

Annexe 5 :

Test méthodologique de détection automatique des dépôts putréfiants par traitement d'images

1. CONTEXTE

Dans le cadre du projet IZAR, l'analyse des dépôts d'algues putréfiants est réalisée par photo-interprétation des images aériennes acquises le long du littoral pour le suivi des échouages d'ulves. Les précédentes études ont permis d'identifier les sites les plus souvent concernés par des événements de putréfaction et de définir une typologie des dépôts putréfiants selon 4 classes distinctes :

<u>Cas n°1</u> Dépôts putréfiés et encroutés d'algues vertes	<u>Cas n°2</u> Echouages importants d'algues vertes ou sédiment en putréfaction	<u>Cas n°3</u> Plaques algues/sédiment en putréfaction sur les vasières	<u>Cas n°4</u> Autres cas particuliers (ex : sédiments nus en putréfaction sans dépôt apparent d'algues)
			

Chaque inventaire constitue plusieurs centaines de photos sur des secteurs plus ou moins vastes. Le dépouillement des images, l'analyse visuelle des dépôts et la caractérisation des zones en putréfaction nécessite un travail lourd et fastidieux et du personnel qualifié et formé pour la reconnaissance des échouages.

L'objectif de ce travail est de tester les méthodes récentes d'analyses et traitements d'images automatisés afin **1/** de présélectionner les photographies aériennes susceptibles de présenter une zone de putréfaction et **2/** délimiter les zones en putréfaction sur les photos sélectionnées selon les 4 classes préalablement définies.

2. METHODOLOGIES

Les photos aériennes sont réalisées à l'aide d'appareils Reflex Nikon d'au moins 20 MPixels et caractérisées par 3 bandes spectrales dans le visible (canaux rouge, vert, bleu). Les conditions météorologiques déterminent les conditions de vol qui auront une influence sur la résolution spatiale (selon l'altitude de vol), l'angle de prise de vue et le contraste de chaque cliché. Ces paramètres diffèrent d'un site à l'autre et d'un inventaire un autre et ont pour conséquence de multiplier les caractéristiques visuelles pour un même type de dépôt.

Une première analyse a été réalisée afin d'extraire les caractéristiques des dépôts putréfiants sur les images en terme de signatures spectrales, texturales et morphologiques à l'aide du logiciel ENVI. Pour cela, la base de données constituée dans l'étude préliminaire à partir des photos aériennes et des polygones digitalisés sur les années 2008, 2009 et 2010 a été utilisée. Les paramètres de textures ont été analysés selon des filtres d'homogénéité, moyenne, variance, contraste, dissimilarité et entropie des valeurs des pixels, sur une fenêtre mobile de 3x3 pixels. Ces caractéristiques pour chaque type de dépôt ont ensuite été intégrées dans des classifications supervisées (SAM – Spectral Angle Mapper, Minimum Distance) et non supervisées (K-Means).

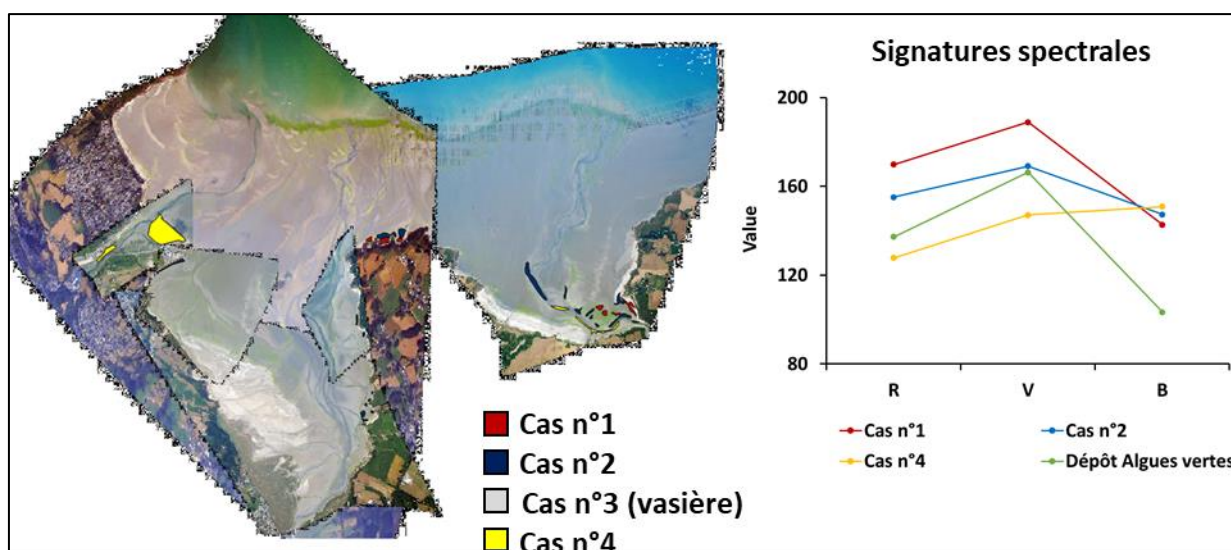
D'autre part, un jeu de données constitué à partir de l'inventaire de septembre 2019 et des digitalisations des zones putréfiantes a été utilisé en tant que base d'apprentissage d'un réseau de neurones (avec une méthode de Deep Learning) pour le repérage et la sélection de photos contenant des cas potentiels de putréfactions. Un test d'apprentissage a été mené à partir d'un extrait d'une trentaine d'images comprenant une centaine de polygones représentant plus de 3,5 millions de pixels à analyser. L'apprentissage du modèle s'est réalisée sur 80 % des données et les 20 % restant ont été utilisés pour la validation du modèle. Le modèle a été entraîné en prenant 20 époques/itérations et 100 lots par époque.

- Une époque/itération correspond à une analyse entière du jeu de données. L'ensemble du jeu de données a donc été analysé 20 fois pour l'apprentissage.
- Le jeu de données global est subdivisé en 100 lots

3. RESULTATS

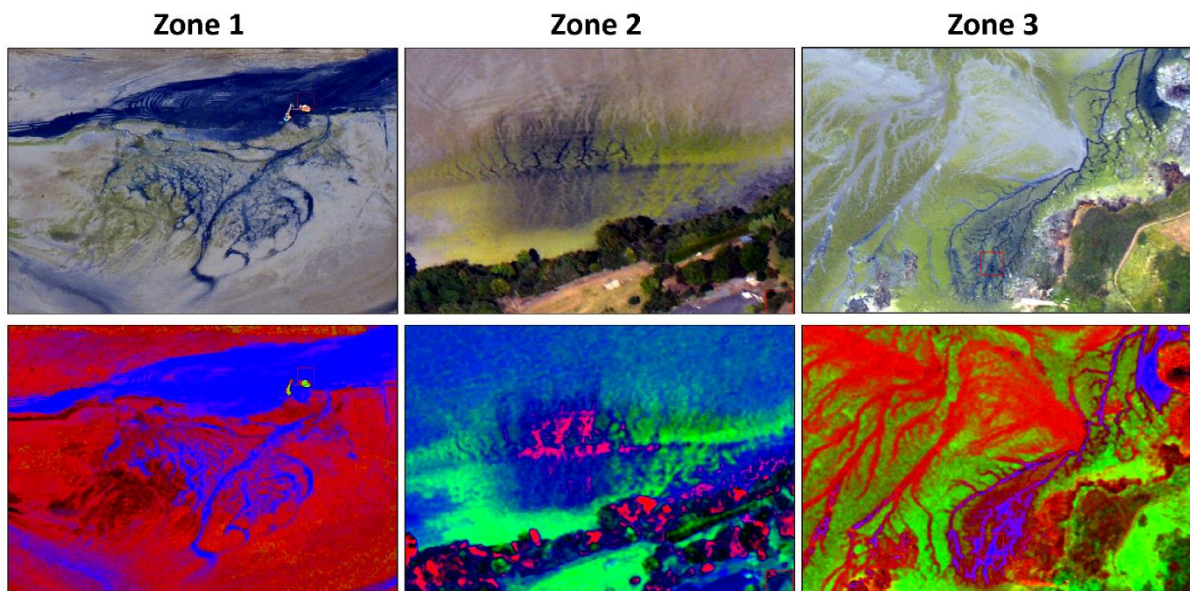
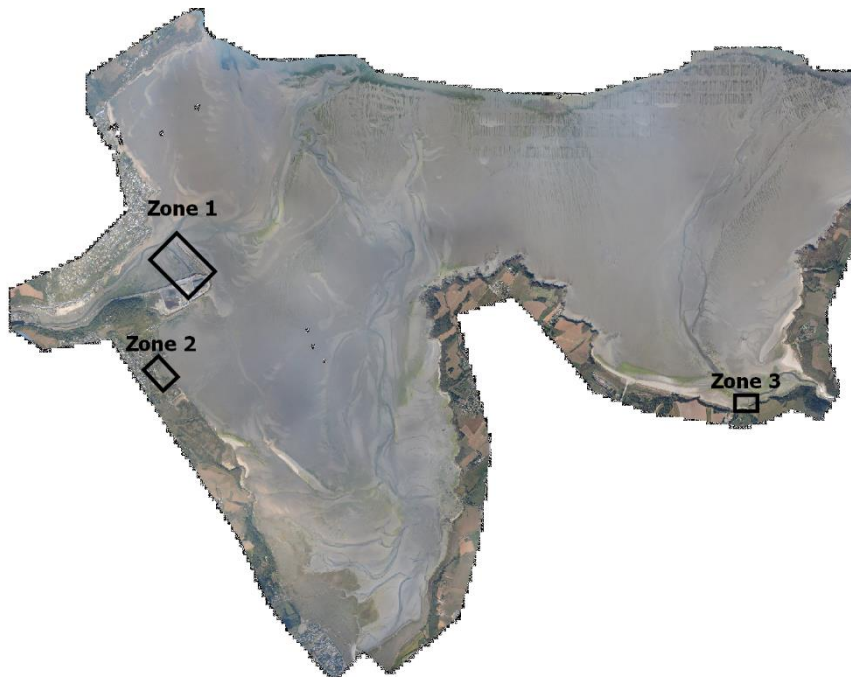
3.1. Analyse texturale et spectrale

L'analyse spectrale et texturale des différentes typologies de dépôts en putréfaction a montré qu'il est possible, dans certains cas, de distinguer des variations spectrales malgré le nombre réduit de bandes (3 bandes RVB). La figure ci-dessous présente les différents polygones digitalisés sur la baie de Saint-Brieuc pour les inventaires de 2008, 2009 et 2010, ainsi que les variations spectrales moyennes de chacune des 4 classes identifiées (hormis la classe 3 correspondante aux vasières et non aux baies sableuses).



Les formes spectrales les plus proches sont celles des dépôts d'algues vertes (courbe verte) avec le cas n°1 (courbe rouge) qui correspond à des dépôts d'ulves encroutés. La distinction peut se faire notamment par un albédo (ou réflexion) plus élevée pour le cas n°1 de putréfaction car les algues vertes qui se dégradent, se dépigmentent et forment une croûte blanchâtre qui reflète davantage la lumière.

Les indices de textures, croisés avec les signatures spectrales des dépôts, permettent d'identifier les zones d'intérêt image par image (figure ci-dessous).

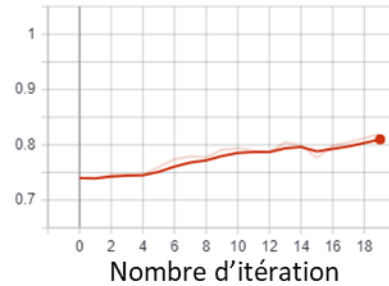
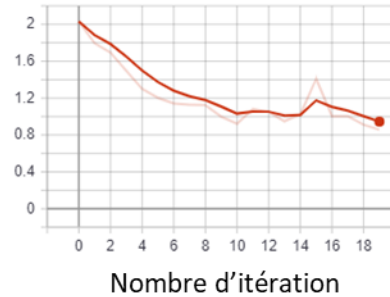
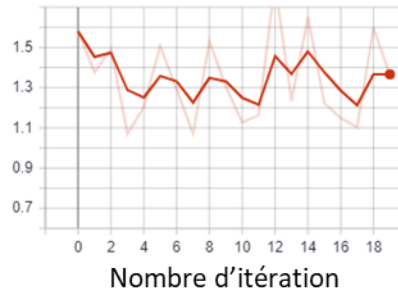


3.2. Analyse Deep Learnig

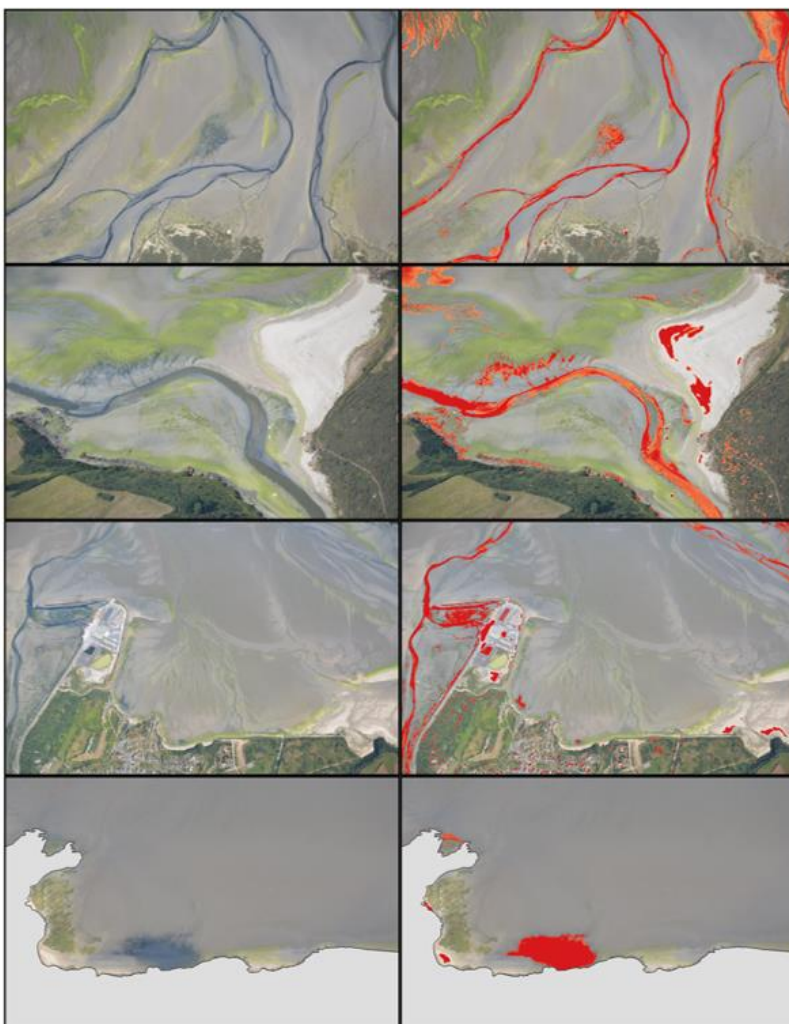
L'extrait du jeu de données de juillet 2019 a permis d'alimenter un 1er modèle d'apprentissage à l'aide d'un réseau de neurones (méthode deep learning). L'évaluation de l'apprentissage peut se traduire par les résultats des statistiques obtenues par lot ou par itération.

Les graphiques **A** et **B** représentent la précision par lot et par itération qui sont croissante et atteignent une valeur d'environ 0.8 (plus la précision se rapproche de 1 et plus le modèle est fiable).

Les graphiques **C** et **D** représentent les erreurs observées lors des itérations réalisées sur les données d'entraînement ou sur les données de validation. Au cours des itérations ces erreurs tendent à diminuer (plus les erreurs se rapprochent de 0 et plus le modèle est fiable).

A) Précision de lot**B) Précision des itérations****C) Erreur des itérations sur les données d'entrainements****D) Erreur des itérations**

Le modèle a été appliqué sur des images tests afin d'évaluer la plus forte probabilité d'avoir un échouage putréfiant. Les classes des plus faibles probabilités ont été masquées afin de délimiter les zones probables en putréfaction. Les classifications sont satisfaisantes mais des améliorations sont à apporter pour affiner le modèle d'apprentissage car il existe des faux positifs et des faux négatifs sur les résultats des classifications.



Précision globale : 67 %

Kappa : 0,51

Confusion Putréfaction > Algues vertes : 18 %

Confusion Putréfaction > Sédiment : 14 %

Confusion Algues vertes > Putréfaction : 2 %

Confusion Sédiment > Putréfaction : 3 %

Précision globale : 59 %

Kappa : 0,32

Confusion Putréfaction > Algues vertes : 10 %

Confusion Putréfaction > Sédiment : 29 %

Confusion Algues vertes > Putréfaction : 5 %

Confusion Sédiment > Putréfaction : 13 %

Précision globale : 68 %

Kappa : 0,36

Confusion Putréfaction > Algues vertes : 2 %

Confusion Putréfaction > Sédiment : 27 %

Confusion Algues vertes > Putréfaction : 7 %

Confusion Sédiment > Putréfaction : 3 %

Précision globale : 83 %

Kappa : 0,35

Confusion Putréfaction > Algues vertes : 9 %

Confusion Putréfaction > Sédiment : 7 %

Confusion Algues vertes > Putréfaction : 0 %

Confusion Sédiment > Putréfaction : 11 %

4. CONCLUSION

Les méthodes testées dans le cadre de cette action sont encourageantes au vu des résultats obtenus et de la possibilité d'identifier les zones putréfiantes selon leurs caractéristiques spectrales et texturales. Les méthodes de deep learning sont également prometteuses mais nécessitent néanmoins un développement plus conséquent, avec notamment, l'alimentation de la base de données d'apprentissage avec toutes les données récemment analysées (intégration des digitalisations 2017, 2018, 2019 sur plusieurs inventaires). La diversité des exemples de putréfaction qui sera implémentée dans le modèle aura pour conséquence d'améliorer les statistiques de précision et de réduire les erreurs lors de l'apprentissage du modèle. Cela nécessite de fournir un grand nombre de cas possibles pour chacune des catégories en tenant compte également des conditions météorologiques au moment des prises de vues qui modifient la perception des échouages. La sélection des images afin de réduire le nombre de photos à analyser par un opérateur à la suite d'un inventaire aérien, pourra se faire dans un second temps, lorsque le modèle sera en mesure d'identifier les différents types de dépôts avec plus de précision.

Annexe 6 :

Banques de données exploitées et méthodes déployées pour la cartographie

Dépôts d'ulves dans les sites :

Photos aériennes : dans le cadre de ses missions de suivi des algues vertes, le CEVA a acquis des photos aériennes de l'ensemble du littoral breton (« survol quasi exhaustif du littoral » : 4 par an de 2002 à 2006 dans le cadre du programme Prolittoral, 3 par an depuis 2007 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE). En complément, afin de mieux suivre les secteurs les plus touchés ou les plus « sensibles » le CEVA photographie 30 sites dits en suivis « renforcés » (sites prédéterminés ; 7 fois par an depuis 2002). Pour plus de détails sur ces suivis, se reporter aux rapports RCS⁷ qui décrivent les méthodologies de suivi du littoral. Depuis 2005, toutes les acquisitions photographiques aériennes sont numériques et de ce fait facilement accessibles (photos des années antérieures stockées en format papier, par date d'inventaire et dans l'ordre géographique des prises de vue et très partiellement numérisées).

Les données issues des contrôles de terrain : après chaque survol, le CEVA détermine les sites sur lesquels des contrôles de terrain doivent être entrepris afin de mieux caractériser les dépôts d'algues perçus lors du survol. Est notamment relevée la proportion d'ulves dans l'échouage (sites sableux) ou la présence de tapis d'ulves (sites de vasière), données qui sont utilisées pour classer les sites comme « touchés » par des proliférations ou échouage d'ulves. L'ensemble des relevés de terrain fait l'objet de mise en fiches (photos aériennes, de terrain, description des types d'algues présentes...). Outre ces informations, sont reportées sur les fiches les informations sur les situations de putréfactions rencontrées (et depuis 2009, sont parfois ajoutées des mesures de teneurs en H₂S des dépôts en putréfaction).

Polygones de dépôt d'ulves ou d'algues vertes : les sites « sableux » classés comme « touchés par des échouages d'ulves » font l'objet de digitalisation des couvertures d'algues vertes (tracé de polygones autour de chaque zone de dépôts d'ulves). Un site « sableux » est classé comme « touché » par des proliférations d'ulves si des quantités anormales d'algues vertes sont détectables par avion et si le contrôle de terrain confirme que ce sont bien des ulves, qu'elles sont libres et représentent visuellement plus d'un tiers de l'échouage. Pour le cas des vasières, depuis 2008 les digitalisations des dépôts d'algues vertes sont réalisées pour l'ensemble des tapis d'algues vertes (ulves en lame ou filamenteuses) des sites « classés pour les ulves ». Sont classés comme touchés par une prolifération d'ulves les sites présentant, au moins localement des tapis continus d'ulves en lame. A partir de 2011, afin d'alléger les suivis, les digitalisations ne concernent plus que 10 Masses d'Eau (définies comme « hors du Bon Etat DCE » en 2010) que les sites soient « classés pour les ulves » ou pas. Pour tous ces inventaires « classiques » de suivi des proliférations, le CEVA digitalise tous les dépôts d'ulves, pour chaque site « classé » comme touché par un échouage d'ulves. Ces échouages n'impliquent pour autant pas forcément des risques d'émanation de H₂S, les algues fraîches, régulièrement reprises par la marée, n'étant pas émissives. Tous les tracés des polygones d'échouage d'ulves sont stockés sous système d'information géographique depuis le démarrage de ces suivis en 2002 et donc facilement exploitables pour des traitements cartographiques.

Dépôts identifiés en état de putréfaction :

Données issues de l'étude 2010 : dans le cadre de cette étude, les dépôts putréfiants avaient été photo interprétés à 4 dates sur l'ensemble du littoral (juillet 2008, septembre 2008, juillet 2009, juillet 2010), dates auxquelles avaient été ajoutés des compléments pour intégrer des zones de vasières partiellement couvertes (juin 2008 et août 2009). L'ensemble des polygones issus de cette étude sont disponibles sous format SIG.

Mesures H₂S complémentaires 2019 : Dans le cadre du présent programme, des relevés spécifiques ont été entrepris sur des dépôts préalablement repérés lors des survols du littoral (cf. 2.2). Ces mesures ont été centralisées dans une base et exploitées avec les connaissances préalables du Ceva pour réaliser les photo-interprétations des putréfactions sur le littoral.

Tracés 2019 des zones putréfiantes sur les années 2016-2019 : Dans le cadre du présent programme ; 5 campagnes aériennes ont été exploitées afin d'identifier les zones touchées par des putréfactions (méthodologie : cf. 2.2). L'ensemble des données qui en est issu a été centralisé dans une base de données SIG disponible ensuite pour les différents traitements.

⁷ Rapports consultables sur le site CEVA <https://www.ceva-algues.com/document/etude-et-suivi-des-marees-d-algues-vertes-en-bretagne/>

Méthode de photo-interprétation des dépôts putréfiants

L'ensemble des photos aériennes prises dans le cadre des suivis des proliférations d'ulves a fait l'objet d'une analyse afin de déterminer les dépôts putréfiants, d'après leur morphologie et la connaissance terrain de « situations types », à cinq périodes d'inventaire différentes : juillet 2016, juillet 2017, juillet 2018, juillet 2019 et septembre 2019 (survol réalisé dans le cadre du réseau de Contrôle de Surveillance DCE sous maîtrise d'ouvrage AELB).

Comme présenté ci-dessus, afin d'améliorer la photo interprétation des situations de putréfaction le CEVA a réalisé des mesures spécifiques de teneurs en H₂S (cf. paragraphe 2.2.2) suite aux survols de 2019.

Les dates de survol analysées ont été retenues, **parmi les 4 dernières années disponibles, pour les inventaires qui semblaient présenter le plus de situations de putréfaction afin de repérer les secteurs les plus soumis à ces phénomènes.** Malgré ce choix, nous ne pouvons prétendre au report de l'intégralité des secteurs ayant été soumis à des putréfactions sur ces 4 années, les phénomènes de putréfactions pouvant être ponctuels et limités dans le temps.

Campagne de vol	Dates des vols analysés visuellement	Secteurs analysés
Juillet 2016	19/07/2016	littoral Bretagne Nord
	21/07/2016	littoral Bretagne Sud
Juillet 2017	24/07/2017	littoral Bretagne Sud
	25/07/2017	littoral Bretagne Nord
Juillet 2018	11/07/2018	littoral Bretagne Nord
	12/07/2018	littoral Bretagne Sud
Juillet 2019	16/07/2019	littoral Bretagne Nord
	18/07/2019	littoral Bretagne Sud
Septembre 2019	14/09/2019	littoral Bretagne Nord
	16/09/2019	littoral Bretagne Sud

Afin de faire un état des secteurs présentant des putréfactions, 5 campagnes de vols ont été exploitées par analyse visuelle et photo interprétation des dépôts dont la morphologie conduit à estimer qu'il y a putréfaction donc risque d'émission de H₂S. L'ensemble des photos brutes acquises lors des vols a donc été passé en revue pour chacune des dates. Les données de contrôle de terrain, quand elles permettent de mieux décrire les dépôts perçus en aérien, ont été systématiquement exploitées pour appuyer les photo-interprétations. Chaque dépôt identifié comme putréfiant est reporté sur Système d'Information Géographique (SIG) à une échelle comprise entre le 1/1 000^{ème} et 1/2 500^{ème}, en décrivant la typologie (base typologie établie en 2010) et la date d'observation. Ces informations sont stockées dans une base de données qui pourra être complétée ultérieurement par d'autres dates d'inventaires.

Lors des survols « généraux » des côtes (en mai, juillet et septembre), l'ensemble du littoral breton est survolé sur 2 journées (à noter que certaines portions du littoral, dont certaines îles et des fonds de ria ne peuvent être survolés ; pour plus de détail, se référer aux rapports RCS qui décrivent les suivis réalisés). Certains vols complémentaires sont réalisés pour étendre les observations notamment aux vasières en fond de ria (suivi spécifique des Masses d'Eau de Transition). Afin de décrire le littoral de la façon la plus exhaustive possible, en complément des survols généraux de juillet 2016, 2017, 2018 et de juillet et septembre 2019, les survols spécifiques ont également été analysés pour déterminer si des dépôts non photographiés dans les survols généraux étaient à ajouter.

Test méthodologique de détection automatisé des dépôts putréfiants par procédure de traitement d'images

Afin de pouvoir envisager de systématiser les analyses des secteurs en putréfaction, il a été proposé de tester des traitements d'image qui pourraient, au moins sur certains types de dépôts permettre une détection automatique des situations de putréfaction. Deux approches sont envisagées : la détermination par ces traitements d'une sélection de photos sur lesquelles des dépôts putréfiants seraient présents (permettrait d'éviter de passer en revue plusieurs centaines de photos par inventaire et de sortir une liste plus limitée de photos à analyser) ou l'analyse et la cartographie sur une photo donnée des zones concernées par des putréfactions. Une telle approche, en diminuant les temps de traitements par la méthode « classique » de photo-interprétation, pourrait permettre une analyse plus systématique des photos de survols (allant jusqu'à chaque inventaire de chaque année). Les travaux entrepris font l'objet d'une synthèse en annexe 5.

Cartographie des dépôts d'algues vertes et des dépôts putréfiants

Dans le cadre de la présente étude, différentes cartes ont été générées afin de renseigner la localisation des dépôts putréfiants, leur situation par rapport aux dépôts d'algues vertes plus globalement et enfin leur évolution dans le temps et plus spécifiquement entre la première étude (années 2008-2010) et la présente (années 2016-2019).

▪ Synthèse interannuelle des dépôts d'algues vertes

La base de données interannuelle des couvertures d'ulves constituée à partir de 2002 intègre les données des suivis d'échouages d'ulves. L'objectif initial de ce suivi est l'évaluation de l'importance des échouages par secteur et la perception de l'évolution dans le temps des surfaces couvertes. Cette base, très riche pour décrire les proliférations, ne renseigne pas de façon fiable et exhaustive sur les phénomènes de putréfaction rencontrés sur le littoral. En effet, dans le cadre de ces suivis, seuls les échouages à forte proportion d'ulves (1/3 des algues de l'échouage minimum, pour les sites de type « plage ») font l'objet de digitalisation. Or, même si les dépôts d'ulves sont les plus fréquemment en cause dans les putréfactions rencontrées, des dépôts d'autres natures, comme cela est décrit dans la section 3.2, peuvent générer également de fortes émanations de gaz H₂S. Par ailleurs, la plupart des couvertures d'ulves digitalisées sont constituées d'algues vertes fraîches, exemptes de toute émanation d'H₂S.

La base de données comprenant l'ensemble des digitalisations réalisées de 2010 à 2018⁸ a été analysée afin de connaître les zones d'échouages d'ulves les plus fréquentes, sur les dernières années. Afin d'avoir la même perception pour tous les sites sableux, ne sont traités dans ces cartes que les inventaires « généraux » de mai, juillet et septembre (les inventaires additionnels d'avril, juin, août et octobre ne concernent que les sites en suivi renforcé).

Les limites de dépôts étant, pour chaque date, différentes il n'est pas possible de procéder par simple intersection des polygones. Les traitements réalisés se basent sur la constitution d'un maillage régulier de 75 mètres de côté (soit une surface $S_m = 0.526$ ha pour chaque maille carrée).

Le traitement est alors réalisé maille par maille. Pour une maille donnée et un inventaire donné, est comptée la surface de chaque polygone digitalisé incluse dans cette maille (en équivalent 100 % de couverture : un polygone d'une superficie totale d'1 ha et un taux de couverture de $t_c = 25$ % représente une surface en équivalent 100 % de $S_{pol.eq100} = S_{pol.tot} \times T_c = 0.25$ ha). Ensuite, est évaluée la proportion p de la maille couverte par le polygone. Si la maille est entièrement incluse dans le polygone ($p = 1$) on aura alors $S_{mi} = p \times S_m \times T_c$ soit dans l'exemple précédent (1 ha à 25 % de couverture) = $1 \times 0.526 \times 0.25 = 0.14$ ha alors que si le polygone ne couvre que la moitié de la maille ($p=0.5$) on aura alors une $S_{mi} = 0.5 \times 0.526 \times 0.25 = 0.07$ ha.

On détermine ensuite le taux de couverture moyen interannuel $T_{cinterannuel}$ de chaque maille : pour une maille

⁸ Au moment des traitements, les données de l'année 2019 n'étant pas validées, la chronique 2010-2018 a été utilisée. L'intégration de l'année 2019 ne changerait que très peu la représentation proposée.

donnée les surfaces S_{mi} de chaque date d'inventaire sont sommées ; la valeur obtenue est ensuite divisée par la surface de la maille S_m puis par le nombre d'inventaire n_i (nombre différents suivant les types de sites : les sites sableux bénéficiant de 3 dates d'inventaire annuelles et les vasières ne faisant l'objet de digitalisation que sur la date du maximum annuel).

Le taux de couverture interannuelle pour une maille est alors calculé : $T_{cinterannuel} = \frac{\sum S_{mi}}{S_m \cdot n_i}$

La méthode de calcul permet donc d'intégrer pour toutes les dates renseignées les occurrences des dépôts et les taux de couverture. Il en résulte une carte présentant les taux de couverture moyens interannuels des dépôts d'ulves observés de 2010 à 2018. La lecture de cette première cartographie permet de repérer les secteurs de dépôts les plus récurrents, susceptibles, particulièrement en haut de plage, de causer des nuisances, voire des risques sanitaires.

Pour les secteurs de plage : 3 données annuelles sur tous les sites de 2010 à 2018 (mai, juillet et septembre) ont été exploitées soit 27 inventaires. Pour un site « classé » comme touché par un échouage d'ulves, tous les dépôts d'ulves visibles sur les photos aériennes sont digitalisés, avec estimation du taux de couverture pour chaque polygone.

Pour les sites de vasière : seule une évaluation à la date du maximum annuel apparent est exploitée (une donnée par an, comme préconisé pour le suivi des Masse d'Eau de type « vasière » dans le cadre de la DCE). Pour les secteurs suivis tous les ans (10 Masses d'Eau et environ 30 à 35 « sites ») la compilation réalisée porte donc sur 9 inventaires (certaines vasières ne sont plus suivies depuis 2011, d'autres depuis 2013 ou 2014 ; dans le cas de ces vasières, les couvertures sont calculées sur les années disponibles ; dans le cas des vasières les moins bien suivies, seule l'année 2010 était disponible sur la période 2010-2018). La méthode employée a tendance à surestimer les taux de couverture sur les vasières, ceux-ci étant issus de la mesure du maximum annuel, plutôt que de mesures sur l'ensemble de la saison comme sur les sites « sableux ». Cependant, les dépôts sur les vasières étant relativement peu mobiles et peu fluctuants au cours de la saison, cette représentation est assez conforme à la réalité de la couverture des vasières.

• Cartes de location des secteurs présentant des putréfactions

Les cartes sont issues de l'analyse (cf. 2.3) des campagnes aériennes de juillet 2016, juillet 2017, juillet 2018, juillet 2019 et septembre 2019.

La localisation des dépôts identifiés comme putréfiants est proposée au travers de cartes détaillées, sectorielles (jeu de 16 cartes). Ces cartes présentent le cumul de toutes les zones identifiées comme en putréfaction sur les 5 dates d'inventaire de 2016 à 2019. La situation reportée n'a donc pas existé à un instant donné.

L'information contenue dans ces 16 cartes sectorielles est synthétisée dans une carte « régionale ». Pour cette carte régionale, afin de conserver une lisibilité suffisante à cette échelle, toutes les zones en putréfaction appartenant à un même type et distant de moins de 800 m ont été fusionnées et représentées par un symbole placé au centre de la zone issue de la fusion.

A noter que certains dépôts identifiés comme putréfiants peuvent être positionnés en dehors des zones de dépôt d'ulves issues de l'exploitation de la base de données interannuelles. Il s'agit de zones en putréfaction dont les dépôts n'ont pas été digitalisés dans la base de données interannuelle car ils ne sont pas constitués d'ulves ou pas en proportion suffisante pour que le site soit « classé » (proportion inférieure à 1/3 des algues présentes dans le dépôt).

Carte d'occurrence des dépôts putréfiants sur la période 2008-2019

L'objectif principal de cette étude étant de mettre en évidence les secteurs les plus susceptibles d'être concernés par des putréfactions afin **d'attirer la vigilance sur ces zones « à risque » de putréfaction**, la compilation de l'ensemble des digitalisations de zones en putréfaction a été réalisée. Pour cela, les 4

inventaires de la première étude de 2010 (2008-2010) et les 5 inventaires de la présente étude (2016-2019) ont été exploités afin de calculer « l'occurrence de putréfaction ». L'analyse a été réalisée sur des mailles fines, de 25 m de côté. Pour chaque maille est calculée l'occurrence en tenant compte de la superficie du dépôt en putréfaction dans chaque maille (si une maille est intégralement dans une zone en putréfaction pour chaque date son occurrence sera de 9, mais elle sera de 4.5 si cette maille est concernée un inventaire sur 2 ou alors si c'est uniquement la moitié de la maille qui est couverte lors de chaque inventaire). La localisation des dépôts est proposée à l'échelle sectorielle comme présenté en 4.1 et 4.2 (mêmes emprises géographiques). Ces cartes permettent en plus des cartes du cumul des zones putréfiantes (4.2) de percevoir les zones qui sont le plus souvent concernées, des zones touchées plus épisodiquement. A noter que les **9 inventaires analysés ayant été sélectionnés sur les dates présentant le plus de putréfaction, la situation reportée est donc fortement « maximisée »**. Une analyse qui comporterait par exemple une analyse chaque mois sur plusieurs années aboutirait à des occurrences probablement 5 à 10 fois plus basses.