



Extrait de l'ouvrage
Les marées vertes. 40 clés pour comprendre

À paraître le 11 janvier 2018



Chinois se
baignant dans
la marée verte
de Qingdao
(Chine)

Les marées vertes dans le monde,

d'hier à aujourd'hui

1 Où trouve-t-on des marées vertes dans le monde (hors de France) ?

En général constituées exclusivement d'algues vertes (chlorophycées*), plus rarement en mélange avec des algues brunes (phéophycées) ou rouges (rhodophycées), les proliférations de macroalgues vertes sont largement répandues dans le monde, où l'on recensait, à la fin du xx^e siècle, 137 sites de prolifération macroalgale.

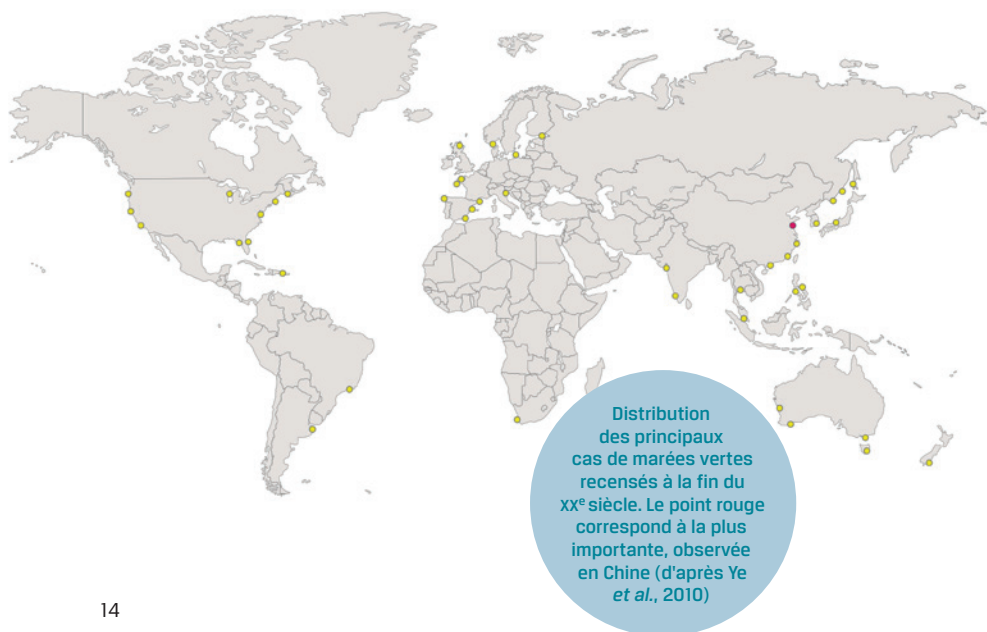
En Asie, le site phare depuis 2008 est la baie de Qingdao (Chine), site largement ouvert sur la mer Jaune, dans lequel s'accumule en juin environ un million de tonnes de la chlorophycée *Ulva* prolifera. Ces algues ont en fait poussé à 400 kilomètres plus au sud, sur des supports récemment implantés pour la culture d'algues rouges comestibles *Pyropia* (par exemple, *Pyropia yezoensis*), d'où elles ont été arrachées lors d'opérations de nettoyage, devenant des algues dérivantes, dont le trajet en surface a pu être suivi sur des images satellitaires de couleur de l'eau.

En Europe, la lagune de Venise a été le site semi-fermé le plus touché jusqu'en 1990, produisant une biomasse évaluée à 550 000 tonnes en 1987, mais qui a diminué par la suite en raison d'une augmentation de turbidité créée par le dragage. En

Où trouve-t-on des marées vertes dans le monde (hors de France) ?

Méditerranée, mer pauvre en nutriments* (oligotrophe), la prolifération de macrophytes n'est en effet observée qu'en deux types de sites. Le premier type, situé au débouché de certains fleuves drainant des bassins versants très agricoles, compte en plus de la lagune de Venise, la lagune Sacca di Goro au sud du delta du Pô et l'estuaire du Palmones en Andalousie. Le second type rassemble des secteurs côtiers enrichis par des rejets industriels et urbains : en Grèce, la baie de Kalloni, le golfe de Thessalonique et le golfe de Pagassitikos, en Tunisie, le lac de Tunis, du moins avant son aménagement en 1985. En Europe du Nord, en dehors de la France, des marées vertes de moindre ampleur occupent surtout des zones estuariennes comme Langstone Harbour, près de Southampton au Royaume-Uni ou l'estuaire de l'Eurajoki sur la côte finlandaise du golfe de Bothnie, quelques fjords comme l'Odense Fjord au Danemark, ou des zones semi-fermées, telle la Veerse Meer aux Pays-Bas, mais aussi des plages comme celles proches de Cork, dans le Sud-Ouest de l'Irlande.

Le continent américain a aussi ses marées vertes. Dès les années 50, de gros échouages d'algues vertes ont été observés dans le Nord-Est de Cuba. En Martinique, les anses d'Arlet et la baie de Sainte-Luce connaissent depuis les années 90 des proliférations d'algues vertes au droit de petits rejets urbains. Aux États-Unis, sur la côte est, la baie de Narragansett, près de





Algues vertes
dans la lagune
de Sacca di Goro
(Italie)

New York, et sur la côte ouest, les rivages du détroit de Juan de Fuca et du Puget Sound, près de Seattle, connaissent depuis longtemps des marées vertes, mais d'ampleur limitée. En revanche, elles sont récemment apparues, notamment en 2014, sur les plages de Monterey Bay (Californie) avec une ampleur comparable à celles de Bretagne. Là, comme en baie de Paracas au sud de Lima (Pérou), un éventuel lien avec un apport naturel de nutriments océaniques par *upwelling** a été invoqué, mais sans preuve.

L'Australie, enfin, n'est pas épargnée. Depuis les années 60, avec un pic de 1969 à 1975, puis un affaiblissement ensuite, la baie d'Austin et le Peel Inlet, zones semi-encloses au sud de Perth (Sud-Ouest de l'Australie) ont connu des échouages de *Cladophora* filamenteuses.

2 Où trouve-t-on des marées vertes en France ?

Comme la lagune de Venise, certains sites marins français, très enclavés, peu profonds et très enrichis, s'avèrent favorables à des proliférations d'algues vertes. Ainsi, certaines lagunes méditerranéennes qui recevaient les effluents urbains de Montpellier (étangs palavasiens du Prévost et du Méjean) sont encore tapisées d'ulvacées* en été. Le fond du bassin d'Arcachon a aussi connu des échouages massifs d'ulvacées (environ 20 000 tonnes¹ pour l'ensemble du bassin en 1992 et 1993).

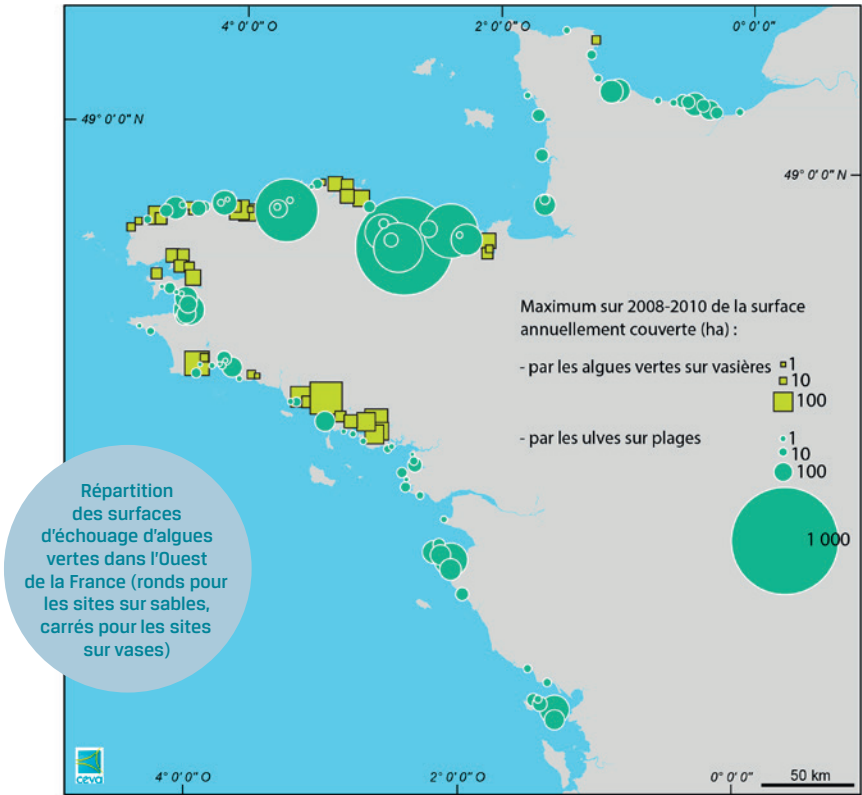
Mais la spécificité française réside dans ses marées vertes de la côte de Manche-Atlantique, qui parviennent à s'accumuler sur des sites largement ouverts vers le large et balayés deux fois par jour par un important va-et-vient d'eau créé par la marée. Les côtes de Bretagne subissent la plus forte atteinte (de l'ordre de 100 000 à 200 000 tonnes² pour l'ensemble du littoral breton en juillet), massivement sur plages sableuses et estuaires sablo-vaseux en Bretagne Nord, mais plutôt sur grandes vasières en Bretagne Sud.

C'est en Bretagne Nord qu'a été créée l'appellation « marée verte » car les algues impliquées étaient vertes, essentiellement des chlorophycées du genre *Ulva*. Mais il faut noter aussi la présence croissante de « marées brunes » de *Pylaiella littoralis* en baie de la Fresnaye et de Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor) et d'*Ectocarpus silicosus* en baie de Douarnenez, ainsi que la formation tous les étés d'une « marée brun-rouge » de *Falkenbergia rufolanosa* en baie de Goulien, en presqu'île de Crozon (Finistère). Présentes surtout en Bretagne jusqu'en 2000, les marées vertes se sont étendues progressivement à la Normandie, en particulier en baie de Seine (Grandcamp et baie des Veys), mais aussi à l'ouest du Cotentin (Avranches). Elles gagnent également la Vendée (Noirmoutier, Ré), sous une forme plurispécifique (algues vertes d'arrachage mêlées à des algues brunes et rouges).

L'Ouest de la France a bénéficié depuis près de 40 ans d'un effort croissant de cartographie quantitative des échouages. Sur un plan semi-quantitatif, le recensement par voie d'enquête des tonnages collectés annuellement par toutes les communes littorales permet depuis 1978 au Centre d'étude et de valorisation des algues (Ceva) de Pleubian (Côtes-d'Armor)

1. poids frais égoutté

2. poids frais égoutté



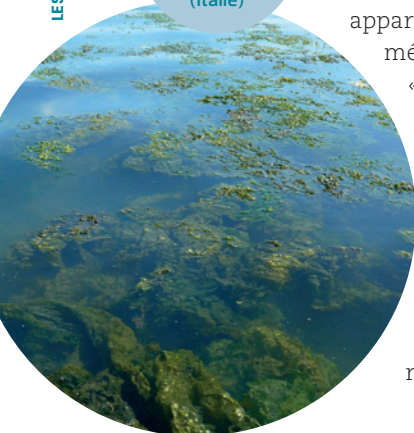
d'évaluer l'impact administratif et financier direct des marées vertes. Une approche quantitative rigoureuse a, par ailleurs, été progressivement mise en place depuis 1988 par l'Ifremer et le Ceva. Couplant photographie aérienne et vérité-terrain simultanée sur les principaux sites, elle permet désormais au Ceva d'établir, depuis la mise en place en 2007 d'un réseau de contrôle de surveillance pour la Directive cadre sur l'Eau, la répartition des surfaces d'échouage sur tout le littoral du Grand-Ouest à au moins trois dates dans l'année (mai, juillet, septembre), voire d'estimer la biomasse présente sur quelques grands sites jusqu'à sept fois par an. Il est frappant de constater que, pour la Bretagne, ces approches administratives et scientifiques fournissent deux images très concordantes de la répartition géographique des marées vertes, grossièrement stable en valeur relative depuis 1988.

Quelle est la plus grande marée verte du monde ?

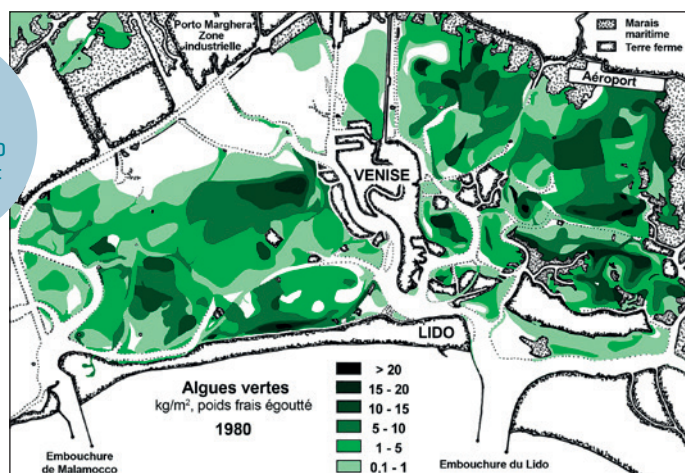
3 Quelle est la plus grande marée verte du monde ?

Le titre peu envié de « plus grand site mondial de marée verte » a changé de titulaire au cours du siècle écoulé. Bien qu'on ne dispose pas d'évaluation quantitative précise avant le dernier quart du XX^e siècle, on peut raisonnablement penser que les scientifiques ont successivement focalisé leurs études sur les sites emblématiques de leur époque. On notera ainsi que la première description de prolifération anormale d'algues vertes a été faite au début du XX^e siècle sur les vasières de la baie de Belfast, dans la zone de déversement des rejets urbains de la ville. On verra apparaître dans les années 70, les grandes lagunes méditerranéennes, pour lesquelles le terme de « marée » verte peut paraître inapproprié puisque ces lagunes sont le siège d'une marée astronomique très faible: le lac de Tunis, puis la lagune de Venise. Celle-ci, avec une biomasse de 600 000 tonnes de poids frais égoutté, évaluée dans les années 80, a sans doute gagné le titre de « plus grand site de prolifération d'algues vertes du monde » à la fin du XX^e siècle. Ce record de biomasse n'a pas duré en raison de

Ulves
dans la
lagune de
Sacca di Goro
(Italie)



Répartition des
algues vertes
dans la lagune
de Venise en 1980
(d'après Sfriso et
Facca, 2007)



l'augmentation du dragage ayant généré un obscurcissement de l'eau. Depuis 2007, la Chine a pris la première place, cette fois en mer ouverte, en raison de la modification soudaine par l'homme de la bande côtière de la mer Jaune méridionale, enrichie par le panache de dilution du Yang-tsé-Kiang. L'introduction de vastes supports de culture d'algues rouges sur un estran naturellement impropre à l'installation d'ulvacées a créé un habitat propice à la fixation des jeunes ulves. Ces dernières le quittent, après arrachage par les courants ou l'homme, pour continuer leur croissance sous forme dérivante en pleine eau. La séparation des lieux de germination (côte du Jiangsu), de croissance (mer Jaune) et d'échouage (Qingdao), a probablement magnifié les capacités de production du site, en minimisant l'auto-limitation en lumière et nutriments créée par le confinement de la biomasse en croissance sur un site moins vaste. La biomasse accumulée sur le rivage de Qingdao peut alors atteindre le million de tonnes de poids frais égoutté !

Lors des Jeux olympiques de Pékin en 2008, la Chine avait prévu d'organiser les épreuves de voile devant les plages de Qingdao, dans la province du Shandong. La marée verte observée depuis 2005 à cet endroit, a pris cette année-là une telle ampleur (15 000 kilomètres carrés), que 10 000 hommes ont dû être déployés, pour récolter 170 000 tonnes d'algues. Le coût de ce chantier a été évalué à 23 millions d'euros, sans compter les 77 millions de pertes pour les fermes aquacoles voisines. Depuis, le site de Qingdao a vu empirer encore la situation, avec des surfaces occupées et des biomasses quasiment doublées en 2013 et 2015.

Marée
verte
contre JO !



Ramassage par
l'armée chinoise
des algues vertes
encombrant le site des
JO de Qingdao
en 2008

4 Depuis quand y a-t-il des marées vertes ?

La prolifération et l'accumulation anormales de chlorophycées sont une conséquence d'un apport soudain et anormalement élevé de nutriments, surtout azotés, dans des eaux côtières peu profondes et relativement confinées. Cette perturbation marine littorale causée par un apport continental est quasiment toujours la conséquence de l'activité humaine.

Avant la Seconde Guerre mondiale, quand l'agriculture ne connaissait pas encore l'intensification et ses apports massifs d'engrais de synthèse, seuls les rejets urbains étaient capables de produire un flux important de nutriments. Il n'est donc pas étonnant que les plus anciennes signalisations de marées vertes aient eu lieu au débouché des exutoires des eaux usées non traitées des grandes agglomérations. En plus du cas de Belfast, étudié en 1911 par Letts et Richards, on pourra citer celui du port d'Alexandrie, le port de Hobart, en Tasmanie, le port de Portsmouth dans le Sud de l'Angleterre.

La Bretagne montre bien l'effet d'un changement profond, après la Seconde Guerre mondiale, de la provenance et de l'abondance des apports nutritifs des fleuves. En 1952, une photo aérienne en noir et blanc faite par l'IGN au-dessus de Saint-Brieuc montre, à marée basse, de petits dépôts d'algues aux formes dendritiques caractéristiques des ulves échouées, mais limités à l'ouest, dans la filière d'écoulement sur l'estran du Gouët, fleuve côtier qui recevait surtout à l'époque les rejets urbains de la ville de Saint-Brieuc. Les photos IGN du même site en 1966, puis en 1986, montrent l'extension du phénomène, et surtout son déplacement vers l'est, dans les eaux enrichies par le Gouessant, issu d'un bassin agricole devenu très intensif.

Si elles ont donc commencé en Bretagne dès les années 50, les marées vertes n'ont vraiment été médiatisées qu'à partir de 1968 en baie de Lannion, de 1972 en baie de Saint-Brieuc, de 1979 en baie de Douarnenez, et de 1980 en baie de Concarneau. Ces dates indiquent le moment où les marées vertes sont devenues une véritable gêne pour les riverains. Le début du ramassage sur les plages indique le moment où la gêne a nécessité un traitement curatif par les pouvoirs publics : 1973 en baies de Lannion et de Saint-Brieuc, 1980 en baie de Douarnenez, 1981 en baie de Concarneau. Ces marées vertes caractéristiques de Bretagne apparaissent au débouché de petits fleuves côtiers,

drainant des bassins versants généralement peu urbanisés, mais en revanche, soumis à une intensification considérable de l'élevage et de l'agriculture dès les années 50.

Le cas récent de la Chine montre de façon originale et saisissante l'importance de l'intervention humaine dans l'apparition de marées vertes. Pratiquement insoupçonnées encore au début des années 2000, les populations d'ulves du littoral de la mer Jaune ont soudainement proliféré dès que l'homme a implanté, dans une zone enrichie non confinée, des structures solides capables de fournir un support aux ulves en croissance. En libérant des fragments de thalles* dérivants, les pratiques de nettoyage des structures d'élevage ont permis l'amplification et l'exportation de la biomasse ainsi créée.

5 Quelles sont les espèces macroalgales capables de proliférer massivement ?

Les espèces proliférantes appartiennent principalement à la classe des algues vertes (chlorophycées). Les plus impliquées appartiennent aux genres appelés jusqu'en 2000 *Ulva* (en lame) et *Enteromorpha* (en lanière), aujourd'hui rassemblés dans l'unique genre *Ulva*. En Martinique, il s'agit de formes en lanière, de même qu'en mer Jaune (*Ulva prolifera*). En Bretagne, les ulves en forme de « laitue de mer » (présentant un thalle en

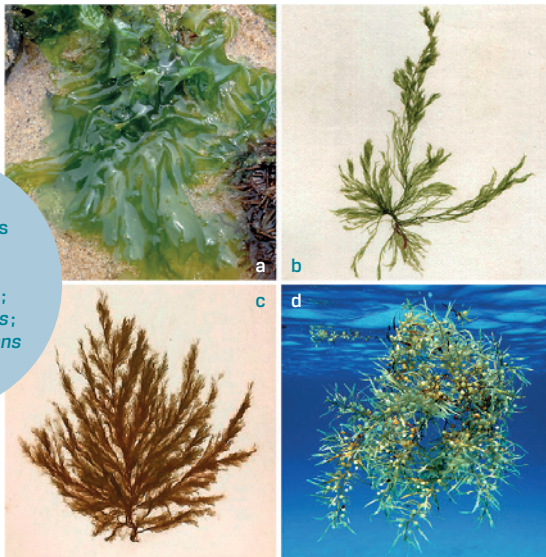
Principales algues
proliférantes.

a/ *Ulva* sp.;

b/ *Cladophora* sp.;

c/ *Pylaiella littoralis*;

d/ *Sargassum natans*



lame) appartiennent essentiellement aux espèces *U. armoricana* et *U. rotundata*, alors que les lagunes méditerranéennes sont favorables aux *U. rigida*. Plusieurs espèces d'ulves à thalle en ruban (en forme d'intestin) colonisent les supports durs (quais, parcs à huîtres...). Sans qu'on sache pour l'instant vraiment pourquoi, certains sites comme la baie de la Fresnaye (Bretagne) ou le bassin d'Arcachon ont produit certaines années des accumulations d'*Ulvaria*, genre voisin d'*Ulva*, au thalle en lame vert sombre, mais constitué d'une seule couche de cellules, alors que les *Ulva* en ont deux. Enfin, très différente des précédentes, la chlorophycée *Cladophora* (en touffes de fils verdâtres) peut proliférer sur certains sites avant que ne s'y installent vraiment les marées vertes à ulvacées.

Les algues vertes ne sont pourtant pas les seules capables de prolifération et d'accumulation en zone enrichie. Parmi les algues rouges (rhodophycées), *Gracilaria* spp. est connue pour proliférer dans les étangs méditerranéens (Languedoc, Catalogne). De même, une algue brune (phéophycée) ectocarpale, *Pylaiella littoralis*, décrite sous sa forme libre proliférante d'abord dans le Massachussetts, abonde souvent en mer Baltique et semble gagner plusieurs sites de Bretagne (baies de la Fresnaye et de Saint-Brieuc), de même qu'une autre ectocarpale filamenteuse, *Ectocarpus silicosus* (baie de Douarnenez) : toutes deux provoquent des « marées brunes » les années de moindre enrichissement nutritif. On observe classiquement une séquence d'apparition des macroalgues proliférantes en fonction du degré d'enrichissement : gracilaires et/ou cladophores, ectocarpaceles, ulves.

En 2011, un genre d'algue brune a rappelé soudainement sa capacité à créer de très massives « marées dorées » : il s'agit de la sargasse de la zone caraïbe. Décrites jusqu'à présent comme formant des agrégats flottants dans la zone océanique de la mer des Sargasses, sans doute à partir de populations fixées dans le golfe du Mexique, les espèces *Sargassum natans* et *S. fluitans* tendent depuis 2010 à s'échouer en masse sur les côtes des Antilles (58 000 tonnes de poids sec en 2014) et de la Guyane. D'une zone d'accumulation localisée au nord-est du Brésil, où leur croissance serait stimulée par le récent enrichissement nutritif du fleuve Amazone, ces algues pourraient dériver vers l'arc antillais au gré du courant circulaire nord-équatorial et des vents. En 2011, d'importants échouages de sargasses ont aussi été observés en Afrique de l'Ouest, sur les plages du Ghana et de Sierra Leone, ce qui n'avait jamais été observé auparavant.

La plage de Kersiguénou située au centre de l'anse de Dinan, en presqu'île de Crozon (Finistère), présente depuis longtemps un cas unique de « marée rouge » à *Falkenbergia rufolanosa*, très atypique. Indiscutablement visible déjà sur une photo aérienne en noir et blanc d'août 1919, elle se présente en fin d'été comme une suspension dense de « pompons » rose sombre concentrée dans la zone de déferlement des vagues, dont une partie s'échoue à marée descendante, formant d'impressionnants tapis entrant rapidement en décomposition. Ces « pompons » constituent en fait l'une des formes — dénommée tétrasporophyte* — d'une algue rouge à alternance de phases* dont l'autre forme plus classique — le gamétophyte* — est connue sous le nom d'*Asparagopsis armata*. Originaire d'Australie ou de Nouvelle-Zélande, cette espèce semble avoir été introduite accidentellement en Europe au début du xx^e siècle, à l'occasion d'un transfert d'huîtres. Présente aujourd'hui de la Méditerranée jusqu'au nord du Royaume-Uni, cette espèce reste discrète et n'a pas vraiment montré de caractère envahissant. La « marée rouge » exceptionnelle rencontrée à l'ouest du Finistère, dans une baie très peu enrichie en nutriments, résulterait plutôt d'une accumulation passive de pompons arrachés en fin d'été sur les fonds avoisinants, charriés par les courants de marée, le long de trajectoires convergeant vers le centre de cette baie. À l'appui de cette hypothèse (formulée par l'auteur), on peut citer l'abondance, parmi les algues rouges échouées, de coquilles vides sphériques ou cylindriques (de bivalves du genre *Solen*, de gastéropodes carnivores *Natica catena*, d'oursins de sable *Echinocardium cordatum*), dont la légèreté et la forme faciliteraient le charriage sur le fond. La toponymie bretonne locale a aussi désigné l'éperon rocheux au centre de cette baie sous le nom de « pointe des noyés » en raison de l'échouage des corps de plusieurs disparus en mer d'Iroise.

Une
intrigante
accumulation
de pompons
roses



Marée
rouge
à *Falkenbergia
rufolanosa* sur
la plage de
Kersiguénou
(Finistère)