

Résumé : Les *Haploops* sont des crustacés amphipodes benthiques vivant entre 25 et 45 m de profondeur. À l'embouchure de l'estuaire de la Loire, ces organismes forment des colonies denses qui s'étendent sur plusieurs km² au large du Croisic. Ces espèces ingénieuses construisent des tubes d'une dizaine de centimètres, à partir de particules en suspension et de mucus, constituant un tapis très dense. Ces habitats particuliers retiennent-ils des particules telles que des microplastiques ou des contaminants associés aux fines qui transitent de l'estuaire vers la mer ? Cette étude bibliographique tente de répondre à cette question en s'intéressant à la bioaccumulation des contaminants par des organismes ayant des caractéristiques comparables à celles des *Haploops*.

Mots-clés : *Haploops*, benthique, bioaccumulation, contaminants organiques, métaux.

Les tapis de Haploops, un piégeage naturel des contaminants au seuil de nos estuaires ?



Mégane DANIEL

Nathan CHAUVET

Aurore ZALOUK-VERGNOUX

Agnès BALTZER

Antoine LOUETTE (dessins)

Introduction

Présentation des Haploops et de leur habitat benthique particulier

Les *Haploops* sont des crustacés marins amphipodes de la classe des Malacostracés, de la famille des Ampélicidés qui représentent 32 espèces (World Register of Marine Species WoRMS, photo 1). Ces organismes sont présents dans les fonds marins à des profondeurs allant de 10 à 30 mètres (Ifremer, 2011). Ils forment des peuplements très denses, jusqu'à 25 000 individus/m², appelés des « banquettes ». Les *Haploops* sont des espèces ingénieuses tubicoles qui construisent leur habitat en forme de tube (photo 2) à partir d'un mélange de particules captées dans le milieu (sables fins, sédiments vaseux), de pseudofèces (particules non digérées par l'animal) et de mucus constitué de polysaccharides qu'ils produisent eux-mêmes (Jones *et al.*, 1994 ; Rigolet, 2013). Les *Haploops* passent la majeure partie de leur vie sur le dos au niveau de l'ouverture de leur tube. Ils sont des organismes



Photo 1 - Prise de vue d'un *Haploops niraie*

Crédit photo : Jacky Badelle



Photo 2 - Habitat en forme de tubes d'*Haploopsis nirae*

Crédit photo : Ifremer, Xavier Caisey

suspensivores stricts qui se nourrissent de microalgues et de phytoplanctons en suspension. Ils les filtrent à l'aide de leurs deux paires d'antennes qui balayent la colonne d'eau (Rigolet *et al.*, 2011). Les *Haploopsis* sont des organismes sémelpares qui sortent définitivement de leur tube lorsqu'ils atteignent leur maturité sexuelle. Ils se reproduisent généralement à l'âge de 2 à 3 ans.

Localisation des colonies de *Haploopsis*

Les *Haploopsis* ont été cartographiés dans plusieurs secteurs benthiques comme en Suède, au Danemark et également en France, à Concarneau. Champilou *et al.* (2019) ont mis en évidence la présence des *Haploopsis* dans la partie marine à l'embouchure de l'estuaire de la Loire, dans les zones de La Lambarde et du Croisic (fig. 1). Au niveau de la Lambarde et du Croisic, les tapis s'étendent sur 4 et 6 km²

respectivement. Baltzer *et al.*, (2020.) montrent également que les deux zones d'habitat à *Haploopsis* près de l'estuaire de la Loire progressent spatialement, sur des superficies d'environ 1 km² par an.

Enjeux liés à la présence des tapis de *Haploopsis*

Comme cela a été explicité plus haut, les *Haploopsis* sont grégaires et vivent en colonies très denses. D'après les références bibliographiques (Glémarec *et al.* 1987), leur implantation nécessite un environnement constitué de vases sableuses consolidées telles que celles décrites par Vanney (1964), et l'édification de leurs habitats permet d'augmenter significativement le piégeage des sédiments fins et des particules en suspension dans les masses d'eau. Leur positionnement à l'embouchure de l'estuaire de la Loire laisse supposer que ces habitats sont susceptibles de capter et retenir des contaminants divers. Les tubes pourraient être construits à partir de particules d'origine naturelle (matières organiques particulières, argiles) mais aussi d'origine anthropique (microplastiques). De plus, en considérant que les particules en suspension et les sédiments fins constituent le substrat d'adsorption préférentiel des contaminants organiques hydrophobes et de certains éléments métalliques, ces habitats particuliers pourraient constituer une zone d'accumulation préférentielle, voire de piégeage sélectif.

L'objectif principal d'une future étude sera de déterminer le pouvoir de rétention des tapis de *Haploopsis* en contaminants organiques, en métaux et en microplastiques.

Les *Haploopsis* ayant été peu étudiés et afin de tenter de répondre partiellement à la question scientifique de la rétention des contaminants par l'habitat benthique à *Haploopsis*, une étude bibliographique a été menée. Celle-ci s'est focalisée sur la capacité de bioaccumulation d'organismes benthiques et intertidaux en contaminants organiques, métalliques et microplastiques. Les articles scientifiques

choisis pour réaliser cette étude portent sur des organismes marins possédant des caractéristiques proches de celles des *Haploops* en termes de mode de nutrition par filtration, de formation de colonies denses, d'habitat benthique, de profondeur à laquelle ils vivent.

Les contaminants du milieu marin

Généralités

Chaque année plus de 20 milliards de tonnes de déchets et autres contaminants sont rejetés dans le milieu marin (Planetoscope, 2020). Ils atteignent les côtes et proviennent essentiellement des activités anthropiques qui représentent 80 % de la pollution marine (UNESCO, 2017). En effet, l'industrialisation et l'urbanisation, en s'intensifiant sur les côtes, ont entraîné la présence de fortes quantités de déchets contaminés et rejetés dans les écosystèmes marins côtiers (Hwang *et al.*, 2016 ; Lee *et al.*, 2019). Par exemple, les habitats marins sont contaminés par des débris, notamment plastiques, des contaminants organiques (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP, Polychlorobiphényles PCB, pesticides organochlorés...) et inorganiques (éléments traces métalliques) (Goeury, 2014 ; UNESCO, 2017).

Une fois dans l'environnement marin, certains éléments traces métalliques, contaminants organiques (HAP, PCB, pesticides organochlorés) et les microplastiques sont susceptibles de s'accumuler dans le milieu abiotique : eau et sédiments (NOAA, 2019). Les organismes sont alors exposés aux contaminants qui y sont présents. Ces derniers peuvent passer les barrières biologiques en fonction de leur biodisponibilité et imprégner les organismes marins. Les débris peuvent provoquer un stress physique aux organismes, en les blessant ou en obstruant leur système digestif, ce qui peut leur être létal. Quant aux contaminants organiques et inorganiques, ils peuvent atteindre les seuils de toxicité chronique pour les organismes menant à des

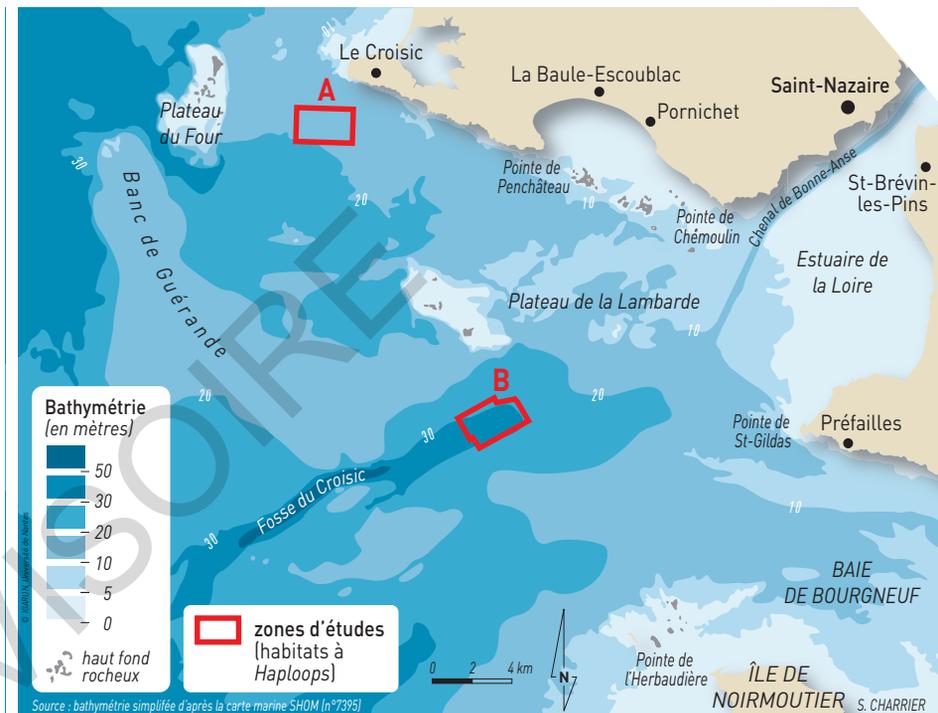


Figure 1 - Localisation des zones d'études dans la partie maritime de l'estuaire de la Loire : étendues des habitats à *Haploops* dans les zones de la Lambarde (A) et du Croisic (B)

atteintes à différents niveaux d'intégration biologique (génotoxicité, neurotoxicité, immunotoxicité, reprotoxicité, stress oxydatif) (Lee *et al.*, 2019 ; Benadda, 2019).

Les métaux

Les métaux sont des éléments de la classification périodique dont les sources naturelles incluent les volcans et l'altération de minéraux primaires. Leur distribution dans le milieu peut varier également du fait des activités humaines (industries, urbanisation, agriculture). En effet, ils sont utilisés depuis longtemps pour leurs propriétés physico-chimiques comme par exemple une résistance

Type	Espèce		Localisation		Métaux analysés			Sources
	Nom latin	Partie de l'organisme	Profondeur (mètres)	Zone d'habitat	Métal étudié	Concentration (ug/g de poids sec)	Estimation de la tendance	
Annélide	<i>Sabellaria alveolata</i>	Tissus	nd	Benthique	Cd, Zn, Cr	Moyennes annuelles Cd = 38,44±8,83 ; Cr = 12,73±7,85 ; Zn = 552,39±140,26	Zn > Cd > Cr	Rouhi et al., 2007
	<i>Nereis diversicolor</i>	Tissus	nd	Estuaire endobenthique	Cd, Fe, Cu, Cr, Zn, Hg, Pb et Ni	Valeurs obtenues sur 6 stations Cd = 0,1-1,7 ; Fe = 300-1300 ; Cu = 6,3-39 ; Cr = 0,1- 1,7 ; Zn = 25-307 ; Hg = < dl ; Pb = 0-10 ; Ni = 1,3-35	Fe > Zn > Cu, Ni > Pb > Cd, Cr > Hg	Diez et al., 2000
					Cd, Cr, Cu, Mn et Pb	Moyennes de 6 stations Cu = 24,91±9,89 ; Mn = 7,05±2,23 ; Cr = 2,85±1,00 ; Pb = 1,12±0,4 ; Cd = 0,15±0,09	Cu > Mn > Cr > Pb > Cd	Frangipane et al., 2005
Éponge ou Spongiaire	<i>Crambe crambe</i>	Tissus	Jusqu'à 60 m	Benthique	Cu, Pb, V	Moyennes entre un site non pollué (C) et un site pollué par le cuivre (H) Cu(C) = 20 ; Cu(H) = 200±40 ; Pb(C) = 18 ; Pb(H) = 50 ; VIC) = 2±1 ; V(H) = 8±2	Cu > Pb > V	Cebrian et al., 2003
Herbier marin	<i>Zostera marina</i>	Tissus de surface	Jusqu'à 11 m	Baies abritées	As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn et Hg	Moyennes de Février à Septembre sur 3 stations As = 0,24-0,31 ; Cd = 0,51-0,59 ; Co = 0,45-10,59 ; Cu = 17,09-20,34 ; Fe = 68,98-100,59 ; Mn = 173,99-198,92±43,64 ; Pb = 0,97-2,07 ; Zn = 20,11- 53,94 ; Hg = 0,01-0,04	Mn > Fe > Zn > Cu > Co > Pb > Cd > As > Hg	Lee et al., 2019
		Tissus souterrains				As = 0,26-0,36 ; Cd = 0,16-0,20 ; Co = 0,07-1,27 ; Cu = 9,94-14,40 ; Fe = 176,03-268,25 ; Mn = 10,26-15,69 ; Pb = 0,76-1,50 ; Zn = 12,87-25,56 ; Hg = 0,01- 0,03	Fe > Zn > Cu, Mn > Pb, Co, As, Cd > Hg	
	<i>Posidonia oceanica</i>	Rhizome	Jusqu'à 40 m	Eaux claires	Cd, Co, Cr, Hg, Ni et Pb	Moyennes sur 3 stations Cd = 1,13-1,82 ; Co = 0,06-1,43 ; Cr = 0,43-3,00 ; Hg = 0,09-0,12 ; Ni = 1,10-3,67 ; Pb = 1,07-1,43	-	Lafabrie, 2007
Oursin violet	<i>Parcentrotus lividus</i>	Gonades	Jusqu'à 80 m	Benthique	Cu, Zn, Cd et Fe	Moyennes sur 3 stations Cu = 5,8-9,56 ; Zn = 66,2-184,1 ; Cd = 0,93-1,28 ; Fe = 62,3-177,7	Zn > Fe > Cd > Cu	Benadda, 2019
Crustacé (Pouce-pied)	<i>Pollicipes pollicipes</i>	Tissus mous (muscle pédonculaire et corps entier)	nd	Côtiers, Intertidale	Cd, Cr, Cu, Mn, Ni et Zn	Valeurs obtenues sur 12 stations Cd = 0,7-2,22 ; Cr = 0,49-1,40 ; Cu = 2,4-3,3 ; Ni = 1,37-2,07 ; Mn = 5-59 ; Zn = 1,031-992 ; Fe = 134- 578	Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cd, Cr	Reis et al., 2012
		Tissus durs (Peau pédonculaire et carapaces)				Cd = 0,044-0,241 ; Cr = < dl-0,132 ; Cu = 0,19-0,89 ; Ni = 0,12-0,25 ; Mn = 1,1-6,5 ; Zn = 8-59 ; Fe = 4-27	Zn > Fe > Mn > Cu, Ni > Cd, Cr	
Crustacé (Crevette de vase)	<i>Austinogebia edulis</i>	Tissus (muscles)	nd	Interdidale Benthique	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn	Moyennes sur 3 stations Cd = 0,24±0,14 ; Co = 1,5±0,58 ; Cr = 1,11±0,21 ; Cu = 158±102 ; Fe = 162±78 ; Mn = 52±15 ; Ni = 6,14±1,33 ; Pb = 0,41±0,11 ; Zn = 187±45	Zn > Fe, Cu > Mn > Ni > Co, Cr > Cd, Pb	Peng et al., 2006
Corail dur	<i>Acropora humilis</i>	Squelette et tissu	nd	Dans toutes les mers et toutes les profondeurs	Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co et Fe	Valeurs obtenues sur 7 stations Cu = 1,28-8,66 ; Zn = 3,18-56,72 ; Pb = 14,18-26-18 ; Cd = 1,62-3,26 ; Ni = 6,25-10,97 ; Co = 3,11- 5,01 ; Fe = 13,25-90,01	Fe > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd, Co	Ali et al., 2011
Corail mou	<i>Sinularia spp.</i>					Cu = 2,83-9,89 ; Zn = 31,28-121,30 ; Pb = 16,36-36,01 ; Cd = 1,98-9,59 ; Ni = 9,34-186,00 ; Co = 4,71-7,71 ; Fe = 17,69-57,31	Zn > Fe > Pb > Ni > Co, Cu, Cd	

Tableau 1 - Teneurs en métaux mesurées dans les tissus de plusieurs organismes benthiques

nd = non déterminé

mécanique, une conductivité thermique ou électrique, voire des propriétés biocides (Mason, 2013 ; Chauvelon *et al.*, 2017).

Dans les écosystèmes marins, certains métaux, appelés oligoéléments, tels que le cuivre (Cu), le fer (Fe), le zinc (Zn), sont retrouvés à des concentrations entre le picogramme et le microgramme par litre. Ces oligoéléments sont indispensables au bon développement des organismes. Cependant, depuis quelques années, les concentrations de ces métaux ont augmenté de manière significative dans l'environnement marin, et sont devenues supérieures aux concentrations naturelles. D'autres métaux comme le mercure (Hg), le chrome (Cr) et le plomb (Pb), sont considérés comme toxiques pour les organismes vivants, même à faibles concentrations (Lee *et al.*, 2019).

Plusieurs études (tab. 1) rapportent des teneurs en métaux dans les tissus de plusieurs organismes benthiques. Plusieurs embranchements du règne animal marin sont représentés tels que les annélides (*Sabellaria alveolata*, *Nereis diversicolor*), les crustacés (*Pollicipes pollicipes*), les éponges (*Crambe crambe*), les oursins (*Paracentrotus lividus*), la crevette (*Austinoegobea edulis*) et les coraux (*Acropora humilis* et *Sinularia* sp.). Dans le tableau 1 sont également présentés des espèces marines du règne végétal, tels que les herbiers marins (*Zostera marina* et *Posidonia oceanica*) qui forment des colonies très denses et qui sont retrouvés dans les eaux claires et les baies abritées des zones côtières.

Les résultats répertoriés dans le tableau 1 montrent que pour la plupart de ces organismes de nombreux métaux sont bioaccumulés dans les tissus avec des teneurs allant de 4 à 1 300, de 1 à 992, de 1 à 199 et 0,19 à 158 µg/g de poids sec pour Fe, Zn, Mn, Cu respectivement. Ces éléments sont des oligoéléments, ce qui explique qu'ils sont retrouvés en concentrations importantes dans les tissus des organismes marins comparées à celles des autres métaux (Benadda, 2019 ;

Peng *et al.*, 2006). En effet, Pb et Cd présentent des teneurs bien en-deçà des teneurs des oligoéléments avec des valeurs respectives atteignant 36 et 9,29 µg/g de poids sec pour les coraux et 18 µg/g de poids sec de Pb pour les éponges. Ils ne sont pas détectés dans les autres organismes étudiés. Enfin, les autres métaux (Co, Hg et Cr) sont très peu concentrés dans les tissus de ces organismes marins (<12 µg/g en poids sec).

Les contaminants organiques

Certaines familles de contaminants organiques font partie des polluants organiques persistants (POP), listés dans la Convention de Stockholm, accord international ayant pour but de réduire ou éliminer leur rejet dans l'environnement. Cette liste comprend notamment les polychlorobiphényles (PCB) issus de produits chimiques industriels, certains pesticides comme le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), le dichlorodiphényldichloroéthane (DDD), l'hexachlorobenzène (HCB) et le lindane (gamma-hexachlorocyclohexane : γ-HCH). Des composés de dégradation du lindane (α-HCH) et du DDT, le dichlorodiphényldichloroéthylène (DDE) sont également souvent recherchés dans le milieu naturel du fait de leur persistance et de leur toxicité. Au niveau européen, la directive-cadre sur l'eau (DCE) a également établi une liste évolutive des contaminants prioritaires à suivre dans l'environnement dans un but de surveillance de la qualité chimique des milieux. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) font partie de cette liste. Ce sont des composés organiques d'origine naturelle (feu de forêt, activité volcanique) ou anthropique (pyrogène ou pétrogène) (Couderc *et al.*, 2015 ; Couderc *et al.*, 2016). Le caractère persistant, bioaccumulable ou encore toxique des contaminants organiques évoqués représentent un danger pour l'environnement. Leur omniprésence dans l'environnement, notamment à cause de rejets anthropiques, est considérée comme une menace mondiale pour les écosystèmes (European Commission, 2013 ; Couderc *et al.*, 2016 ; Benadda, 2019 ; Das *et al.*, 2020).

Espèce		Localisation		Contaminants organiques		Sources
Type	Nom latin	Profondeur (mètres)	Zone d'habitat	Type	Concentration (en µg/g de poids sec)	
Annélide	<i>Lanice conchilega</i>	Jusqu'à plus de 1 700 m	Intertidale	PCB (somme des 6 indicateurs)	Valeurs obtenues sur 23 stations (en µg/g EOM*) < 0,5 en général, 1 station à 4,5	Goerke et Werber, 1998
				<i>p,p'</i> -DDE	0,05 à 0,25	
				Hexachlorobenzène (HCB)	0,08	
	a-HCH et γ-HCH	a-HCH : 0,3 et γ-HCH : 0,3 à 1,1				
Annélide	<i>Hediste (Nereis) diversicolor</i>	nd	Estuaire endobenthique	HAP d'origine naturelle et d'origine anthropique	Valeurs obtenues sur 3 saisons et 5 stations HAP 1,88-59,74 HAP 6,22-91,00	Diez et al., 2000
				PCB	0,17 à 2,26	
Éponge ou Spongiaire	<i>Hymeniacidon heliophila</i>	Jusqu'à 14 m	Intertidale	Total des 15 HAP (∑ 15 HAP) prioritaires (US EPA) 33 HAP (∑ 33 HAP)	Valeurs obtenues sur 4 stations ∑ 15 HAP : 0,08-1,16 et ∑ 33 HAP : 0,12-4,54	Batista et al., 2013
Crustacé (Crevette de vase)	<i>Austinogebia edulis</i>	nd	Intertidale	Total des HAP	Valeurs obtenues sur 2 stations 0,06 à 0,09	Das et al., 2020
				Total de PCB	5,00.10E-4 à 3,90E-3	
				Somme des congénères des DDT, DDD et DDE	4,00E-4 à 1,10E-3	

*EOM = Matière Organique Extractable nd = non déterminé

Les études concernant les contaminants organiques sont regroupées dans le tableau 2. Elles portent sur les teneurs en HAP, PCB et/ou de divers pesticides organochlorés et sous-produits de dégradation (DDE, HCB, HCH et DDT) chez des espèces aquatiques marines telles que des annélides (*L. conchilega* et *H. diversicolor*), des éponges (*H. heliophila*) et des crevettes (*A. edulis*).

En fonction de l'abondance de certains HAP, il est possible d'en déduire leur origine naturelle ou anthropique. De ce fait, il a été montré que les annélides *H. diversicolor* semblent bioaccumuler de manière plus importante les HAP d'origine

anthropique plutôt que ceux d'origine naturelle, atteignant des valeurs allant de 0,06 à 91 µg/g de poids sec (Das et al., 2020 ; Diez et al., 2000). La même constatation a été observée chez les éponges *H. heliophila*. L'analyse des tissus spongieux a montré que ces éponges accumulent de manière plus efficace les HAP anthropiques, notamment d'origines pétrogène et pyrolytique (Batista et al., 2013).

Concernant les PCB et les pesticides organochlorés, il semblerait que de manière générale leur concentration dans les organismes marins soient relativement faible, avec des valeurs allant de 5.10⁻⁴ à 2,26 µg/g en poids sec pour les PCB.

Les microplastiques

Les principaux plastiques synthétiques sont le polyéthylène (PE ; basse densité LDPE ; haute densité HDPE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS), le polyéthylène téréphtalate (PET), le chlorure de polyvinyle (PVC). Ils constituent 90 % de la production mondiale de plastique. De récentes études évaluent la quantité totale de plastique produite depuis son invention à 8,3 milliards de tonnes (Geyer *et al.*, 2017). Sur ce total, près de 9 % auraient été recyclés (Geyer *et al.*, 2017), alors que la quantité de plastique qui pénètre dans l'océan chaque année est estimée entre 4,8 et 12,7 millions de tonnes (Jambeck *et al.*, 2015). Au niveau mondial, les meilleures estimations suggèrent qu'environ 80 % des plastiques océaniques proviennent de sources terrestres, et les 20 % restants de sources marines (Li *et al.*, 2016).

Une fois parvenus dans l'océan, ces déchets plastiques sont entraînés par les courants marins. Ces courants marins forment d'immenses vortex appelés gyres océaniques dans lesquelles les déchets vont s'accumuler. La notion de septième continent est évoquée même s'il existe cinq zones d'accumulations au niveau du globe : une dans le Pacifique Nord, une dans le Sud, une dans l'Atlantique Nord et une dans le Sud et une dans l'océan Indien.

Durant leur voyage qui peut durer jusqu'à 10 ans, les plastiques vont subir une dégradation progressive due à la photodégradation ou à la biodégradation. Les plastiques vont donc être fragmentés et former ce que l'on appelle des microplastiques définis comme des microparticules de plastique d'un diamètre inférieur à 5 mm (Duis and Coors, 2016). Les microplastiques ainsi issus de la fragmentation de macrodéchets sont qualifiés de secondaires, à l'instar des microplastiques primaires volontairement utilisés sous une taille micrométrique dans divers produits du quotidien (encres, produits ménagers, de soin, maquillages). Dans l'environnement aquatique, les microplastiques peuvent flotter ou

couler en fonction de leur densité. La taille des particules, l'altération de la matière plastique ou encore l'adsorption de microorganismes ou de matières organiques à la surface des microplastiques peuvent venir modifier la densité. Ainsi, des particules constituées initialement de plastique plus dense que l'eau peuvent se retrouver en surface et ceux moins denses couler dans les fonds marins. La flottaison permet aux microplastiques de se disperser sur de très grandes distances au gré des courants pour finalement s'accumuler dans les gyres. Deux études de Eriksen *et al.* (2014) et Van Sebille *et al.* (2015) estiment qu'entre 93 et 268 milliers de tonnes de ces microplastiques flottent actuellement dans les océans. Ceux qui coulent s'accumulent probablement sur le plancher océanique, ce qui entraîne des quantités significatives de microplastiques dans les fonds marins (Woodall *et al.*, 2014).

Des études répertoriées dans le tableau 3 ont montré une accumulation de microplastiques par certaines espèces du règne animal comme les coraux (*Acropora hemprichii*, *Goniastrea retiformis* et *Pocillopora verrucosa*), les vers (*Tubifex Tubifex*), les balanes (*Amphibalanus amphitrite*, *Fistulobalanus albicostatus*, *Tetraclita japonica japonica*, et *goose barnacle Capitulum mitella*) et les éponges de mer (*Crella incrustans* et *Tethya bergquistae*). Des espèces du monde végétal sont également capables d'accumuler des microplastiques comme les herbiers marins (*Zostera marina*, *Enhalus acoroides*) qui s'étendent sur de grandes surfaces et régulent l'hydrodynamisme.

L'accumulation des microplastiques par ces organismes animaux et végétaux peut se faire selon différents processus. Les microplastiques peuvent pénétrer dans l'organisme comme c'est le cas pour les organismes filtreurs par exemple (Xu *et al.*, 2020). Ils peuvent également adhérer à la surface des organismes vivant par un processus passif comme cela a été rapporté par Martin *et al.* (2019). Dans cette étude il a été montré que les microplastiques ont été piégés par le biofilm présent à la surface des feuilles de l'herbier de *Z. Marina* (Jones *et al.*, 2020). Enfin, la présence des habitats de

Espèce		Localisation		Contamination en microplastiques					Source
Type	Nom latin	Géographique	Profondeur	Quantité de microplastiques	Formes	Taille	Couleur	Nature	
Herbiers marins	<i>Enhalus acodoides</i>	Baie de Li'An et de Xincun, Hainan, Chine	5,5 m	80,0 à 88,5 particules par kg de sédiment sec	Fibres, Fragments	125-250 µm (26,3% ± 8,9%) 63-125 µm (20,6% ± 9,5%) 31-63 µm (17,3% ± 7,0%)	Bleu / Transparent / Noir	PE (48,7%) ; PP (33,3%) ; PA (10,3%) ; PS (7,7%)	Huang Y. <i>et al.</i> , 2020
	<i>Zostera marina</i>	Deerness Sound, Orkney, Écosse	10-100 m	300 ± 30 particules par kg de sédiment sec	Fibres, Fragments, Flocons	0,95mm ± 0,05	Majorité bleu	PE (34%) ; PP (22%) ; PA (14%) ; PU (10%) ; Polyester (10%) ; PS (8%) ; Polytrimellitic (2%)	Jones K-L <i>et al.</i> , 2020
Corail	<i>Acropora hemprichii</i> , <i>Goniastrea retiformis</i> et <i>Pocillopora verrucosa</i>	Mer Rouge	< 10 m	4x10 ⁻⁵ à 6x10 ⁻² particules de microplastiques par polypes par heures (1 à 144 microplastiques tous les 100 polypes par jour)	Micro-billes	53-63 mm, 125-150 mm 215-250 mm, 300-355 mm et 425-500 mm	nd	nd	Martin C. <i>et al.</i> , 2019
Ver de mer	<i>Tubifex Tubifex</i>	Salford Quays, Royaume-Uni	> 5 m	129 ± 65,4 particules par gramme de tissu	Fibres (87%) Fragments (13%)	55-4 100µm (fibres) 50-4 500µm (fragments)	Bleu (50%) ; Noir (22%) Rouge (9%)	PS (44%) ; PE (44%) ; PVA (11%)	Hurley R.-R. <i>et al.</i> , 2017
Éponge de mer	<i>Crella incrustans</i> and <i>Tethya bergquistae</i>	Côte sud et port de Wellington, Nouvelle-Zélande	nd	nd	Micro-billes	1 µm et 6 µm	nd	Polysciences, Inc. Polybead® Polystyrene Black dyed 1,00 micron Microspheres, and Polysciences, Inc. Polybead® dyed Violet 6,0 micron Microspheres	Baird C.-A., 2016
Balanes	<i>Amphibalanus amphitrite</i> , <i>Fistulobalanus albicostatus</i> , <i>Tetraclita japonica japonica</i> et goose barnacle <i>Capitulum mitella</i>	Hong Kong, Chine	nd	0 à 8,63 particules par gramme en poids humide ou 0 à 1,9 particules par individus	Fibres (95,7%) Fragments (3,4%) Granulés (0,8%)	953,7 ± 560,8 µm (fibres) 1 743,7 ± 599,8µm (fragments) 1 380 ± 917,6 µm (granulés)	nd	CP (57,69%) ; PET (11,54%) ; PP (9,62%)	Xu X.-Y. <i>et al.</i> , 2020

polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyamide 6 (PA), polystyrene (PS), polyether urethane (PU), polyéthylène terephthalate (PET), cellophane (CP), poly(vinylalcohol) (PVA)

Tableau 3 - Données quantitatives et qualitatives des microplastiques issus de plusieurs organismes benthiques

certaines organismes peut agir comme des pièges mécaniques aux particules en suspension dans l'eau, et notamment aux microplastiques comme cela a été montré dans l'étude de Jones *et al.* (2020) et de Huang *et al.* (2020). Une quantité significativement plus importante de microplastiques a été mesurée dans les sédiments du lit des herbiers comparés aux sédiments sableux nus adjacents aux herbiers. Le nombre moyen de microplastiques par kilogramme de sédiments (poids sec) a été enregistré comme étant de 300 ± 30 par-

ticules dans les sédiments du site végétalisé et de 110 ± 20 particules dans les sédiments témoins. Les herbiers marins ont alors été caractérisés de puits (Jones *et al.*, 2020 ; Huang *et al.*, 2020). Hansen and Reidenbach (2017) ont démontré que l'interaction du flux d'eau avec les feuilles des herbiers marins provoque une réduction de la turbulence. Leur capacité à atténuer l'énergie du courant marin est due à l'étendue et à la densité de la population d'herbiers marins (Bradley and Houser, 2009). Les herbiers marins vont donc ralentir la

vitesse à laquelle les particules en suspension dans la colonne d'eau traversent l'herbier, ce qui engendre une accélération du processus de sédimentation (van Montfrans *et al.*, 1984) donc de l'accumulation de ces contaminants. De plus, la dynamique des sédiments dans un herbier marin peut bloquer le flux d'eau, limitant ainsi les possibilités de remise en suspension des particules capturés dans l'herbier (Jones *et al.*, 2020).

D'après le tableau 3, la quantité de microplastiques retrouvées dans les sédiments dans les zones végétalisées varie en fonction de la localisation géographique, allant de 80 à 884 particules de microplastiques par kg de sédiment sec. Concernant la bioaccumulation, les quantités retrouvées varient en fonction de l'espèce, allant de 1 à 144 microplastiques tous les 100 polypes par jour chez les coraux ou $129 \pm 65,4$ particules par gramme de tissus chez les vers par exemple.

Les résultats présentés dans le tableau 3 montrent aussi une grande variété des microplastiques accumulés par les organismes à différents niveaux :

- leur taille allant de 1 μm à 3,95 mm ;
- leur forme qui peut être des fibres, des fragments, des flocons, des granulés ;
- et le type de plastique (Polyéthylène (PE), Polypropylène (PP), Polyamide 6 (PA), Polystyrène (PS), Polyether urethane (PU), Polyester, Polytrimellitic, Polyéthylène Terephthalate (PET) ; Cellophane (CP) ; Poly(vinylalcohol) (PVA)).

Parallèle avec les Haploops

Comme cela vient d'être présenté, certains organismes (annélides, éponges, coraux) ayant des caractéristiques communes aux *Haploops* possèdent la capacité d'accumuler des contaminants organiques, inorganiques et des microplastiques suivant différents processus. Le passage des contaminants dans l'organisme mène à leur bioaccumulation. Ils peuvent

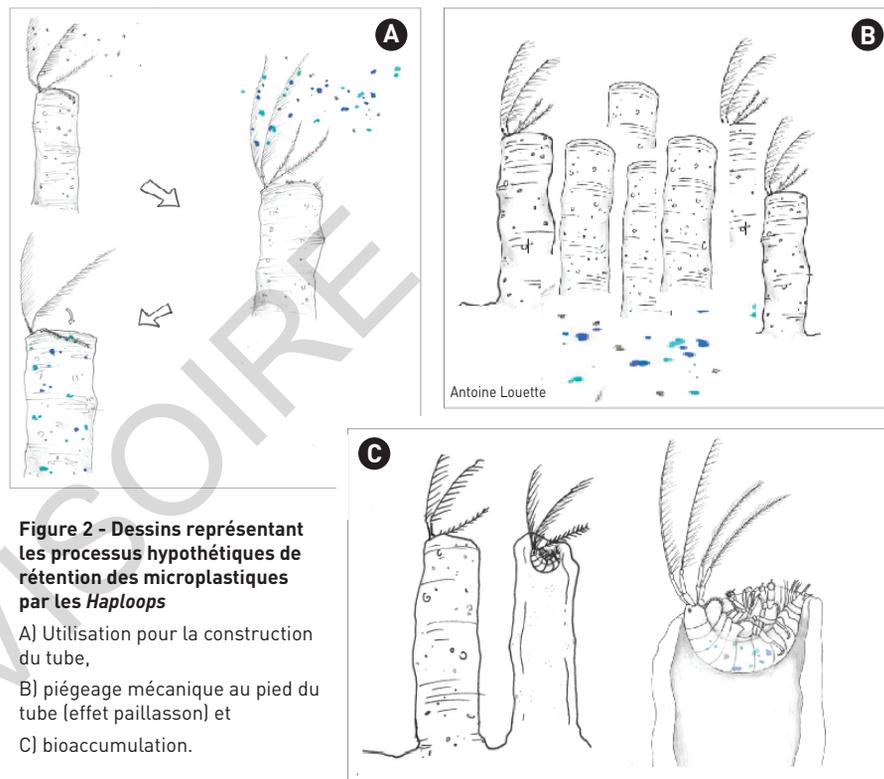


Figure 2 - Dessins représentant les processus hypothétiques de rétention des microplastiques par les Haploops

- A) Utilisation pour la construction du tube,
B) piégeage mécanique au pied du tube (effet paillason) et
C) bioaccumulation.

également adhérer à la surface des organismes ou encore être piégés mécaniquement (fig. 2). Les teneurs en contaminants relevées dans les tissus, à la surface ou à proximité des organismes sont variables et dépendent :

- de la contamination du milieu lui-même ;
- des caractéristiques abiotiques du milieu (pH, conditions redox, composition minéralogique et organique des sédiments...);
- du type de contaminant et ses caractéristiques physico-chimiques (polarité, lipophile, réactivité chimique) ;

- de l'espèce considérée qui possèdent ses propres barrières biologiques, son mode de nutrition et ses moyens de détoxification.

Malgré les facteurs impliqués dans la variabilité d'accumulation des contaminants par les organismes marins présentés ci-dessus, il est possible d'émettre l'hypothèse que les *Haploops* soient capables de former des zones d'accumulation des contaminants, même si cela n'a pas encore été démontré expérimentalement. En effet, ce sont des organismes filtreurs au même titre que les annélides *S. alveolata* qui présentent par exemple des teneurs en Zn de l'ordre de 550 µg/g en poids sec. De plus, ils constituent des colonies très denses, atteignant plus de 25 000 individus au km², ce qui entraîne une augmentation de l'accumulation des particules fines (+30 % entre 2017 et 2018) (Champilou *et al.*, 2020) potentiellement chargées en contaminants. Les tapis de *Haploops* pourraient donc agir comme des paillasons des fonds marins comme c'est le cas des herbiers de zostères où l'on peut y retrouver une certaine quantité de microplastique (300 ± 30 particules de microplastique par kg de sédiment sec sur les sites végétalisés). Enfin, cette espèce ingénieuse (tubicole) construit son tube à partir de particules en suspension ce qui pourrait également engendrer une accumulation des contaminants, processus de rétention non illustré dans la littérature. Les particules en suspension utilisées pour la construction des habitats à *Haploops* peuvent être d'origine naturelle, tout comme anthropique (microplastiques) et ayant absorbé des composés variés inorganiques, comme organiques avec une forte affinité pour les matières organiques.

Conclusion

Les *Haploops* sont des organismes qui constituent des « tapis » de tubes de plusieurs kilomètres carrés, très denses, capables de piéger les particules fines et d'augmenter leur taux de sédimentation de 30 %. Ces habitats spécifiques ont été répertoriés en Bretagne Sud, dans la Baie de Concarneau

et à la sortie des estuaires de la Vilaine et de la Loire. Sachant que certains contaminants se fixent préférentiellement sur les sédiments fins, ces « tapis de *Haploops* » pourraient avoir une capacité de rétention des contaminants particulièrement efficace, et ceci de trois manières possibles : l'accumulation des particules contaminées dans les tubes eux-mêmes, l'accumulation des contaminants par l'effet « paillason » des tapis, la bioaccumulation des particules contaminées dans les organismes des *Haploops*. Si tel est le cas, il serait donc nécessaire de préserver les *Haploops* et leurs habitats car ils constituent potentiellement un filtre naturel, limitant l'apport des contaminants et polluants d'origine anthropique directement dans l'océan ouvert.

Références bibliographiques

- BALTZER A., CHAMPILOU JB., REYNAUD M., ROUSSET JM., MURAT A., GREGOIRE G., DUPUY Q., NARDELLI P., METZGER E., EHRHOLD A., 2020. Haploops settlements may be indicators of shallow pockmarks activity. Special SGF Workshop on « Pockmarks and benthic ecosystems », Paris, 30-31 Janvier 2020. [URL : <https://doi.org/10.13155/73052>]
- BATISTA D., TELLINI K., ADRIANA H. NUDI, THAÍ S. MASSONE, ARTHUR DE L. SCOFIELD, ANGELA DE L.R. WAGENER, 2013. Marine sponges as bioindicators of oil and combustion driven PAH in coastal waters, *Marine Environmental Research*, Vol. 92, pp. 234-243.
- BENADDA, H., 2019. Thèse sur l'Évaluation de la contamination métallique (Cu, Zn, Cd, Fe) et microbiologique (Coliformes fécaux, Staphylococcus aureus, Streptococcus fécaux, Salmonella) des oursins et holothuries et du milieu dans différents sites côtiers, Université Abdelhamid Ibn Badis MOSTAGANEM.
- BRADLEY, K., HOUSER, C., 2009. Relative velocity of seagrass blades: Implications for wave attenuation in low-energy environments. *J. Geophys. Res.* 114, F01004. [URL : <https://doi.org/10.1029/2007JF000951>]
- CHAMPILOU, J.-B., BALTZER, A., MURAT, A., REYNAUD, M., MAILLET, G.M., NARDELLI, M.P., METZGER, É., 2019. New evidence of perfect overlapping of Haploops and pockmarks field: Is it a coincidence?, *Marine Geology*, 415, 105961. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.105961>]

- CHOUVELON, T., BRACH-PAPA, C., AUGER, D., BODIN, N., BRUZEC, S., CROCHET, S., DEGROOTE, M., HOLLANDA, S.J., HUBERT, C., KNOERY, J., MUNSCHY, C., PUECH, A., ROZUEL, E., THOMAS, B., WEST, W., BOURJEA, J., NIKOLIC, N., 2017. Chemical contaminants (trace metals, persistent organic pollutants) in albacore tuna from western Indian and south-eastern Atlantic Oceans: Trophic influence and potential as tracers of populations. *Science of the total environment*, vol. 596-597, p. 481-495. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.048>]
- CHRISTOPHORIDIS, CHRISTOPHOROS & DEDEPSIDIS, D. & FYTIANOS, K. (2009). Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. *Journal of hazardous materials*. 168. 1082-91. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.154>]
- CLIJSTERS, H., VAN ASSCHE, F., 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynth Res*, 7, 31-40. [URL : <https://doi.org/10.1007/BF00032920>]
- COUDERC, M., POIRIER, L., ZALOUK-VERGNOUX, A., KAMARI, A., BLANCHET-LETROUVÉ, I., MARCHAND, P., VÉNISSEAU, A., VEYRAND, B., MOUNEYRAC, C., LE BIZEC, B., 2015. Occurrence of POPs and other persistent organic contaminants in the European eel (*Anguilla anguilla*) from the Loire estuary, France. *Science of Total Environment*, vol. 505, p.199-215. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.053>]
- COUDERC, M., GANDOLFI, F., ZALOUK-VERGNOUX, A., BEYELER, N., MALLERET L., AMBIDINA, I., KAMARI, A., BLANCHET-LETROUVÉ I., MOUNEYRAC, C., HAMERS, T., POIRIER, L., 2016. Levels and distributions of organic pollutants in subtidal sediments from the Loire estuary: Are there any relationships with TTR-binding activity ?, *Journal of Sea Research*, vol. 118, p.59-68. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.seares.2016.07.005>]
- DAS, S., ARIA, A., CHENG J.O., SOUISSI, S., HWANG, J.S., KO, F.C., 2020. Occurrence and distribution of anthropogenic persistent organic pollutants in coastal sediments and mud shrimps from the wetland of central Taiwan. [URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227367>]
- DIEZ, G., SOTO, M., CANTÓN, L., VAQUERO, C., MARIGÓMEZ, I., 2000. Hediste (Nereis) diversicolor as bioindicators of metal and organic chemical bioavailability in estuaries: a field study. *Ecotoxicology and Environmental Restoration* 3(1).
- DUIS, K., COORS, A., 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environ Sci Eur* 28, 2. [URL : <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y>]
- ERIKSEN, M., LEBRETON, L.C.M., CARSON, H.S., THIEL, M., MOORE, C.J., BORERRO, J.C., GALGANI, F., RYAN, P.G., REISSER, J., 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9, e111913. [URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>]
- GEYER, R., JAMBECK, J.R., LAW, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782. [URL : <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>]
- GLEMAREC M., LE BRIS H., LE GUELLEC C., (1987). Modifications des écosystèmes des vasières côtières du sud-Bretagne. In : Long-term changes in coastal benthic communities. *Springer*, pp. 159-170.
- GOEURY, D., 2014. La pollution marine, Woessner Raymond (dir.), *Mers et océans*, Atlante, Clefs de concours.
- GROSS, H., JASKIEL, J., ROTJAN, R., 2018. Thalassia testudinum as a potential vector for incorporating microplastics into benthic marine food webs. *Marine Pollution Bulletin* 135, 1085-1089. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.024>]
- GRÉGOIRE, P., ABRIAK, N.-E., ZRI, A., 2008. Bioaccumulation dans les tissus des espèces marines fréquentant les sites d'immersion. *Déchets, sciences et techniques*, 7. [URL : <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.1472>]
- HANSEN, J.C.R., REIDENBACH, M.A., 2017. Turbulent mixing and fluid transport within Florida Bay seagrass meadows. *Advances in Water Resources* 108, 205-215. [URL : <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.08.001>]
- HUANG, Y., XIAO, X., XU, C., PERIANEN, Y.D., HU, J., HOLMER, M., 2020. Seagrass beds acting as a trap of microplastics - Emerging hotspot in the coastal region? *Environmental Pollution* 257, 113450. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113450>]
- HURLEY, R.R., WOODWARD, J.C., ROTHWELL, J.J., 2017. Ingestion of Microplastics by Freshwater Tubifex Worms. *Environ. Sci. Technol.* 51, 12844-12851. [URL : <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03567>]

- HWANG, D.W., KIM, S.G., CHOI, M., LEE, I.S., KIM, S.S., CHOI, H.G., 2016. Monitoring of trace metals in coastal sediments around Korean Peninsula. *Marine Pollution Bulletin*, 102. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.045>]
- JAMBECK, J.R., GEYER, R., WILCOX, C., SIEGLER, T.R., PERRYMAN, M., ANDRADY, A., NARAYAN, R., LAW, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771. [URL : <https://doi.org/10.1126/science.1260352>]
- JONES, C.G., LAWTON, J.H., SHACHAK, M., 1994. Organisms as Ecosystem Engineers. *Ecosystem Management*. Springer, New York, NY. [URL : https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_14]
- JONES, K.L., HARTL, M.G.J., BELL, M.C., CAPPER, A., 2020. Microplastic accumulation in a *Zostera marina* L. bed at Deerness Sound, Orkney, Scotland. *Marine Pollution Bulletin* 152, 110883. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110883>]
- LEE, G., SUONAN Z., KIM, S.H. HWANG, D.W., LEE, K.S., 2019. Heavy metal accumulation and phytoremediation potential by transplants of the seagrass *Zostera marina* in the polluted bay systems. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 149. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110509>]
- LI, W.C., TSE, H.F., FOK, L., 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment* 566–567, 333–349. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>]
- MAILLET, G.M., BADELLE, J., CHAMPILOU, J.-B., SANCHEZ, S., NARDELLI, M.P., METZGER, E., 2019. Apport de la sédimentologie à la détermination du potentiel bio-indicateur des espèces ingénieuses : le cas de Haploops sp. en contexte d'aménagements éoliens offshore 3.
- MARTIN, C., CORONA, E., MAHADIK, G.A., DUARTE, C.M., 2019. Adhesion to coral surface as a potential sink for marine microplastics. *Environmental Pollution* 255, 113281. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113281>]
- MASON, R.P., 2013. Trace metals in aquatic systems, Blackwell Publishing Ltd, p. 431.
- MATTSSON, K., JOHNSON, E.V., MALMENDAL, A., LINSE, S., HANSSON, L.-A., CEDERVALL, T., 2017. Brain damage and behavioural disorders in fish induced by plastic nanoparticles delivered through the food chain. *Sci Rep* 7, 11452. [URL : <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10813-0>]
- NAGAJYOTI, P.C., LEE, K.D., SREEKANTH, T.V.M., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ Chem Lett* 8, 199–216. [URL : <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>]
- NEGRO, S., 2016. Rôle des écosystèmes forestiers dans le transfert des HAP de l'atmosphère aux sols : étude des placettes du réseau RENECOFOR.
- PENG, S.H., FANG, T.H., HWANG, J.S., WAI, T.P., 2006. Trace metals in *Austinoergia edulis* (Ngoc-Ho & Chan, 1992) (Decapoda, Thalassinidea, Upogebiidae) and its habitat sediment from the central western Taiwan coast. *Crustaceana*, 79(3), 263–273. [URL : <https://doi.org/10.1163/156854006776759617>]
- RIGOLET, C., LE SOUCHU, P., CAISEY, X., DUBOIS, F.F., 2011. Group sweeping: Feeding activity and filtration rate in the tubicolous amphipod *Haploops* sp. *nirae* (Kaim-Malka, 1976). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 406, 29–37. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.06.006>]
- RIGOLET, C., 2013. *Diversité structurelle et fonctionnelle des peuplements sablo-vaseux de Bretagne Sud : Impact de l'expansion d'Haploops nirae*, Thèse de doctorat.
- SELTENRICH, N., 2015. New Link in the Food Chain? Marine Plastic Pollution and Seafood Safety. *Environmental Health Perspectives* 123. [URL : <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A34>]
- SHARMA, S., CHATTERJEE, S., 2017. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environ Sci Pollut Res* 24, 21530–21547. [URL : <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>]
- VAN MONTFRANS, J., WETZEL, R.L., ORTH, R.J., 1984. Epi-phyte–Grazer Relationships in Seagrass Meadows: Consequences for Seagrass Growth and Production. *Estuaries* 7, 289. [URL : <https://doi.org/10.2307/1351615>]
- VANNEY JR., 1964. Géomorphologie sous marine de la Fosse du Croisic. *C. R. Acad. Sc.* Vol. 258, pp. 2633–2636.
- VAN SEBILLE, E., WILCOX, C., LEBRETON, L., MAXIMENKO, N., HARDESTY, B.D., VAN FRANKEK, J.A., ERIKSEN, M., SIEGEL, D., GALGANI, F., LAW, K.L., 2015. A global inventory of small floating plastic debris. *Environ. Res. Lett.* 10, 124006. [URL : <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124006>]

WOODALL, L.C., SANCHEZ-VIDAL, A., CANALS, M., PATERSON, G.L.J., COPPOCK, R., SLEIGHT, V., CALAFAT, A., ROGERS, A.D., NARAYANASWAMY, B.E., THOMPSON, R.C., 2014. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R. Soc. open sci.* 1, 140317. [URL : <https://doi.org/10.1098/rsos.140317>]

XU, X.-Y., WONG, C.Y., TAM, N.F.Y., LIU, H.M., CHEUNG, S.G., 2020. Barnacles as potential bioindicator of microplastic pollution in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin* 154, 111081. [URL : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111081>]

Webographie

(Sites consultés entre Mars et Juin 2020)

European Commission, 2013. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the council amending directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. *Off. J. Eur. Union L 226*, 1-17. [URL : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:EN:PDF>]

IFREMER, 2011. Communiqué de presse, Les jolies colonies d'Haploops : une campagne pour mieux les comprendre ! [URL : https://wwz.ifremer.fr/content/download/47672/file/11_08_04_CP_PLOOPS.pdf]

NOAA, 2019. Each year, billions of pounds of trash and other pollutants enter the ocean, *Ocean pollution*. [URL : <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-pollution>]

Planetoscope, 2020. Déchets jetés dans les mers et les océans. [URL : <https://www.planetoscope.com/eau-océans/895-dechets-jetes-dans-les-mers-et-les-océans.html>]

UNESCO, 2017. La pollution marine. <http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/ioc-océans/focus-areas/rio-20-ocean/blueprint-for-the-future-we-want/marine-pollution/>

World Register of Marine Species WoRMS, 2018. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=101447>

Mégane DANIEL

Étudiante Master 2, Biotechnologie, Université de Bretagne Sud
megane.daniell@univ-nantes.fr

Nathan CHAUVET

Étudiant Master 1, Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Université de Nantes
nathan.chauvet79@hotmail.fr

Aurore ZALOUK-VERGNOUX

Maître de conférences, Sciences pharmaceutiques  biologie, Mer, Molécules, Santé, Université de Nantes
aurore.vergnoux@univ-nantes.fr

Agnès BALTZER

Professeure de Géographie physique, LETG UMR CNRS 6554, IGARUN-Université de Nantes
agnes.baltzer@univ-nantes.fr

Antoine LOUETTE (dessins)

Étudiant de Licence 3, UFR Sciences et Techniques, Université de Nantes