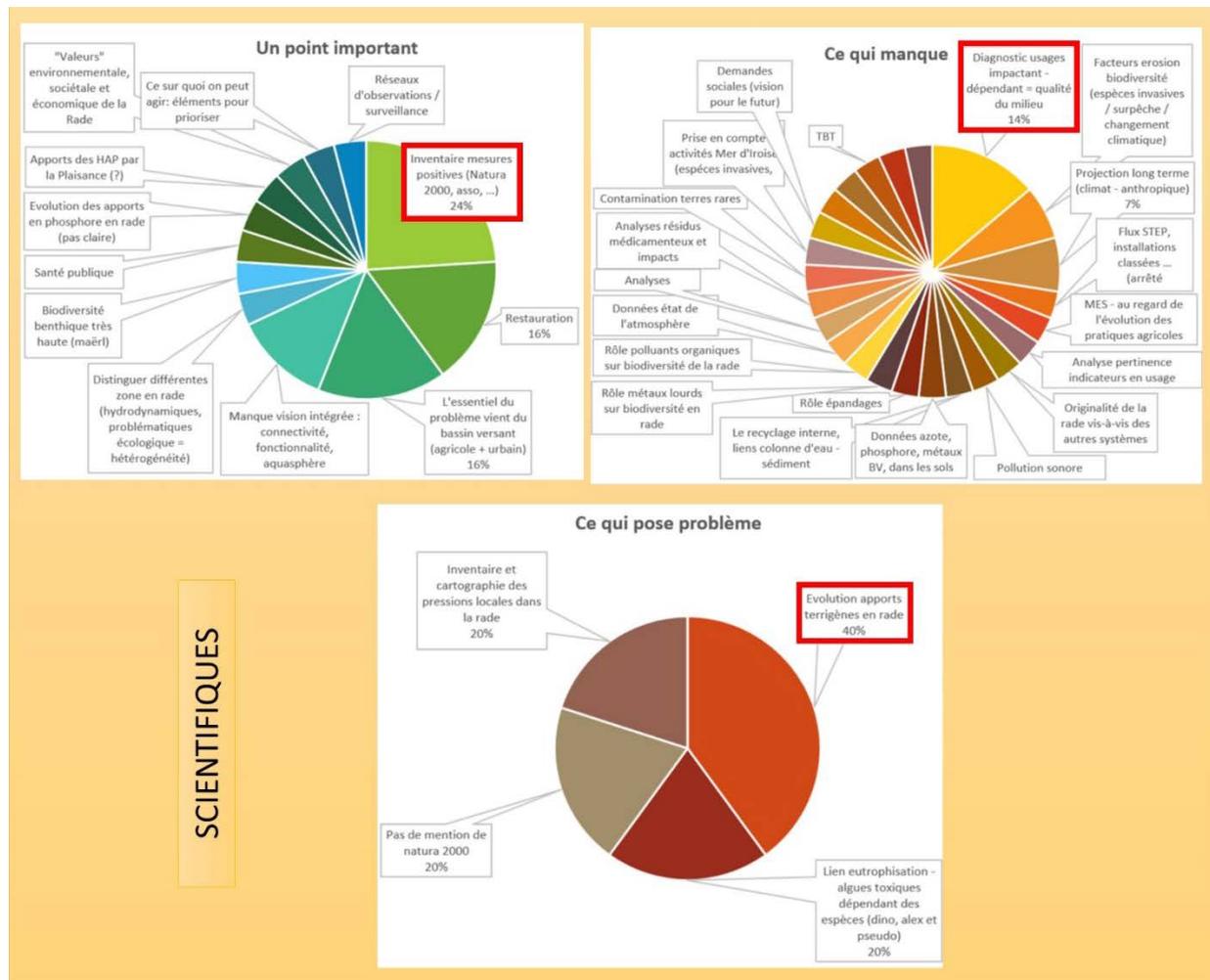


Figure 190 : Réactions des scientifiques au rapport de pré-diagnostic. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

Le **second temps d'atelier** a découlé logiquement vers des inquiétudes que les points mis en évidence par le diagnostic ne soient pas suffisamment pris en compte dans le programme d'actions (ex : mauvaise protection des écosystèmes sous-marins, ou manque de mobilisation des acteurs de la rade et des acteurs de bassins versants). Enfin, la crainte que ce contrat n'aboutisse pas à suffisamment d'actions concrètes par manque de moyen ou d'investissements des politiques est clairement présente et rejoint celle des autres groupes. Une autre crainte forte est qu'il y ait un refus de la complexité (risque de baisser les bras face à la complexité du système ; cependant, il faut être conscient de cette complexité et proposer des actions malgré cette complexité). Une crainte également de vision à court-terme sans intégration de vision long terme. Et une attente que ce contrat de rade permette d'expérimenter des solutions.

Concernant l'organisation de façon générale, le premier atelier c'est très bien passé sauf pour une personne daltonienne qui ne pouvait pas différencier les couleurs choisies. La seconde partie de l'atelier, plus courte, a frustré certain.e.s participant.e.s mais nous avons pu leur expliquer que les scientifiques pourraient aussi s'exprimer en comité scientifique. Les membres ont bien joué le jeu de respecter le timing en s'auto-contrôlant eux-mêmes.

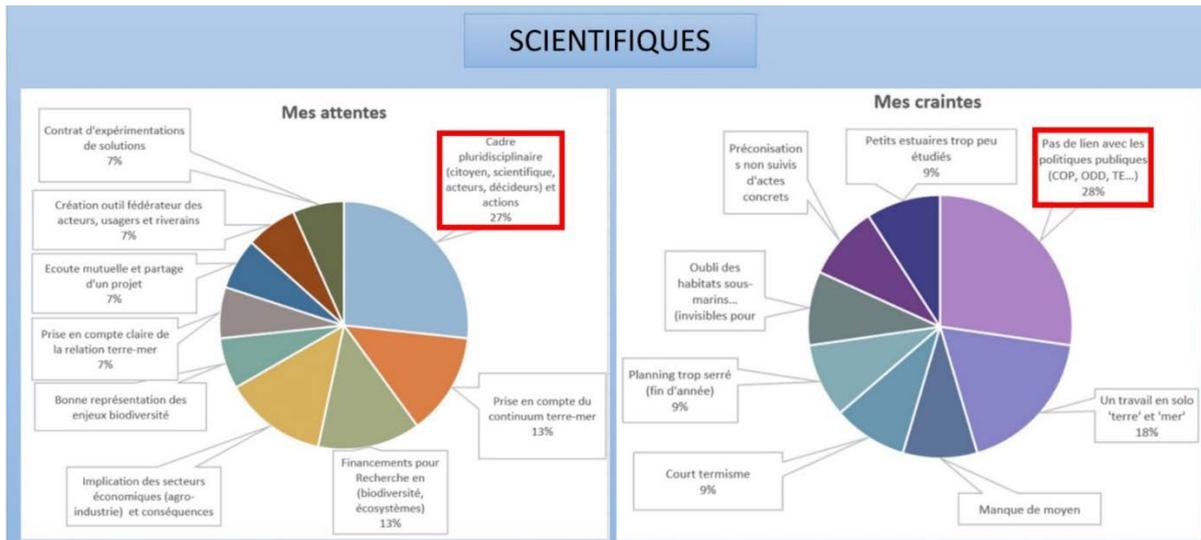
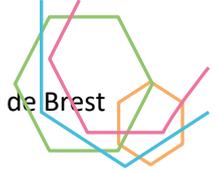


Figure 191 : Attentes et craintes exprimées par les scientifiques vis-à-vis du contrat de rade. Les propositions encadrées en rouge sont davantage plébiscitées.

VI.2.1.2. L'interprétation des résultats

Pour visualiser le poids des propositions, les votes des cinq groupes sont regroupés et représentés pour chaque point de discussion (point important, Figure 192 ; ce qui manque, Figure 193 ; ce qui pose problème, Figure 194 ; craintes et attentes, Figure 195). Pour une meilleure lisibilité, les votes sont groupés en catégories homogènes, exemple : les votes « l'essentiel du problème vient du bassin versant (agricole + urbain) », « Transferts amont-aval (fonction de filtre) : Aulne, Elorn », « Considération des acteurs BV aval » et « Les solutions viennent du bassin versant » sont regroupées dans la catégorie « Compréhension et solutions Amont-Aval BV. Dans un souci de lisibilité, seules les propositions ayant recueilli plusieurs votes sont représentées.

Les points importants relevés par les acteurs de la Rade concernent en priorité « une meilleure compréhension et des solutions Amont-Aval sur le bassin versant ». On retrouve donc l'idée de continuum Terre-Mer qui permet de tracer une ligne continue, au fil de l'eau, depuis les sources de l'Aulne, de l'Elorn, de l'Ellez ou des petits fleuves côtiers jusqu'en Rade de Brest, exutoire unique de tous ces fleuves et cours d'eau. Le maintien des activités de pêche figure parmi les préoccupations majeures. Ce maintien est largement conditionné à une amélioration de la qualité de l'eau (diminution de l'apport en nutriments, élimination des pollutions), et à une mise au point de techniques de pêche moins dégradantes pour les fonds marins. Trois points importants sont repris régulièrement ; la présence de substances médicamenteuses dans l'environnement ; l'attention particulière qui doit être portée à la biodiversité (espèces et habitats à préserver) ; et le suivi des pollutions/concentrations en polluants sur le temps long (ca. 50 ans).

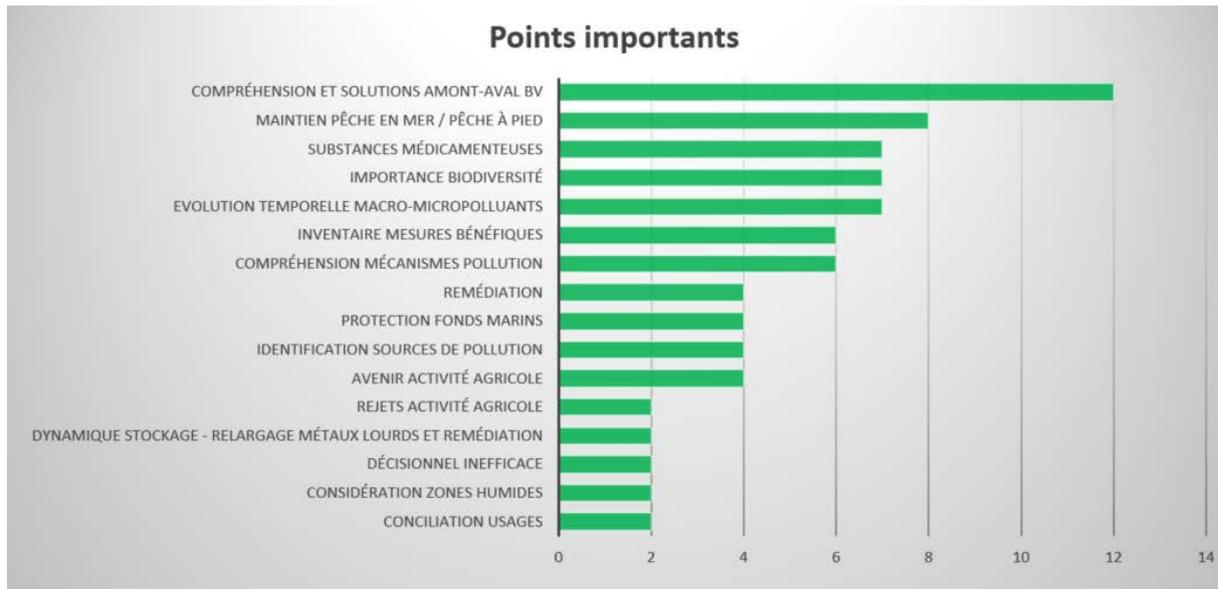
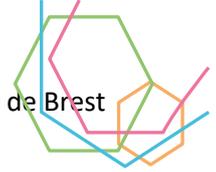


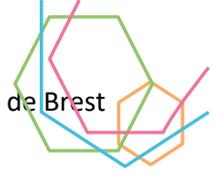
Figure 192 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie 'un point important'.

Les critiques du document de pré-diagnostic ont principalement porté sur la mise en forme des données, leur exhaustivité, leur précision et/ou leur contextualisation. On retrouve notamment plusieurs demandes d'explications de seuils réglementaires pour accompagner les chiffres, une meilleure quantification des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, ou encore l'ajout de thématiques supplémentaires (pollution sonore, radionucléides, TBT). La description économique du bassin versant de la Rade de Brest fait partie des recommandations de certains acteurs, tout comme la création d'une aire marine protégée.



Figure 193 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie 'Ce qui manque'.

Les préoccupations majeures des acteurs sont portées en premier lieu sur les usages sur le bassin versant et en rade de Brest. L'avenir de l'activité agricole est largement repris par les acteurs. Cette



préoccupation est justifiée à la fois par l’emprise agricole sur le bassin versant, qui représente près de 80% du territoire, son poids économique, et d’autre part les apports en nutriments (azote, phosphore) ou en substances polluantes (ex : pesticides), générées par ces activités. En deuxième position dans les préoccupations, la vulnérabilité des activités de pêche (conchyliculture, pêche embarquée), qui sous-entend également l’avenir de ces professions dans l’hypothèse d’une évolution dégradée de la qualité de l’eau. On retrouve dans ces deux préoccupations majeures la nécessité d’une conciliation des usages sur un même bassin versant. La volonté politique et la mise en place d’actions concrètes pour faire évoluer positivement la situation. Une gouvernance forte fait partie des demandes récurrentes exprimées durant ces ateliers. D’autre part, les problèmes majeurs pointés par les acteurs de la rade reprennent largement les thématiques développées pendant les présentations (microplastiques, pesticides, assainissement, métaux lourds etc.).

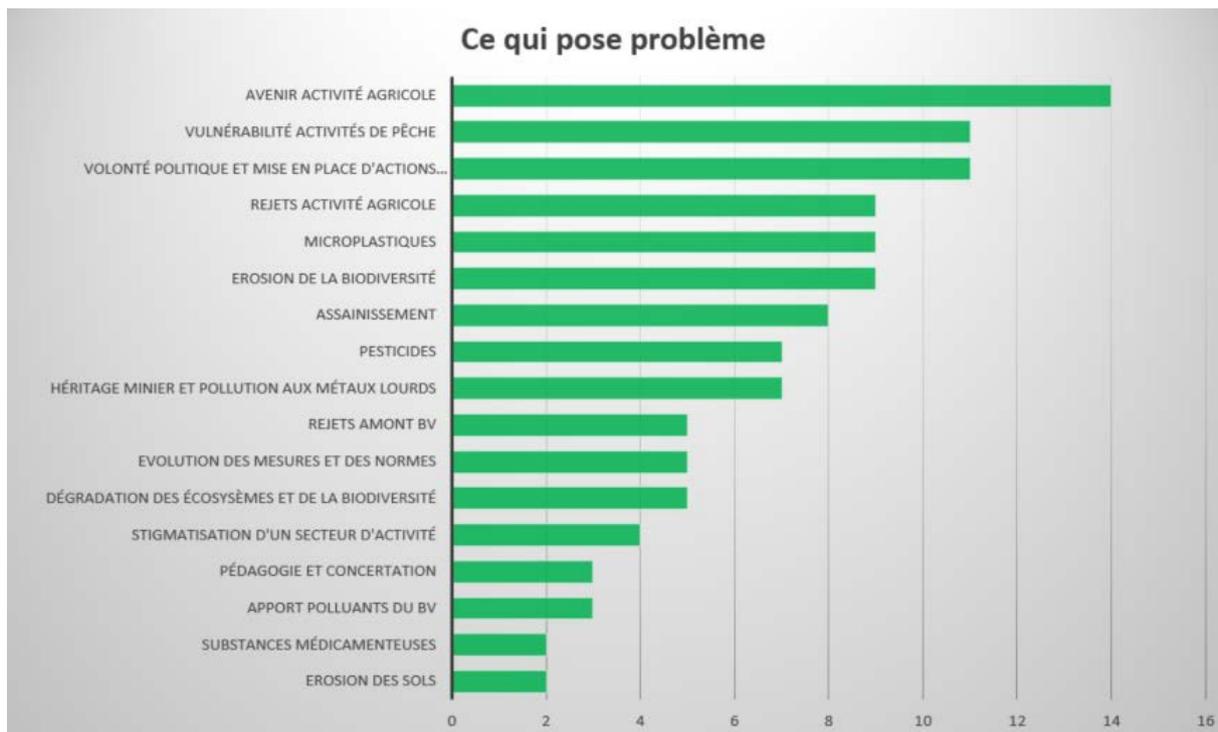


Figure 194 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie ‘Ce qui pose problème’.

Les attentes exprimées par les acteurs de la rade (Figure 195) traduisent une volonté de gouvernance efficiente et d’actions concrètes pour une évolution vers une meilleure qualité de l’eau. On retrouve ici encore la volonté d’une gouvernance forte et réfléchie qui prenne les bonnes décisions en matière d’environnement pour une amélioration de la qualité des milieux. Beaucoup d’acteurs ont également exprimé la nécessité d’une conciliation économique, sociale, et environnementale pour la prise de décision. D’autre part, la pédagogie et la concertation sont primordiaux pour beaucoup d’acteurs. Ces notions conditionnent la bonne acceptation des mesures et actions prises en faveur de l’environnement. Enfin, citons le financement comme attente des acteurs sur le développement du contrat de rade.

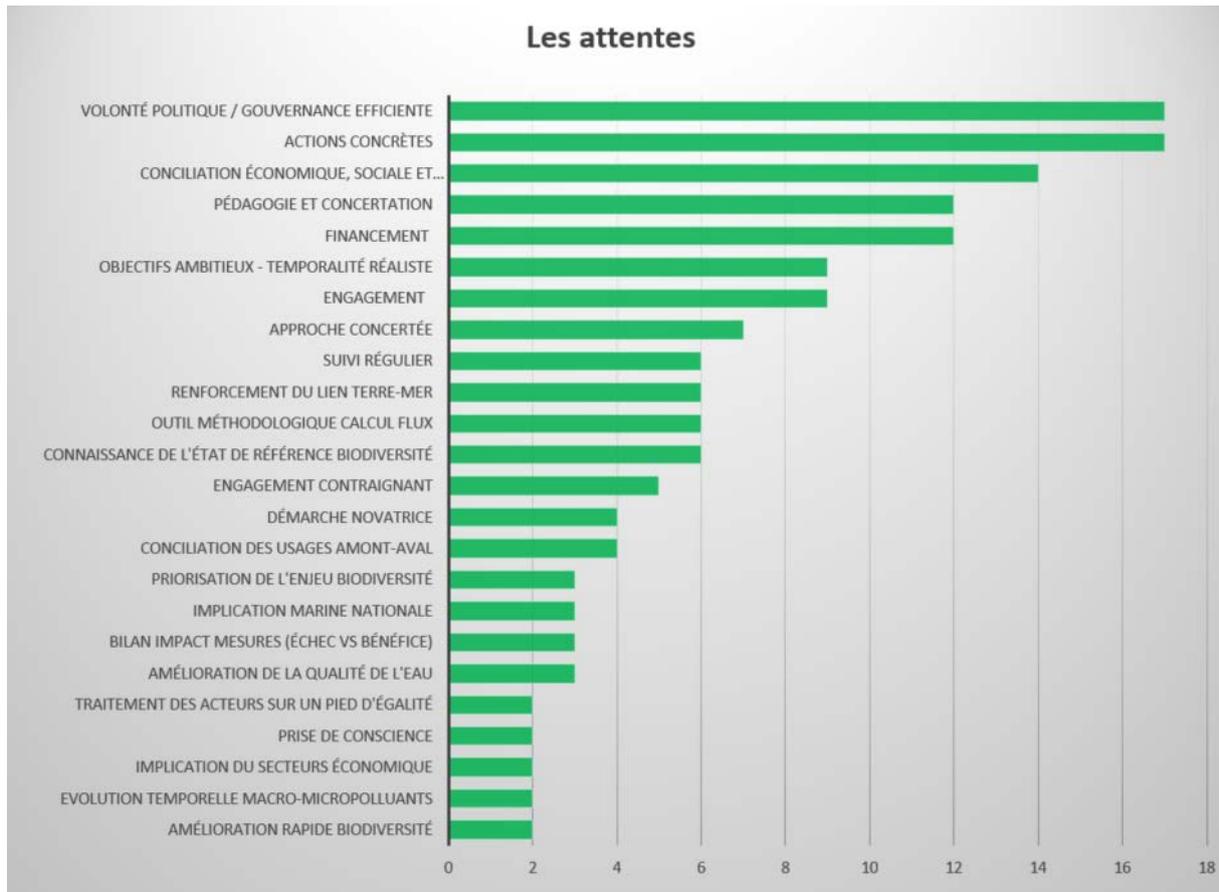
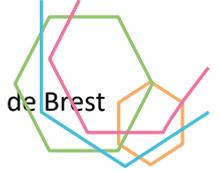


Figure 195 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie 'Les attentes'.

Les craintes exprimées par les acteurs sont en priorité portées sur le fait qu'il n'aboutisse qu'à un étage supplémentaire du mille-feuille réglementaire et administratif. La seconde préoccupation majeure porte sur l'aspect contraignant du contrat. Quel pouvoir, quelle instance pourra légitimement faire respecter les actions décidées dans ce contrat ? Les clivages et l'incapacité à agir de manière concertée sur l'ensemble du bassin versant figure aussi parmi les préoccupations majeures.

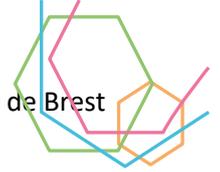
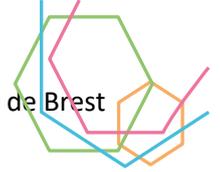


Figure 196 : Regroupement des votes de chaque groupe pour la partie 'Les craintes'.

VI.2.2. Seconde session

La seconde session des ateliers du contrat de rade est organisée au centre Juvénat, à Châteaulin, le 21 Juin 2022. Cette seconde session s'est déroulée en trois parties :

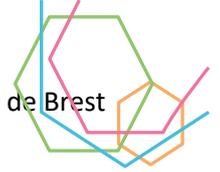
- Une séance plénière, ou plusieurs présentations se sont succédées : (1) Une introduction par L. Peron (Maire du R. Kerhuon, Maire du R. Kerhuon et Président du comité du contrat de rade de Brest) ; (2) Une intervention de L. Bosseboeuf (Doctorant) sur l'Historicité de la rade de Brest et l'évolution du socio-écosystème du 18 au 20^{ème} siècle ; (3) Une rétrospective sur les travaux scientifiques en rade de Brest par Y.M. Paulet (Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale) ; (4) Une intervention d'A. Pibot (Office Français de la Biodiversité) sur les écosystèmes de la rade et l'influence de certains usages ; (5) Un état des lieux de l'avancement du diagnostic environnemental du Contrat de rade avec J. Le Goff (Ingénieur-Docteur, Labocéa).
- Des ateliers participatifs et la répartition en cinq groupes d'acteurs 'hétérogènes' (par opposition aux groupes 'homogènes' d'utilisateurs formés pour la première session) regroupés autour de deux questions : (1) Qu'êtes-vous prêts à faire pour améliorer la qualité de l'eau en rade de Brest ; et (2) Comment ces propositions s'articulent-elles avec les symptômes de la rade ?
- Une brève restitution des résultats des ateliers, par groupe de travail. Les résultats de cette restitution sont retranscrits et analysés ci-après :



Dans chaque groupe, de nombreuses propositions et leurs conditions associées ont émergé. Les participants se sont ensuite positionnés sur ces différentes propositions à l'aide de pastilles de couleurs : bleu = bonne idée, je souhaite m'y associer ; vert = bonne idée ; rouge = mauvaise idée. Cette phase de positionnement sur les propositions a eu principalement pour effet de donner du poids aux idées jugées comme 'bonnes'. Les résultats font apparaître les propositions et conditions suivantes (par groupe) :

- Groupe 1 :
 - Faire évoluer les modèles agricoles, par une amélioration (changement) des circuits de transformation, et une lutte contre les lobbys.
 - Un réaménagement foncier, avec un regroupement du parcellaire, une restauration du bocage, une lutte contre l'érosion, et une acceptabilité des différents acteurs du territoire.
 - Limiter les rejets d'eaux usées au milieu naturel et une récupération des eaux de pluie.
 - Apporter des aides financières et prioriser les actions (services de l'Etat).
- Groupe 2 :
 - Limiter l'érosion des sols en faisant évoluer la réglementation pour une meilleure préservation du bocage
 - Préserver les têtes de bassins versants par une gestion durable en partenariat avec le monde agricole.
 - Explorer la voie de l'agriculture régénérative et de conservation.
 - Accompagner les pratiques pionnières et leur évaluation.
- Groupe 3 :
 - Améliorer les techniques agricoles (ex : désherbage mécanique, buses de précision) en apportant des moyens financiers.
 - Un suivi des indicateurs et un retour d'expériences (manque d'acteurs de la société civile, des urbanistes et des architectes)
 - Améliorer l'assainissement en élargissant les moyens et en exerçant des contraintes plus forte sur les élus et les usagers.
 - Améliorer la communication, en permettant au public de comprendre et de s'approprier ces thématiques environnementales.
- Groupe 4 :
 - Une sensibilisation des agriculteurs à l'érosion des parcelles en pente, par un accompagnement.
 - Une amélioration et une mise en conformité des assainissements non-collectifs, par des aides financières plus conséquentes.
 - Un développement d'engins de pêche aux conséquences moins néfastes pour l'environnement en favorisant le financement d'expérimentations.
 - Renforcer le lien Terre-Mer des acteurs de la rade de Brest au moyen d'actions de sensibilisation (ex : opération 'ici commence la mer').
- Groupe 5 :
 - Améliorer les systèmes d'assainissement collectifs et non-collectifs, en renforçant l'autonomie des collectivités.
 - Améliorer les techniques de pêche pour favoriser une transition vers une pêche durable.
 - Identifier un gouvernant, par exemple le Préfet.
 - Améliorer les pratiques agricoles sur le bassin versant, en accompagnant l'émergence de nouvelles techniques et l'accompagnement financier.

Les propositions des cinq groupes retranscrivent les préoccupations majeures des acteurs du bassin versant. Même si les propositions sont exprimées différemment selon les groupes, elles rejoignent des



thématiques communes abordées dans le diagnostic environnemental, parmi lesquelles sont identifiables :

Le modèle agricole actuel et les techniques qui y sont associées, et la nécessité de faire évoluer l'activité vers des techniques et des circuits de transformation plus vertueux (préservation des têtes de bassins versants et du bocage, sensibilisation aux mécanismes d'érosion, amélioration des circuits de transformation, etc.).

L'assainissement des eaux usées des installations collectives et non-collectives (ANC) doit être amélioré pour limiter la dégradation du milieu naturel. Les leviers d'amélioration évoqués visent à : renforcer les contraintes sur les élus et les usagers, renforcer l'autonomie des collectivités, augmenter les aides financières pour la mise en conformité des ANC.

Les techniques de pêche doivent faire l'objet d'un effort de recherche et de développement pour la mise au point d'outils moins néfastes pour l'environnement marin. Le financement d'expérimentations pourrait permettre d'orienter la profession vers des techniques plus durables.

Un modèle de gouvernance clair et efficace pourrait permettre de renforcer le continuum Terre-Mer sur la rade et ses bassins versants, de prioriser les actions vertueuses pour l'environnement. Une communication efficiente pourrait permettre au public et aux acteurs de la rade de s'approprier les problématiques environnementales du territoire.