



INVASIONS BIOLOGIQUES EN MILIEUX MARINS: DÉFINITIONS, PROCESSUS, EXEMPLES

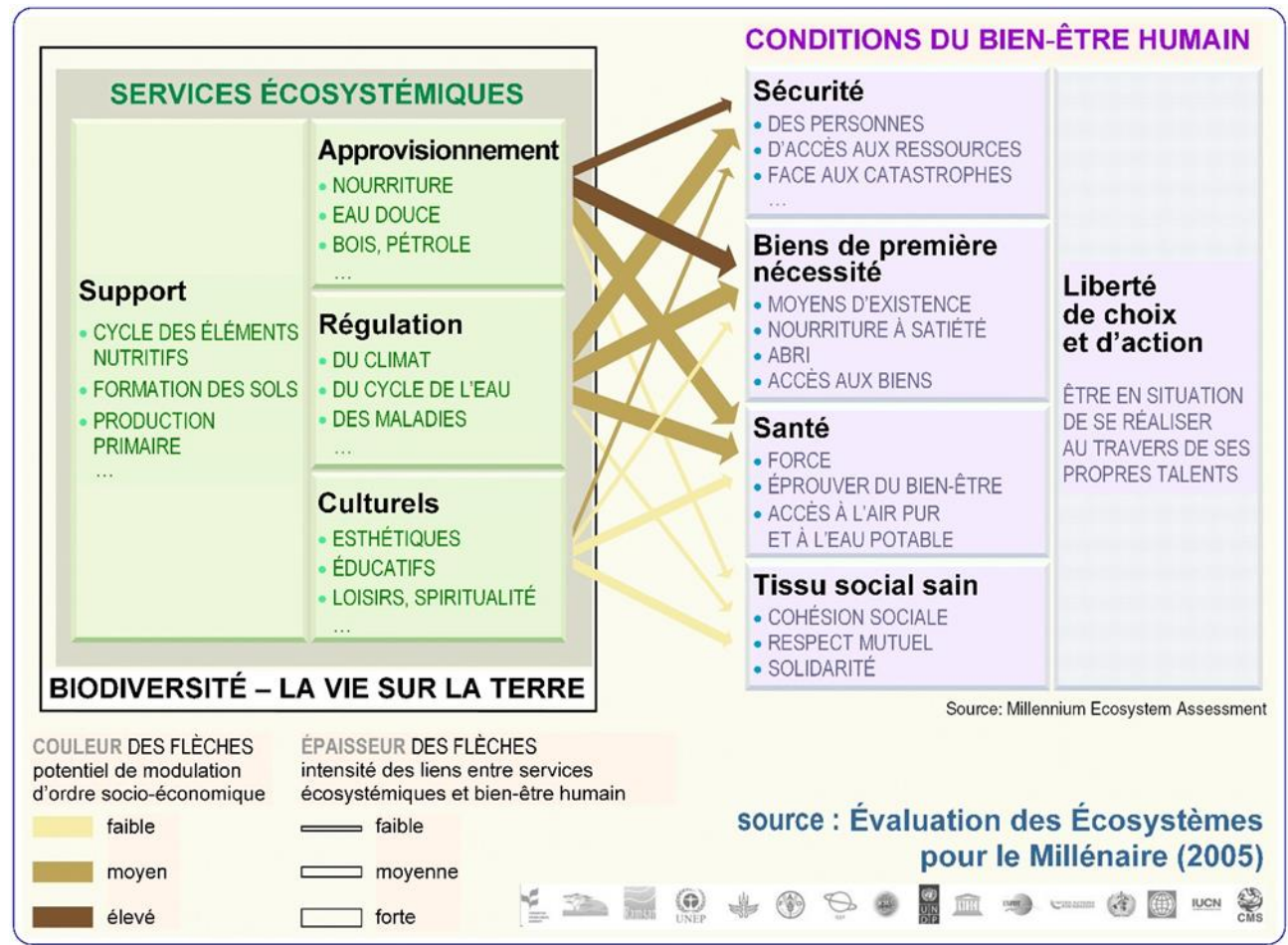


P. Gouletquer,
Direction Scientifique IFREMER
Biodiversité Marine & Côtière
(pgoulet@ifremer.fr)

FORMATION ENI SÈTE, 7 SEPTEMBRE 2020

Une évaluation mondiale de l'état de l'environnement [« Millenium Ecosystem Assessment »] par la coordination de 1400 scientifiques...

La Biodiversité est le support des services rendus par la nature !



Trame conceptuelle pour la conservation de la biodiversité (arbitrages nécessaires entre différents types de services fournis)

- Disparition et dégradation des milieux naturels
- Surexploitation des ressources naturelles
- **Introductions d'espèces exotiques**
- Changement global (changement climatique, acidification des océans)

OBJECTIFS = Arrêter les pertes de Biodiversité en 2010 !!! non atteints... et renouvelés à échéance 2020 ! (COP CDB 2010 – Objectifs d'Aïchi)...Non atteints..

Some deoxygenation numbers and effects

During the past 50 years, the area of low oxygen water in the open ocean has increased by 4.5 million km²¹⁰¹. The world's oceans are now losing approximately 1 gigaton of oxygen each year (IPCC, Keeling & Garcia 2002)

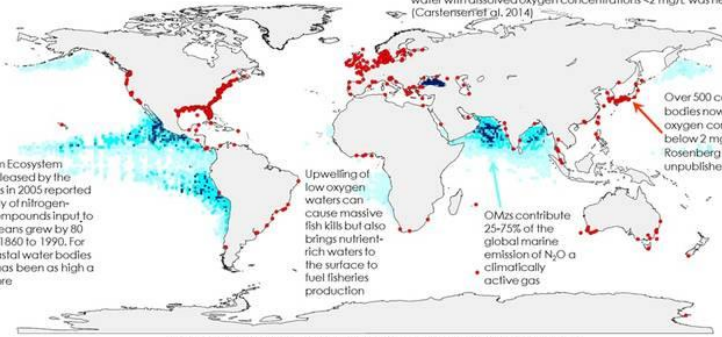
The Baltic Sea has the largest coastal water hypoxic zone. In 2011 the area of water with dissolved oxygen concentrations <2 mg/L was nearly 80,000 km². (Carstensen et al. 2014)

The Millennium Ecosystem Assessment released by the United Nations in 2005 reported that the supply of nitrogen-containing compounds input to the world's oceans grew by 80 percent from 1860 to 1990. For individual coastal water bodies the increase has been as high as 100 fold or more.

Upwelling of low oxygen waters can cause massive fish kills but also brings nutrient-rich waters to the surface to fuel fisheries production

OMZs contribute 25-75% of the global marine emission of N₂O a climatically active gas

Over 500 coastal water bodies now report dissolved oxygen concentrations below 2 mg/L (Diaz & Rosenberg 2009 and Diaz unpublished update)



Deoxygenation alters the goods and services delivered by marine ecosystems to humans. Services reduced can include food production through fisheries and aquaculture, climate regulation, nutrient cycling and resilience.

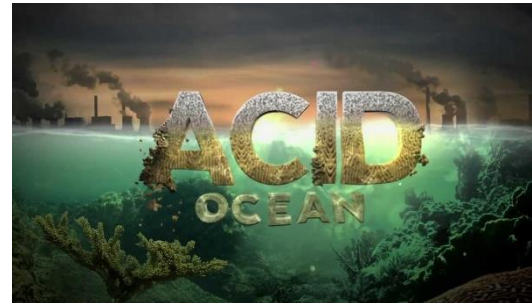
¹⁰¹The estimate is for 200 m – a slightly shallower depth than shown on this map.



Altération des habitats dont zones de déoxygenation (Déclaration Kiel 2018)



Polluants (plastiques)...



Changement climatique

- Stress thermique (blanchissement des coraux)
- Acidification

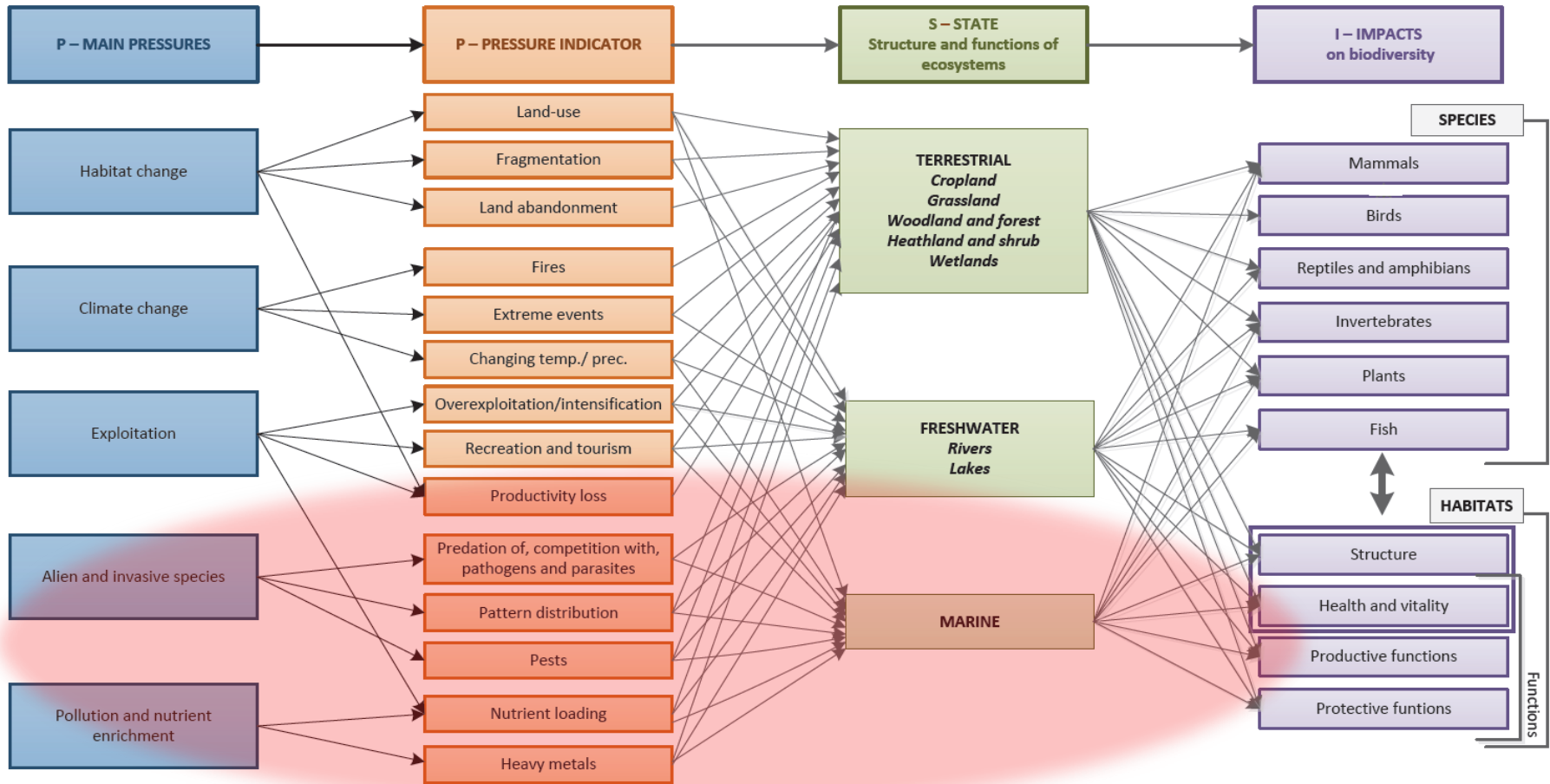


Surexploitation...



Invasions Biologiques

Figure 2.5 Illustration of linkages between pressure and the condition of ecosystems



Note: Each main pressure is represented by one of several pressure indicators. For clarity, less important links are not presented.

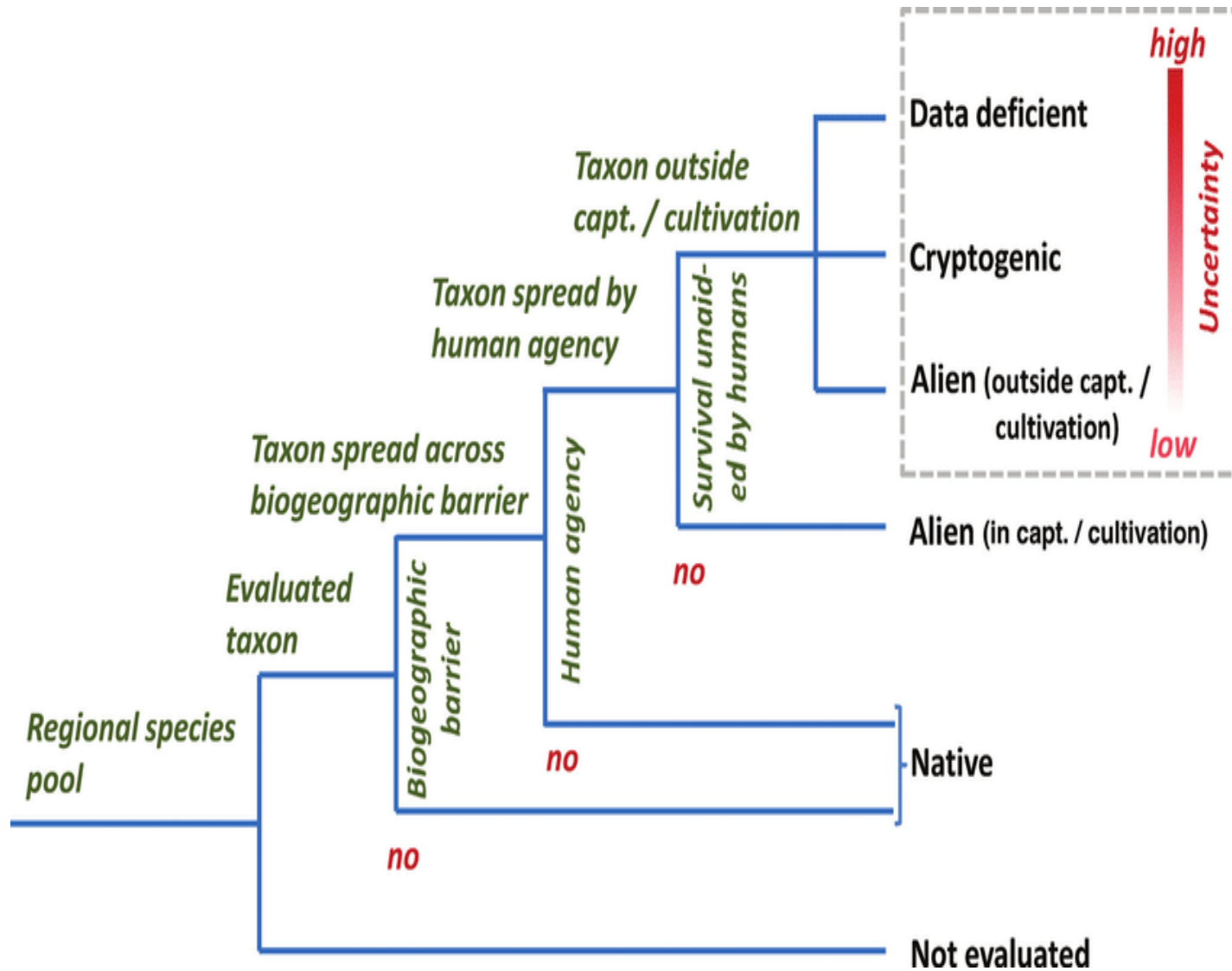
Source: ETC/SIA, 2014a.

- **Espèce exotique [ENI] :** sp, sub sp., ou taxa introduit en dehors de son aire de répartition naturelle (actuelle ou passée) ET en dehors de son aire de dispersion naturelle potentielle (incluant toute partie, gamète, semence, propagule ou œuf ainsi que tout hybride, variété ou race susceptible de survivre et ultérieurement de se reproduire) (endotique=contraire d'exotique)
- **Espèce invasive [EEE – ENI] :** catégorie d'espèces exotiques établies qui prolifèrent (ou qui ont déjà montré un potentiel de colonisation) localement et momentanément ET qui induisent des chgts. significatifs (>0 ou <0) sur la biodiversité, le fct. des écosystèmes ou sur les valeurs socio-économiques ou la santé publique



Une espèce autochtone/native peut également devenir envahissante - e.g., algues vertes, méduses – la cause étant généralement environnementale – eutrophisation vs algues vertes)

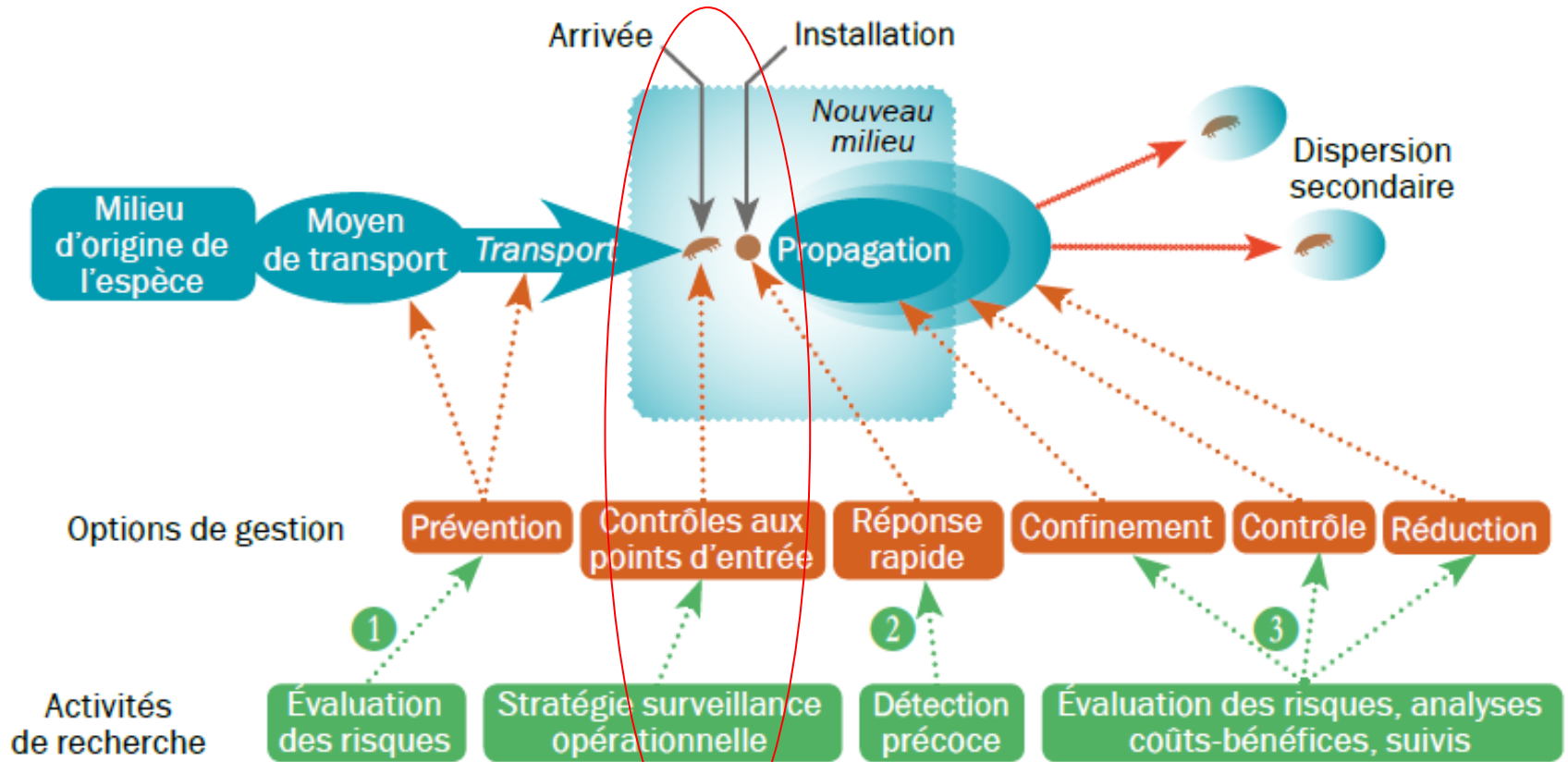
- **Espèce cryptogénique: d'origine inconnue**
- **Complexe d'espèces cryptiques : groupe d'espèces qui satisfait à certaines définitions de l'espèce (isolement reproductif) ou la définition phylogénétique de l'espèce (importante différenciation génétique des lignées = divergence ancienne), MAIS non distinctes morphologiquement**
- **Introduction = rupture dans l'aire géographique de distribution**
- **Transfert = déplacement d'espèces au sein d'une aire géographique de distribution (e.g., transfert d'huîtres)**



Statut biogéographique des espèces (Essl et al., 2018)

Invasions biologiques considérées comme la 2ème cause d'appauvrissement de la biodiversité dans le monde (CDB, 2000)

- **Impact monétaire annuel estimé dans le cadre de DAISIE = 11.4 Milliards €/an (1.8 contrôle, 9.6 dommages)**
 - **Pertes de revenus en aquaculture & pêche >150 millions/an**
 - **Coûts extrapolés = 19,1 Milliards/an**
- **Ecosystèmes à faible diversité spécifique et/ou fortement anthropisés = plus vulnérables**
- **Notions 'invasional meltdown', 'novel ecosystem' traduit qu'une invasion réussie fragilise l'écosystème récepteur et facilite de nouvelles introductions – processus auto-entretenu (voir aussi Maric et al., 2016 Mar. Env. res.)**



**Schéma-type d'un processus d'invasion biologique (en bleu)
et des différentes modalités de sa gestion (en orange)**

(adapté de Olenin et coll., 2009)

Actions prioritaires définies dans
la réglementation 2014 UE

Les modalités de gestion doivent tenir compte
de la pression potentielle des propagules (nombre & taille) !

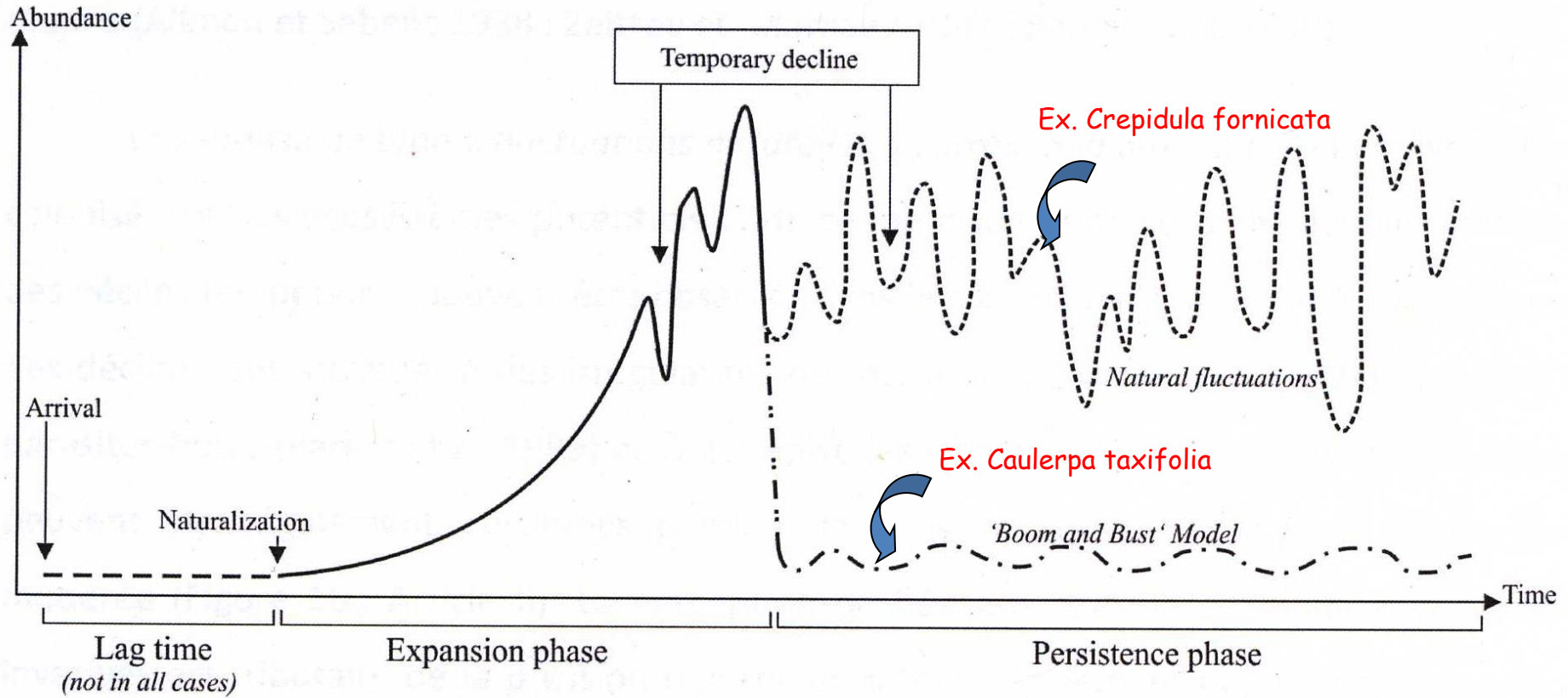


Figure 10. Evolution théorique de l'abondance d'une espèce introduite (modifié de Boudouresque et al. 2005 ;

Adapté de Gothland et al., 2013

- **Fort taux de dispersion**

- Espèces marines présentant des effectifs élevés, une forte fécondité (stratégie de reproduction r) et large potentiel de dispersion (larvaire ou adulte) qui facilitent le flux de gènes

- Espèce à stratégie r : où habitat est variable ou perturbé, l'approvisionnement en ressources vitales imprévisible & risques élevés : les espèces misent alors sur la reproduction avec un fort taux de croissance, pour compenser par le nombre, ce qui se traduit par une forte fécondité et de faibles chances de survie jusqu'à la maturité sexuelle. Les populations présentent ainsi beaucoup de petits mais peu d'adultes dans leur aire d'origine...ce qui diffère suite à l'introduction dans un nouvel habitat !

- **Aptitudes démographiques**

- augmentation exponentielle suite à introduction dans nouvel habitat

- **Grande aire d'origine:**

- Succès d'une invasion corrélée à la taille de l'aire d'origine

- Corrélation positive entre le nbre de zones climatiques de l'aire d'origine et le nombre de continents envahis

- Aptitudes écologiques
 - Généralistes & adaptées à l'homme
- Isolation taxonomique
 - Espèce écologiquement différente des autres espèces pourrait être favorisée
- Potentiel adaptatif
 - Variabilité génétique élevée
 - Plasticité phénotypique

MAIS, les cas d'études démontrent une difficile généralisation:

- Caractère stochastique des invasions
- Cas particuliers ou en méta analyses comparant des espèces très éloignées les unes des autres
 - Peu d'études réalisées à différentes échelles de temps et d'espace englobant les différents stades de l'invasion

PARADOXE en génétique des invasions: variabilité génétique réduite suite à introduction et pourtant s'imposent face à des populations autochtones adaptées localement ! (variabilité intra-populationnelle...!)

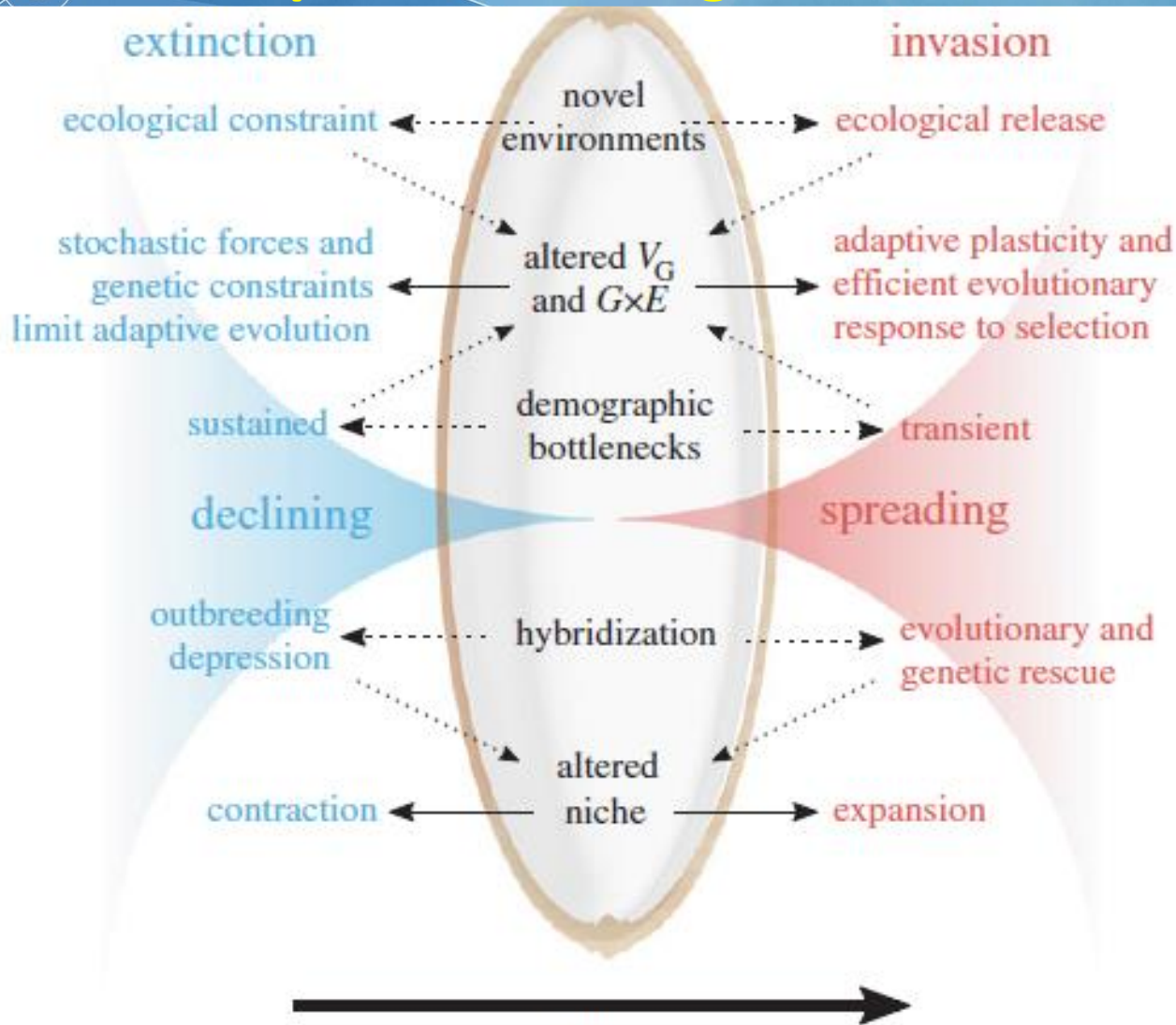


Figure 1. Extinctions and invasions conceptualized 'Through the Looking Glass' of evolutionary ecology. Extinctions (left side) represent population decline over time, while biological invasions (right side) represent an increase in abundance. Both invasions and extinctions reflect a common set of elements (central column) because subtle but influential ecological and genetic differences (outer columns) can cause opposite population growth trajectories. (Online version in colour.)

Colautti et al., 2016. Invasions and extinctions through the looking glass of evolutionary ecology

Rapport au temps dans l'interprétation des phénomènes naturels (référence d'échelle de temps ?) (Pellegrini, 2010 ; Zenetos et al., 2017)

Espèces naturalisées européennes (*Mya arenaria* introduite au XIème !), ré-introductions, critères de naturalisation (?) (e.g., esturgeons/géologique), pullulations/invasions momentanées (?)

Syndrome du "Shifting baselines" (Ojaveer et al., 2018) (voir également Essl et al., 2018)

Espèces autochtones (?) Quels critères ???

Quand une espèce fait elle partie du patrimoine ? (e.g. aquaculture= 50 générations)

Comment 'dissocier' une espèce indigène d'une espèce non indigène/exogène ? - inventaires limités (cf. Census of Marine Life, Règlement européen 2007 Annexe IV),

Comment « restaurer » quand on n'a pas l'état initial ?

Doit on classer par rapport à la nature de l'espèce ou bien de son rôle dans le fonctionnement écosystémique ?? (cf. Nature, 2013)

Emergence du « Déni Espèces Invasives » (Russell & Blackburn, TREES, 2017) – Déni de science utilisant les incertitudes.....(diffère du débat scientifique !)

**!!! Attention au parallèle avec le langage (sociologue) « immigration humaine » vs « faune-flore » (Rémy & Beck, 2008) association à la xénophobie erronée (Warren 2007) !!!
– pas de logique d'exclusion ! L'immigration ne répond pas au critère de rupture d'aire de distribution !**

Eaux & sédiments de ballasts : absence de traitement et rejet de plus de 20M m³ d'eau de mer par an en France jusqu'en 2017 – situation aggravée par la marinisation des estuaires le long de la côte Atlantique... - Inclus également les 'Sea chests' (Coutts & Dodgshun, 2007) – OMI =10Mds m³ /an, >1000 sp/jour)

Activités maritimes professionnelles & loisirs (plaisance): augmentation d'activité très significative, et peu de ports à sec... (biofouling des coques)

Commerce des coquillages : import-export entre des secteurs méditerranéens et atlantiques sources d'introductions (e.g., *Rapana venosa* introduit de Mer Adriatique) (« hitchikers »!) (issus de la pêche comme de l'aquaculture !) ou autres secteurs géographiques

Productions conchylicoles: transferts de lots de coquillages suivis de retrempages (expansion d'*Ocenebrellus inornatus* et de plusieurs algues).

- Introductions liées aux activités de loisirs

Plaisance - cas du ver à concrétion calcaire, *Ficopomatus*, proliférant dans les eaux saumâtres induisant des nuisances sur infrastructures portuaires...

Aquariophilie, pêche récréative – (e.g. appâts...)

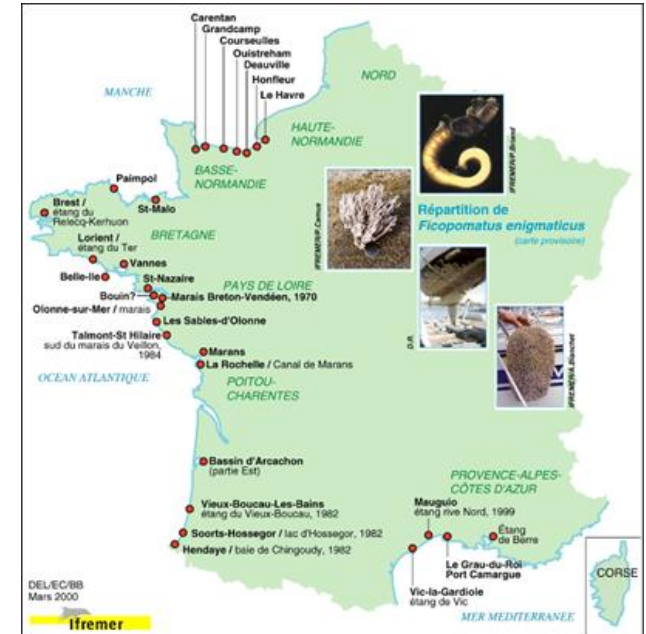
Introductions liées aux activités aquacoles & échappement d'espèces exotiques ...

- Introductions volontaires & involontaires

Algue : *Undaria pinnatifida*,
Palourde japonaise : *T. philippinarum* –
initialement uniquement élevée puis maintenant
gisements naturels exploités
Huître creuse *C. gigas*

Et natives mais sélectionnées...

Saumon atlantique (vs pop. Sauvages) (>630000
saumons échappés en 2002 en Norvège... 690000
au Chili en 2018; 50000 en Ecosse 20/8/20)



- **Activités commerciales & transfert-introductions**

Bonamia ostreae, parasite de l'huître plate issu des USA (Californie) - (effondrement de la production de 20Kt à 1,5Kt et présent dans la majorité des bassins européens



Crépidule (Crepidula fornicata) (Introduction initiale avec huître américaine sur GB, puis transfert secondaire & colonisation progressive des côtes françaises - plusieurs millions de tonnes, dragage annuel coûteux - Fort impact sur nourriceries poissons, gisement de Coquille St Jacques & conchyliculture



Ocenebrellus inornatus, bigorneau perceur asiatique, prédateur de l'huître (introduction initiale avec *C. gigas* (1970s.) – invasif dans les années 90s - introductions secondaires liées à la conchyliculture (i.e., transferts d'huîtres creuses)

Rapana venosa, gastéropode prédateur de coquillages (introduction initiale venant de l'Adriatique avec cheptels commerciaux de palourdes vers la Bretagne sud)



Algues macrophytes (cf. projet européen ALIENS)

Les Bateaux ne peuvent pas naviguer à vide !....:

XIX^{ème} siècle = ballasts solides (e.g., sable, pierre) / introductions de faune & flore terrestre XX^{ème} siècle apparition des coques en acier avec ballasts liquides / introductions invertébrés, algues, poissons...)

1^{er} problème identifié dès **1903** avec l'introduction de *Biddulphia sinensis* en Mer du Nord !

Premières discussions internationales sur le sujet dans les années 1970s....

10 Milliards de tonnes transférés à l'échelle mondiale actuellement !! (+460% depuis 1960) – activité transport maritime croît (nelles. routes)

La moule Zébrée (*Dreissena polymorpha* & *Dreissena sp.*) aux USA (d'origine européenne.) –

- 1990 - introduction dans les Grands Lacs américains - colonisation de la moitié des cours d'eau américains
- Perturbations majeures de l'écosystème et impacts sur les activités humaines
- Coûts associés en plusieurs M\$/an
- Retour sur l'Europe avec une invasion en Irlande et Espagne !

Gastéropode asiatique prédateur en Baie de Chesapeake, USA *Rapana venosa* (>15cm longueur) – Impacts sur les pêcheries – et risques sur les aménagements des populations d'huîtres...

Cténophore *Mnemiopsis leydii* – plancton gélatineux en Mer Noire, Mer Méditerranée, Mer du Nord (extension Nord-Sud ET Sud Nord !)



En France, >20M m³/an sans traitement (2017):

(1litre=50 ind. Zoopk., 10000 Phytopk. ...)

Risques potentiels élevés, y compris en santé publique

Proximité des zones conchylicoles avec des risques de transferts secondaires...

Consensus au niveau scientifique !

Convention Ballast Water Management (BWM - IMO) 2004, appliquée en septembre 2017... !
Plus de 50000 navires à mettre en conformité

Seuils = 30 pays & 35% du tonnage mondial

2011: 28 états signataires et 25,4%

2012: 36 états & 29,07%

2016: 51 états & >35% (le 8/9/2016 !!!)

(mise en conformité progressive des pays de l'UE – cf MSFD reports)

A.D.M. Coutts, T.J. Dodgshun / Marine Pollution Bulletin 54 (2007) 875–886

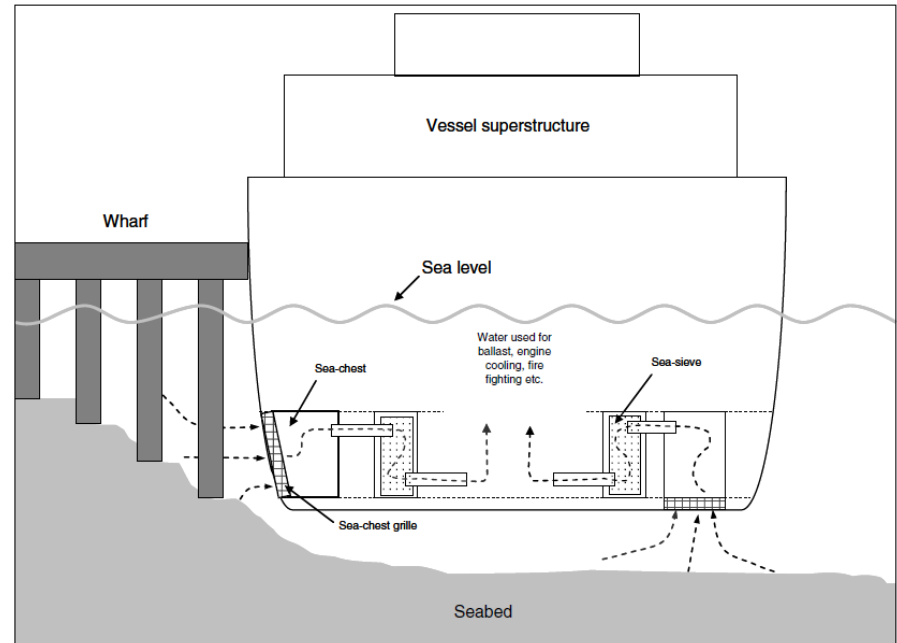


Fig. 1. Schematic diagram of a vessel's sea-chest system.

Transferts d'espèces pas uniquement via les ballasts mais également par les compartiments 'Sea Chests' qui abritent des espèces de plus grande taille (>5mm)

Exemple: Thalassa équipée avec BioSea 90FX modular system (filtration mécanique+ désinfection par UV)



Complying with the Ballast Water Management Convention

Stopping the spread of invasive aquatic species



D1 standard requiring ships to exchange ballast water in open seas, away from coastal areas. Few organisms survive.

D2 standard specifying the maximum amount of viable organisms allowed to be discharged, including specified indicator microbes harmful to human health. Usually involves installing ballast water management system.

SUMMARY

- All new ships must conform to the D2 standard.
- Until the date when they have to meet the D2 standard, existing ships should exchange ballast water mid-ocean, to meet the D1 standard.
- Over time, all ships will have to meet the D2 standard.
- 'Renewal survey' refers to the IOPPC renewal survey under MARPOL Annex I

All ships must have:

- ballast water management plan
- ballast water record book
- International Ballast Water Management Certificate

New ships built on or after 8 September 2017 must meet the D2 standard.

Existing ships built prior to 8 September 2017 must meet the D1 standard until their D2 compliance date.

Existing ships with renewal survey between 8 September 2017 and 8 September 2019

Case 1: if previous renewal survey was between 8 September 2014 and 8 September 2017 – must comply with D2 by their renewal survey.

Case 2: if previous renewal survey was before 8 September 2014 – then compliance with D2 must be by the next renewal survey.

Existing ships with renewal survey after 8 September 2019 must meet D2 standard by their renewal survey.

All ships must meet D2 standard by 8 September 2024.

2017 ✓

2019 ✓

2024 ✓

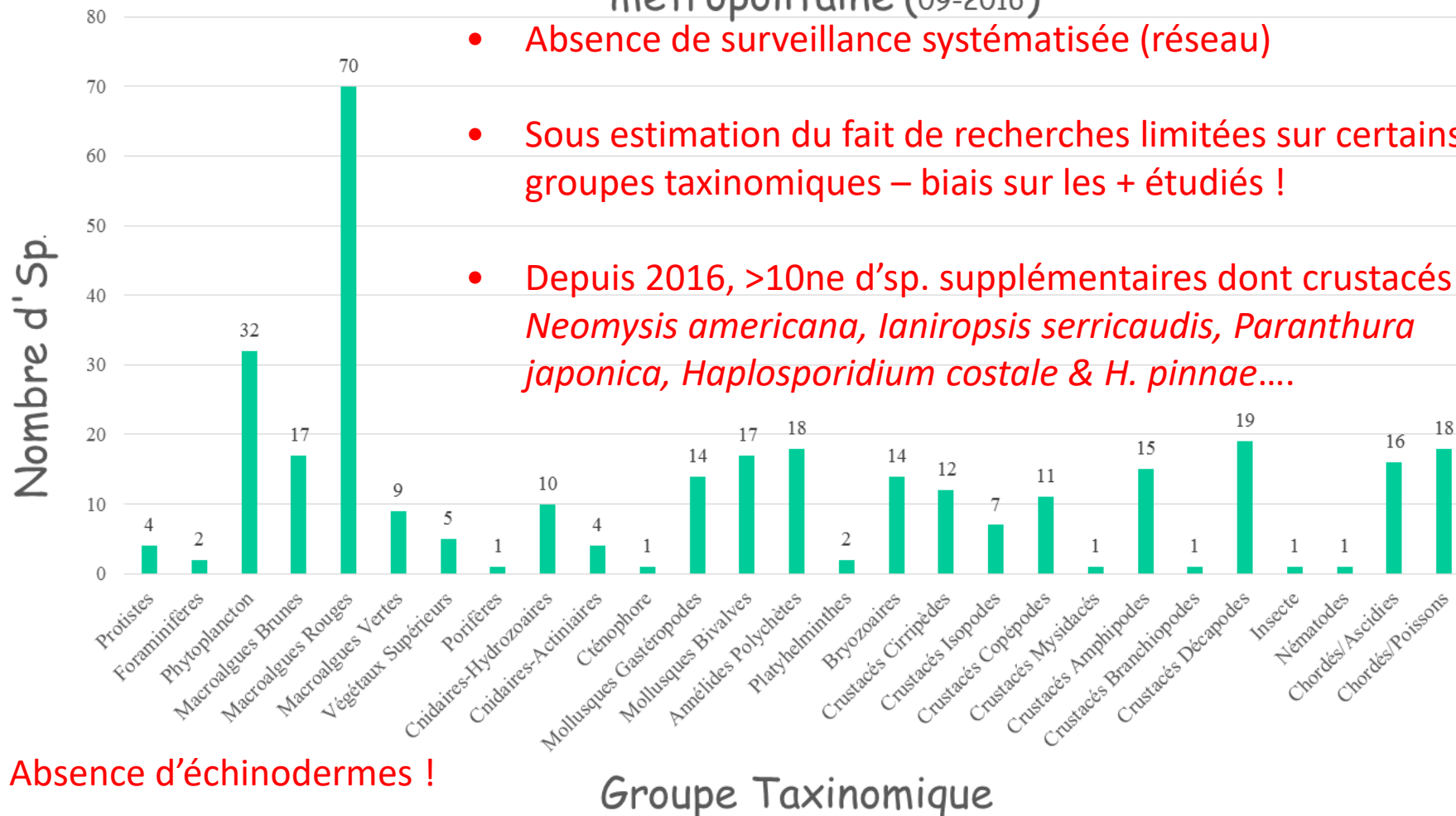
D2 STANDARD
D1 STANDARD



- Très forte activité internationale depuis 2017 pour développer ‘guidelines’ et réglementation sur le sujet – à la suite des recommandations de 2011 de l’OMI (résolution MEPC.207(62))
- IMO Biofouling guidelines 7th meeting of sub-committee ‘Pollution, Prevention & Response’ (PPR)
-
- GloFouling Project (OMI, GEF, UNDP)- 7M \$ - Problème soulevé au niveau UE DCSMM (rapports 2018)
- CIEM : (1) WG **ITMO** (2) WG **BOSV** Ballast and Other Ship Vectors (3) WG **SIME** Shipping Impacts in the Marine Environment (1ère réunion 11/2019)
- ICES Viewpoint ‘Biofouling on vessels-what is the risk and what might be done about it ? (01/2019) : (1) Urgence de la mise à jour du “Guidelines”, (2) Passer à des recommandations spécifiques (type de bateau, temps de residence dans un port, etc., (3) Evaluer l’efficacité des méthodes d’enlèvement du bio-fouling, (4) adaptation des infrastructures portuaires....

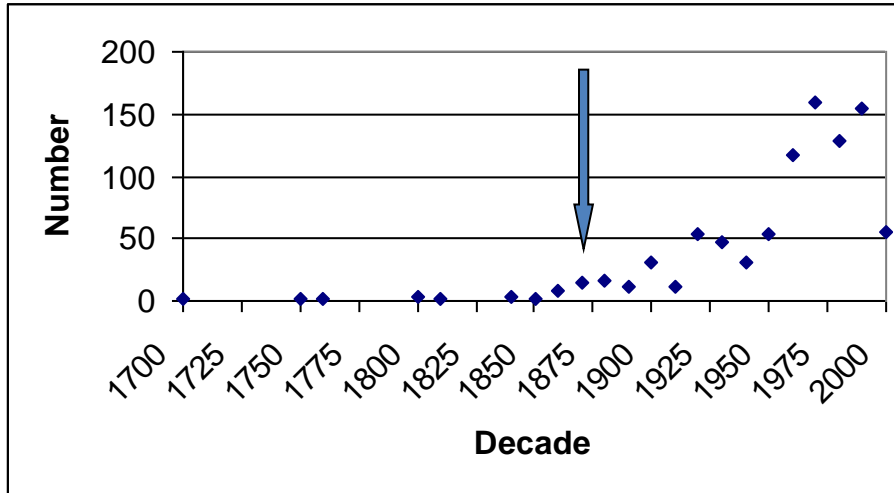
Cas d’étude: *Didemnum vexillum* - Holyhead Harbour (Wales): tentative d’éradication suite à détection dans une marina pour un coût de 350000£. Succès initial avant recolonisation puis dispersion dans les ports britanniques via le biofouling des bateaux!

Distribution Taxinomique des espèces exotiques en France métropolitaine (09-2016)

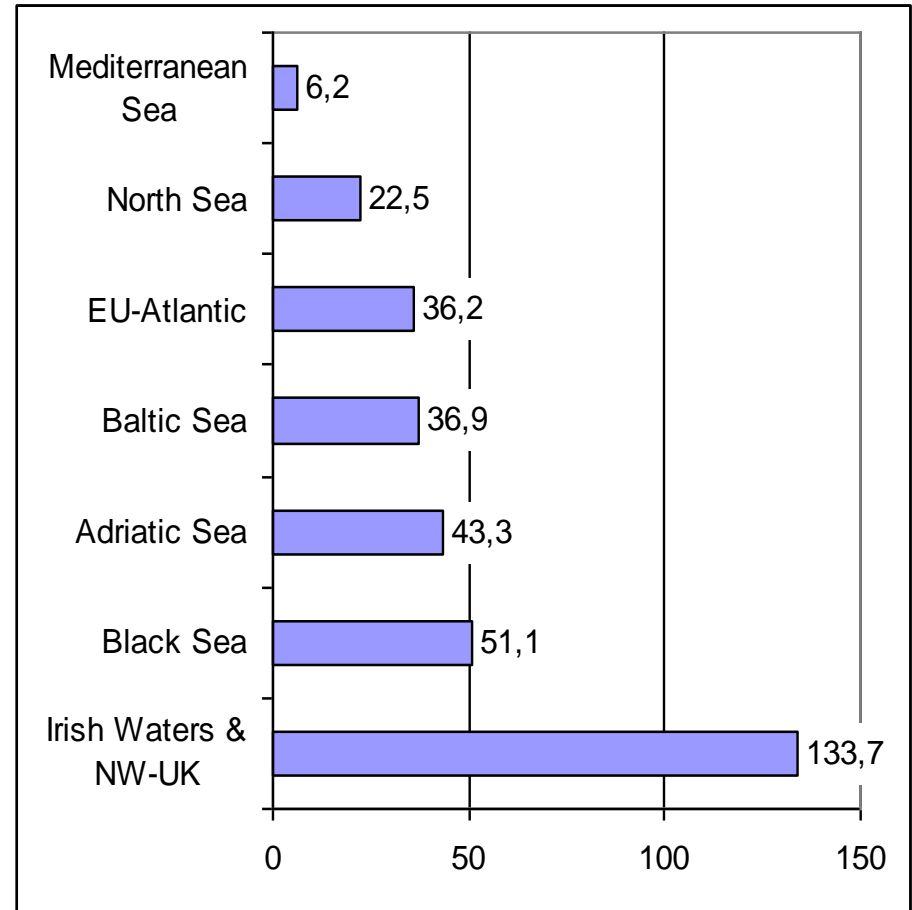


- Absence de surveillance systématisée (réseau)
- Sous estimation du fait de recherches limitées sur certains groupes taxinomiques – biais sur les + étudiés !
- Depuis 2016, >10ne d'sp. supplémentaires dont crustacés *Neomysis americana*, *Ianiropsis serricaudis*, *Paranthura japonica*, *Haplosporidium costale* & *H. pinnae*....

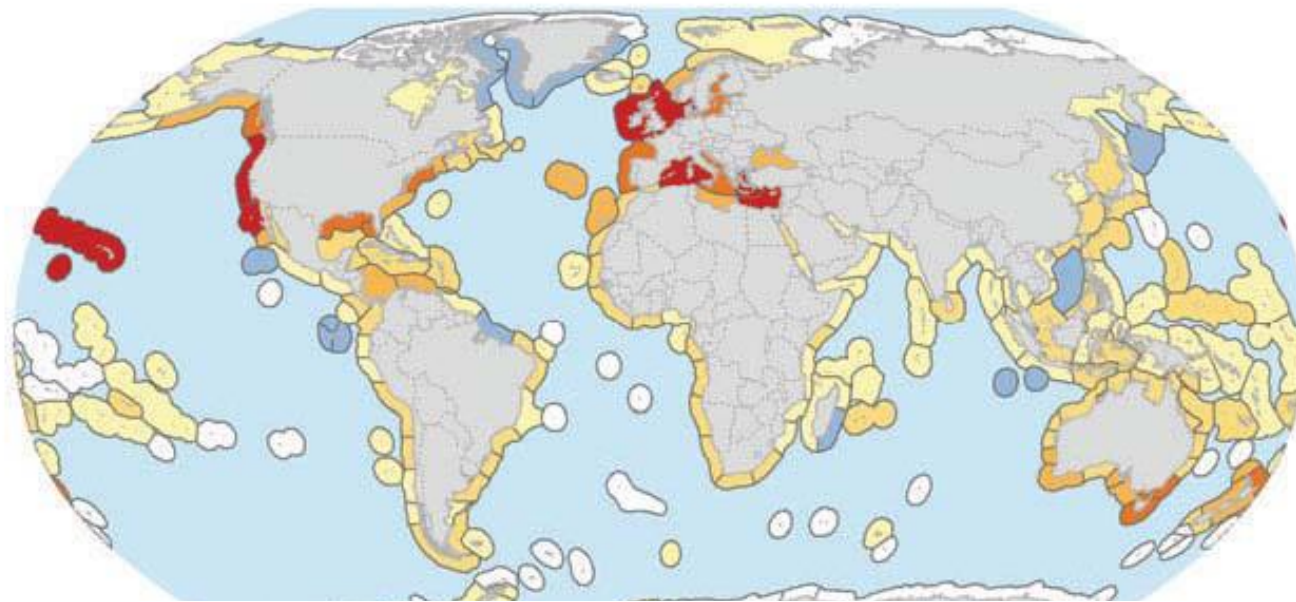
Absence d'échinodermes !



- Max: ttes les 6,2 semaines, une nelle sp. en Médit.
- Min: tous les 2.5 ans (Irlande & NW UK)
- Moyenne: 0,9 an



Nombre de semaines par introduction



Rouge = Nbre élevé d'sp. Exotiques à fort impact.

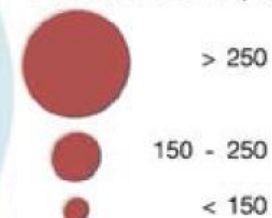
Blanc = pas de données

(Molnar et al. 2008)

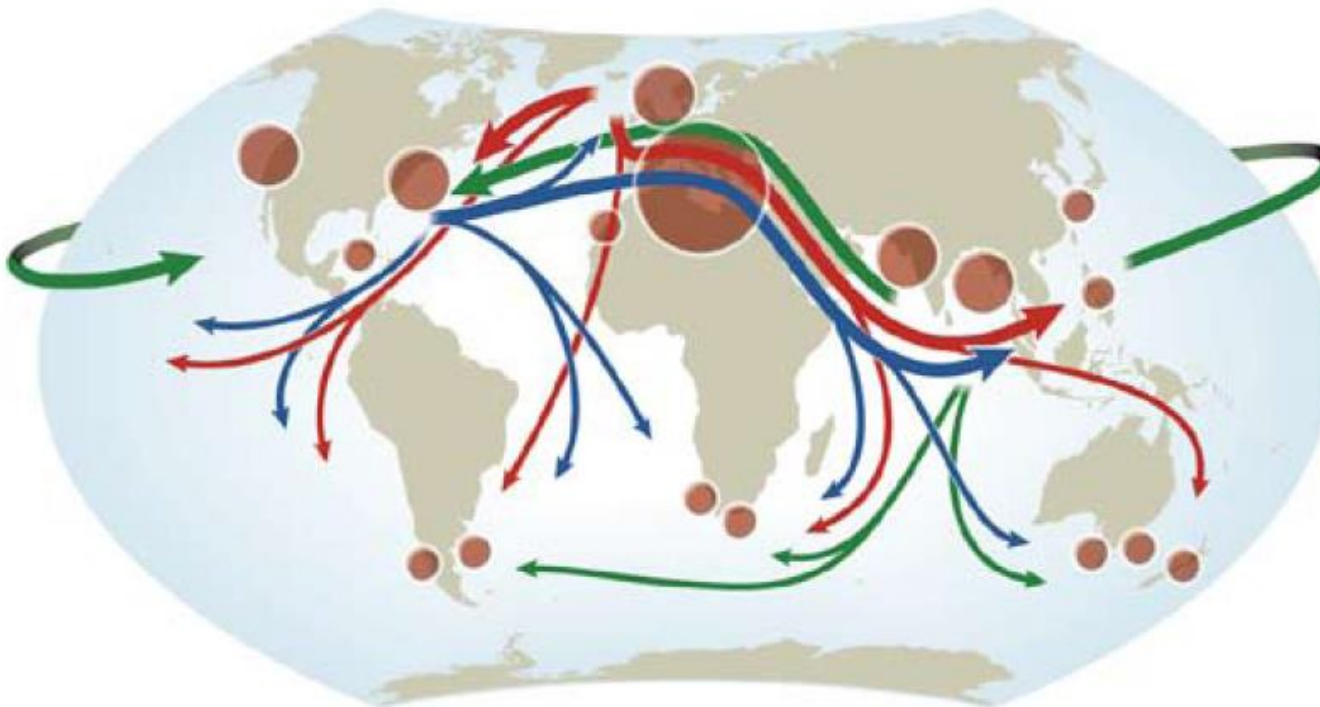
Invasive marine species pathways and origins

-  From NW Atlantic
-  From NE Atlantic
-  From Asia

Major areas with invasive marine species



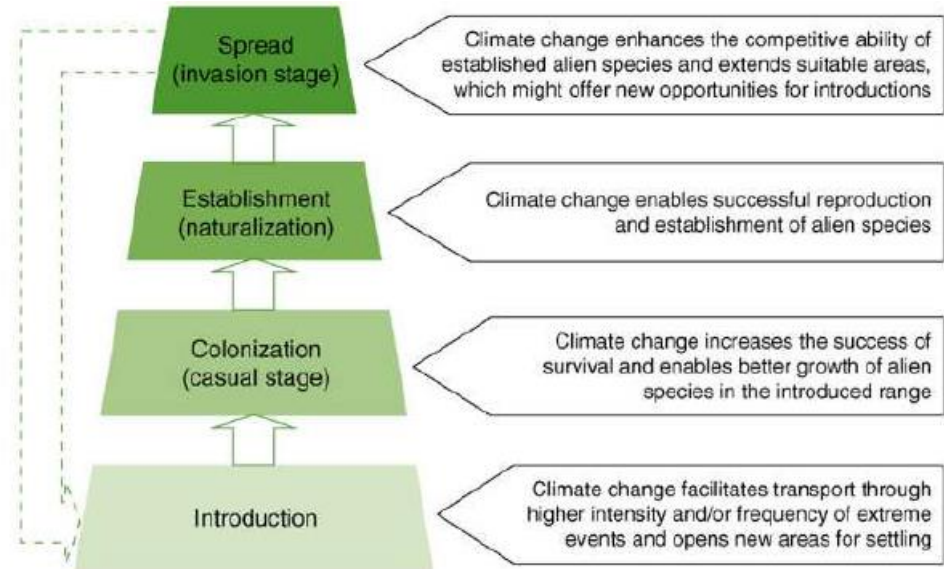
Number of invasive alien species



(Nellemann et al. 2008)

Gestion environnementale face aux enjeux du changement climatique.....

- Changements en cours des aires de répartition biogéographiques ...et des populations sauvages ! (phénologie)
- Interactions avec les processus d'invasions biologiques...
-



TRENDS in Ecology & Evolution

(Walther et al., 2009)

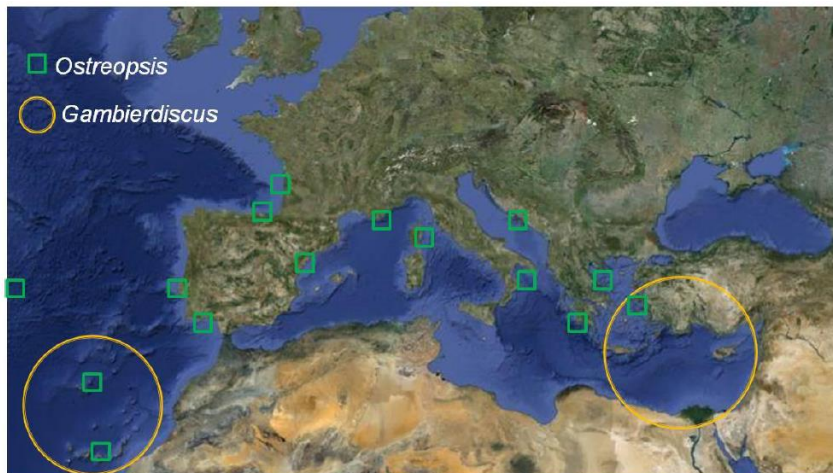
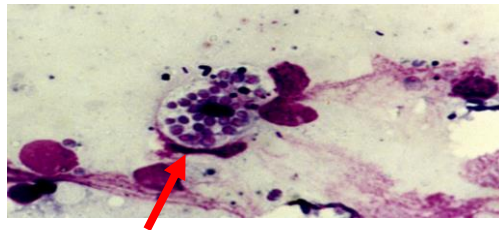


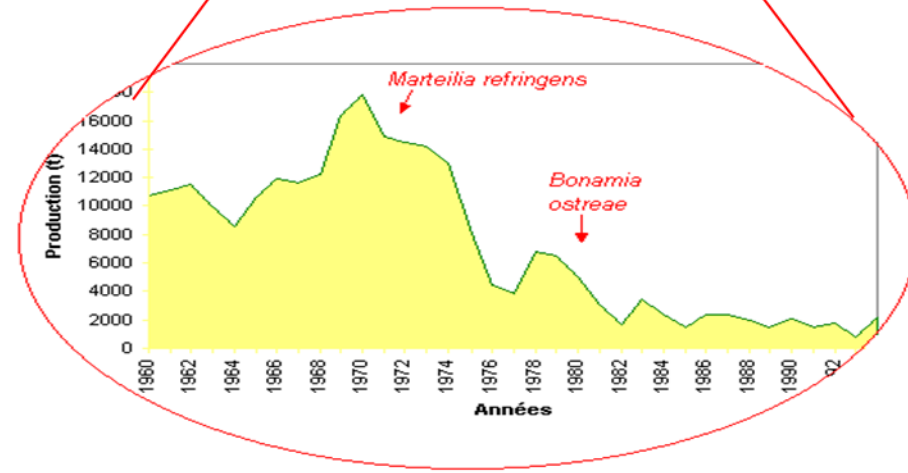
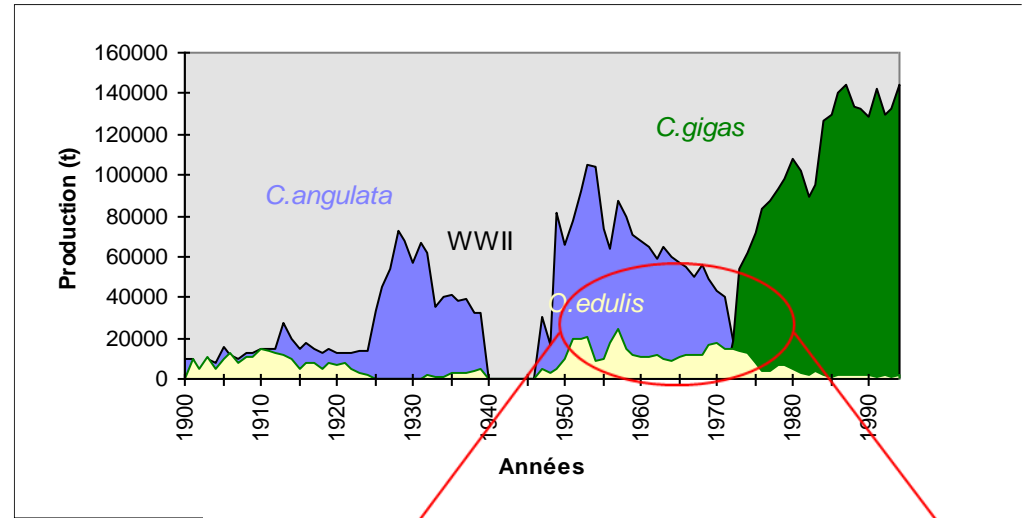
Figure 1: The squares indicate locations where *Ostreopsis* spp. have been reported; the wide circles indicate the areas where *Gambierdiscus* spp. was recently found in Europe (adapted from EFSA 2010, Parsons et al 2012).

....Quelques cas d'étude....

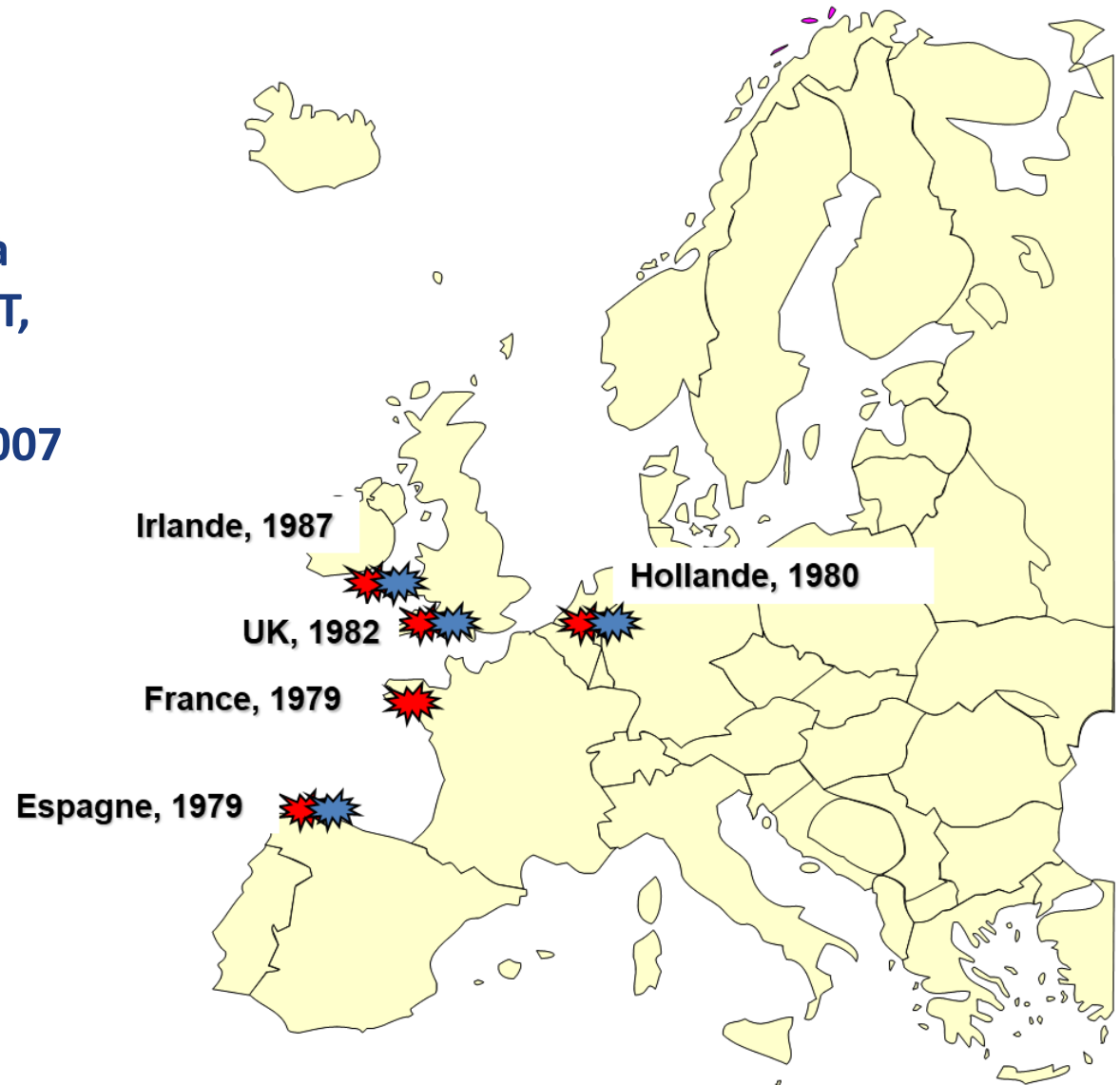
Effondrement des productions ostréicoles d'huîtres plates résultant de 2 maladies, la Bonamiose *Bonamia ostreae* & la Marteiliose *Marteilia refringens*...d'une infection locale issue d'une introduction de naissains de la côte ouest des USA aux impacts à l'échelle européenne



Bonamia



**Expansion de la Bonamiose à l'échelle européenne (DIPNET, 2005)
+ Bonamia exitiosa depuis 2007 (EU LR, 2018)**



Gastéropode *Rapana venosa*

Gastéropode asiatique (14cm) introduit en :

Mer Noire dans les années 1940 (fort impact & pêche) puis dispersion jusqu'en Adriatique (1970s.. 1980, côte ouest Italie)

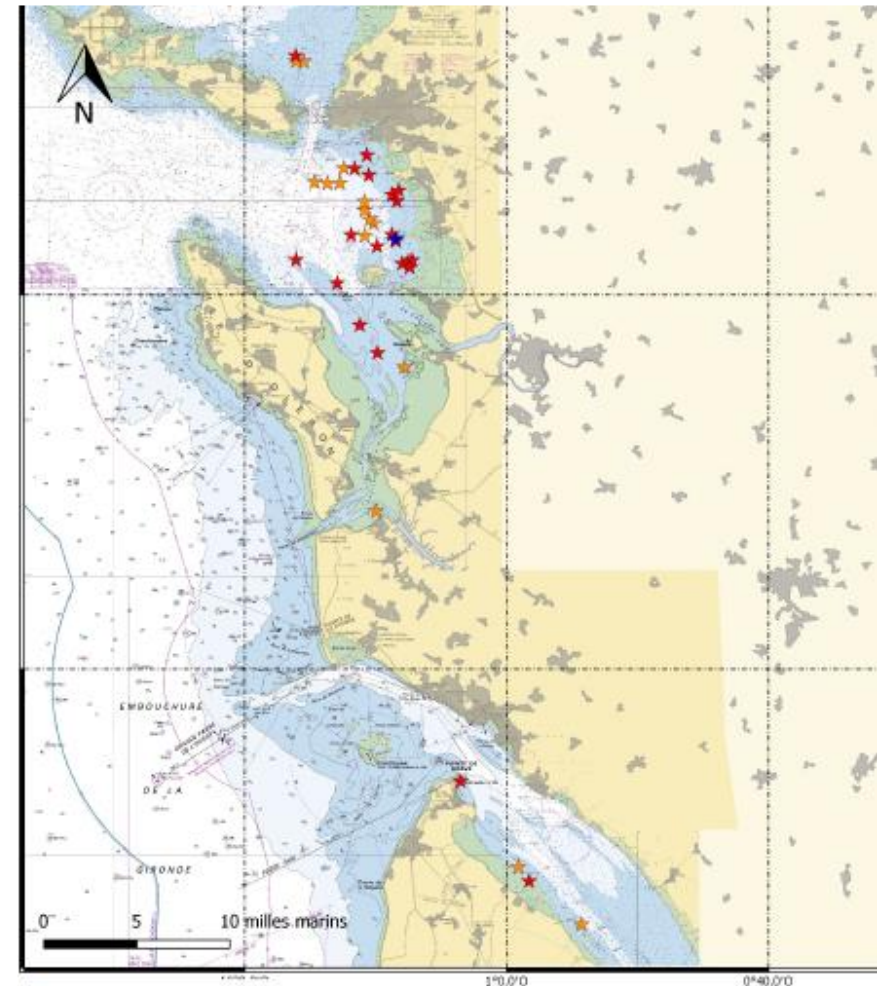
Chesapeake Bay (USA) en 1998 – fort impact sur la pêche de clam *Mercenaria mercenaria*

Uruguay, Argentine ... 1999...

France :

- Baie de Quiberon 1997 via transfert de palourdes japonaise de Mer Adriatique
- Etang de Berre 2015
- Recrudescence en 2020 (Arcachon, Pertuis charentais...)

(ICES Alert Report 2004)



- ★ Signalement de 1 à 4 individus (dans ce secteur)
- ★ Signalement de 1 à 4 individus (coordonnées précises)
- ★ Signalement de pontes (coordonnées précises)

Le gastéropode *Rapana venosa* est observé par les pêcheurs professionnels depuis plusieurs mois. Depuis le mois de mai 2020 les signalements sont repertoriés. Il a été pêché au chalut ou au filet, dans les pertuis Breton et d'Antioche ainsi que dans l'Estuaire de la Gironde. Cette carte représente les 1ers signalements et sera complétée au fur et à mesure des informations recueillies.

Signalements Pertuis (2020)

Crabe bleu *Callinectes sapidus*

Crabe originaire de la côte EST USA où très grande pêche

Caractéristiques: très bon nageur, migrateur pour sa reproduction et très agressif (et excellent à consommer!!!)

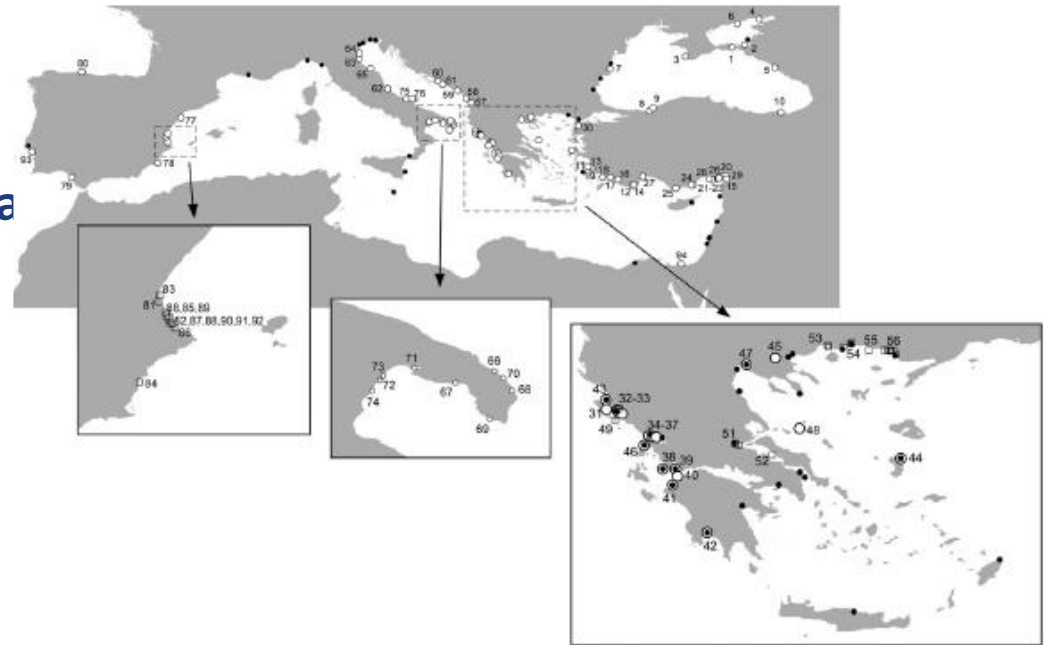


#1935 introduction en M. médit.

#1978 Portugal....

Développement massif dans le delta de l'Ebre, Espagne.

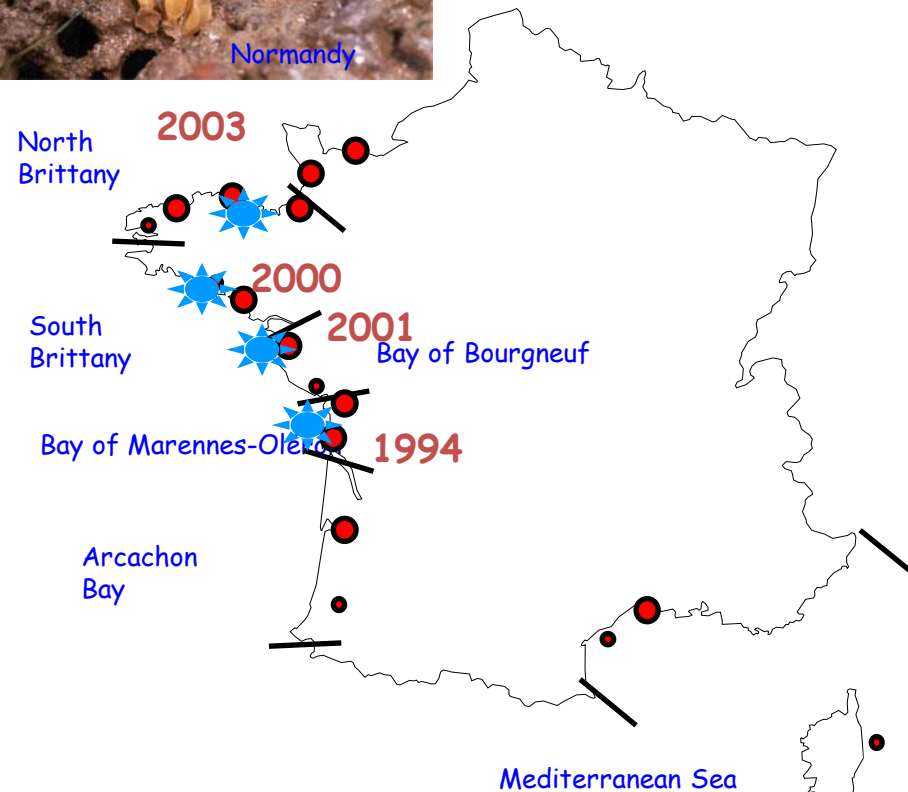
Invasions des lagunes méditerranéennes françaises en cours !!



Signalements en Méditerranée 20 dernières années (Mancinelli, 2017)

Gastéropode *Ocenebrellus inornatus*

- 1994 - 1ère détection du gastéropode prédateur perceur
- Introduction initiale remonte à plus de 30 ans en // de l'introduction de *C. gigas* (vecteur) à partir des USA
- Expansion incontrôlée le long des côtes françaises par changement climatique (effet seuil 90s') et transferts de coquillages...
- Aucun isolement génétique par la distance géographique



Risques associés aux transferts d'espèces lors des activités aquacoles: interactions avec le changement climatique

Taux de croissance moyen supérieur de 62% pour les femelles et de 51% pour les mâles de l'espèce exogène

Dimorphisme sexuel en faveur des femelles d'O. inornatus et en faveur des mâles d'O. erinacea

Effort de ponte 15x supérieur pour l'espèce exogène

Période de ponte et de recrutement plus longue dans l'année pour O. inornatus favorisant l'espèce exogène face aux variations environnementales de saison

Maximum de prédation en été pour les 2 espèces (perçage continu entre 10 et 21°C)

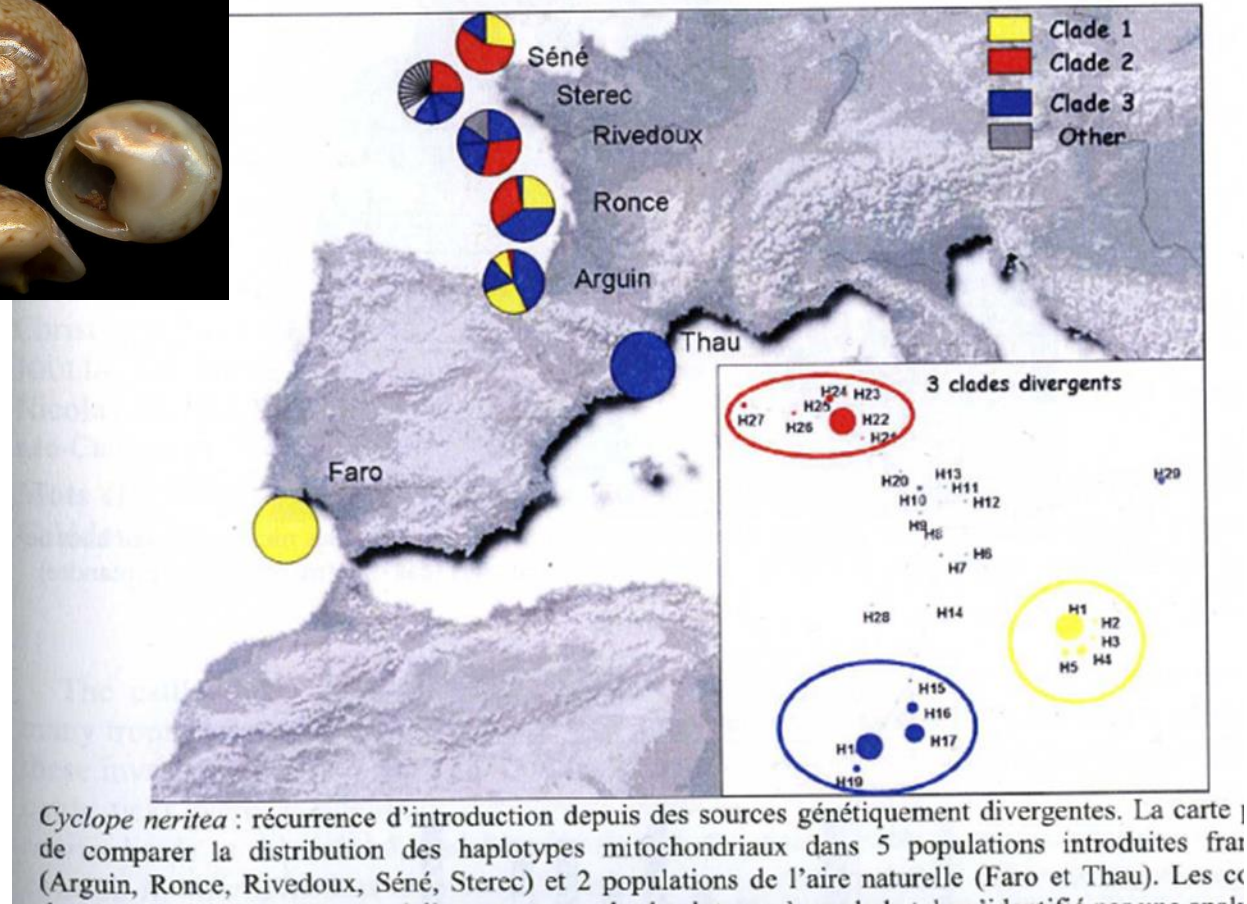
O. erinacea = prédation plus importante que l'espèce exotique

Développement des populations plus important chez O. inornatus que chez O. erinacea

Espèce exotique présente un meilleur rendement énergétique pour l'effort de reproduction qu' O. erinacea



Depuis son introduction (1970s), fort accroissement avec impact sur *Nassarius reticulatus* (régime nécrophage-plus active-chevauchement niche écologique)=
Avantage compétitif



- 3 clades distincts entre « Asie » « Languedoc » & « Sud-Méditerranéenne - Atlantique »
- Isolement génétique en fonction de la distance géographique pour les populations atlantiques

- **Activité de prédation supérieure chez l'espèce exotique**
- **En eaux calmes, *C. neritea* est plus active et atteint sa proie plus rapidement que *N. reticulatus*, représentant un avantage compétitif**
- **En eaux courantes, *N. reticulatus* devient plus active et atteint sa proie avec une efficacité similaire à celle de *C. neritea*.**
- ***Nassarius reticulatus* est parasitée par un plus grand nombre d'espèces et en plus grande quantité que l'espèce locale**
- **Taux de mortalité des *N. reticulatus* parasités supérieurs à ceux de *N. reticulatus* non parasités**

Une des 2 espèces “marine” listée pour la mise en oeuvre du règlement UE (2014)

Sp. en eaux douces avec phase marine
(reproduction) (migration)

DAISIE – une des plus impactante

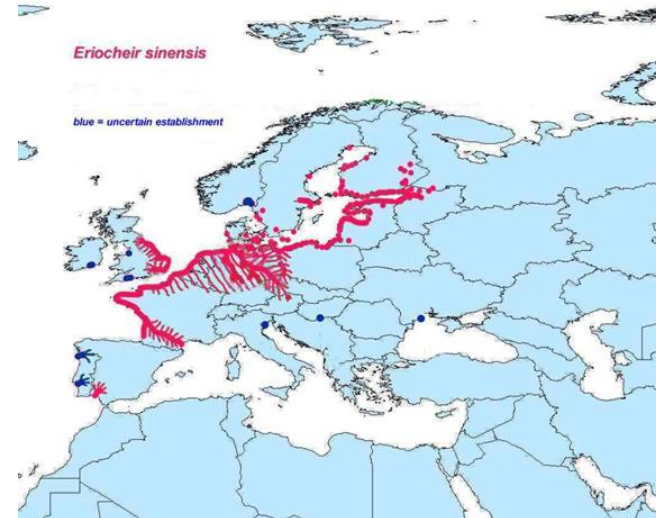
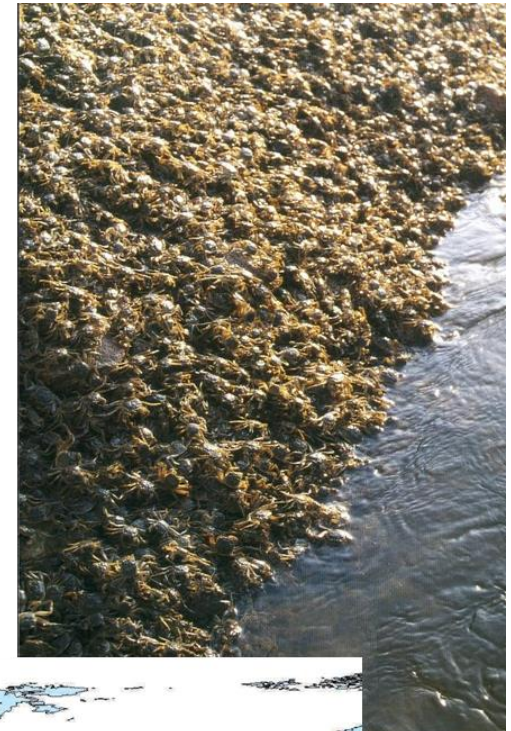
UK: Propagation à raison de 450 km/an-
maintenant sur la côte ouest

Premiers crabes chinois en Irlande en 2006

Plus de 500 individus pêchés dans l'estuaire
du Guadalquivir (Espagne)

E. sinensis trouvé dans l'estuaire du St
Laurent, Canada et en Baie de Chesapeake,
USA

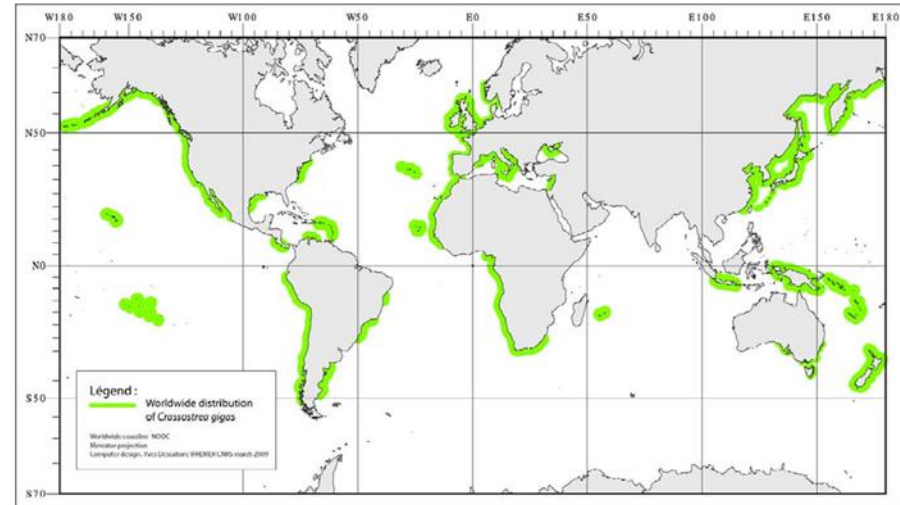
En France, rivières et fleuves Atlantique
jusqu'en Méditerranée



Complexité des Productions d'Huîtres creuses (& conchylicoles)

[*Magallana gigas* = *Crassostrea gigas*]

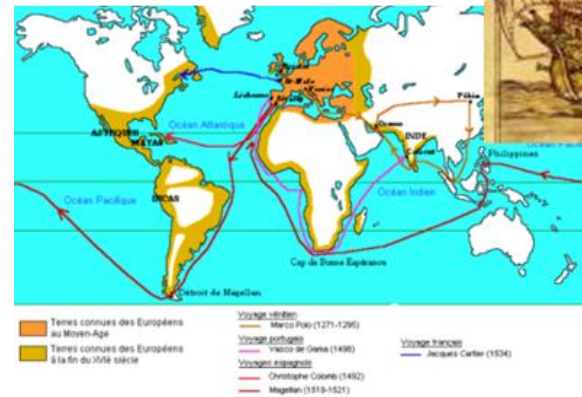
Introductions de l'Huître creuse japonaise *Crassostrea gigas* à l'échelle mondiale pour l'aquaculture



(FAO, 2007 ; Ruesink et al., 2005 ; Miossec, Le Deuff, Goulletquer, 2009)

Production mondiale aquacole de *Crassostrea gigas* # 4,5 millions tonnes (FAO, 2016).

Conchyliculture française basée sur des exotiques: *C. gigas*, *C. angulata*, *M. mercenaria*, *T. philippinarum* (échappé)....!

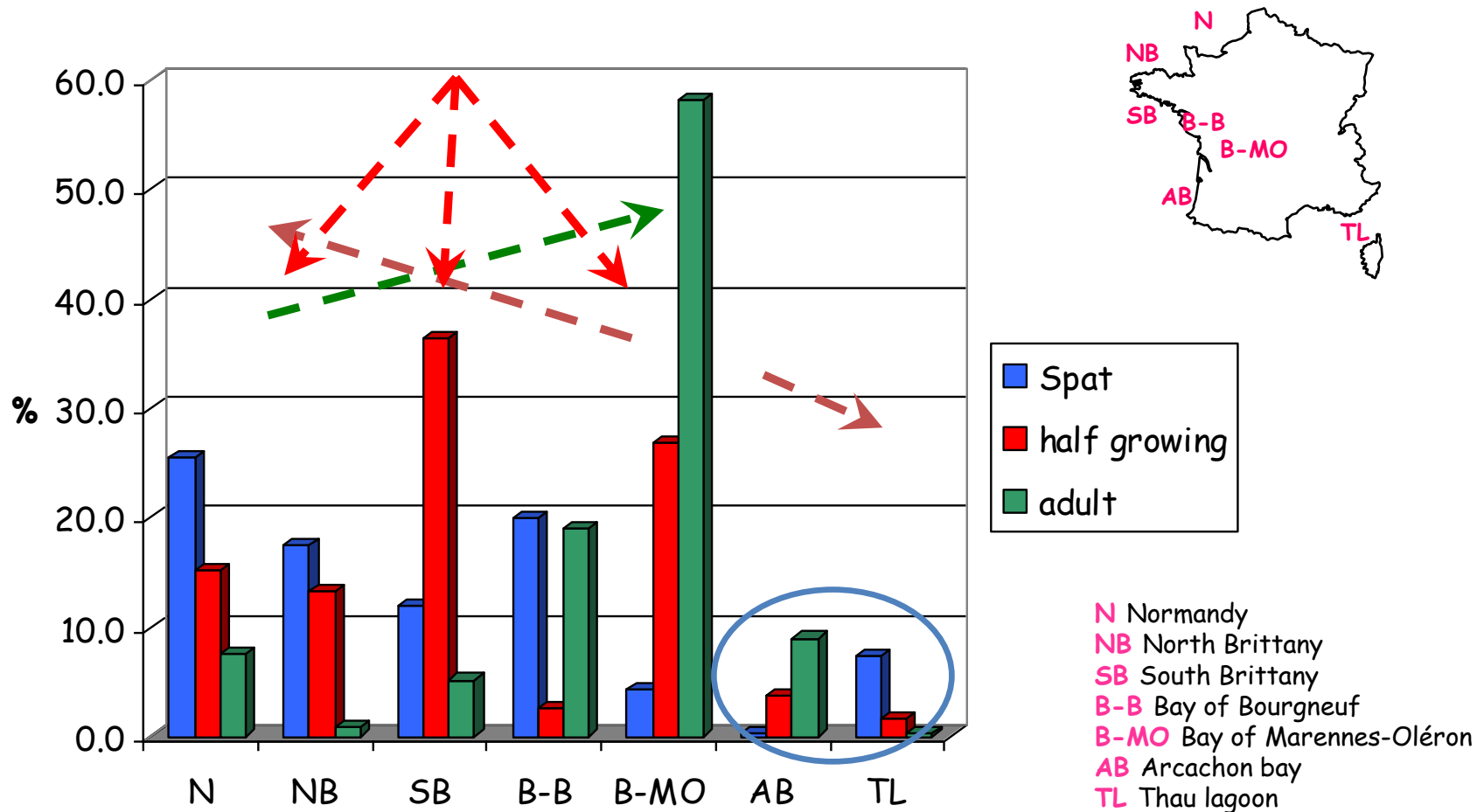


- Leadership au niveau européen
- Basée sur les productions d'huîtres (*C. gigas* & *O. edulis*) et de moules (*M. edulis* & *M. galloprovincialis*)
- Activité « extractive - extensive » et entièrement dépendante de la qualité environnementale
- Caractérisée par des transferts importants de cheptels & forte variabilité des rendements
- Filières de production basées essentiellement sur du recrutement annuel sauvage
- Production en écloseries d'huîtres
- Principales zones de captage (Sud Ouest – Charente Maritime & Bassin d'Arcachon (huître creuse))
- Fortes Mortalités !



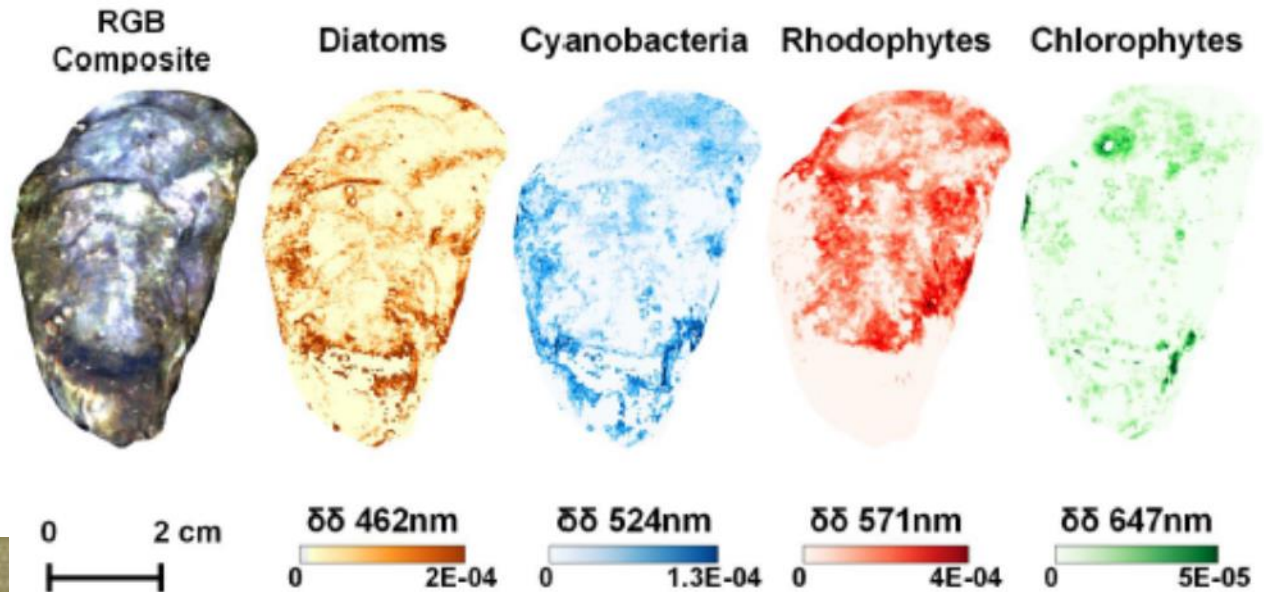
Rôle important dans l'aménagement du territoire !!

Ostréiculture caractérisée par des transferts de cheptels importants



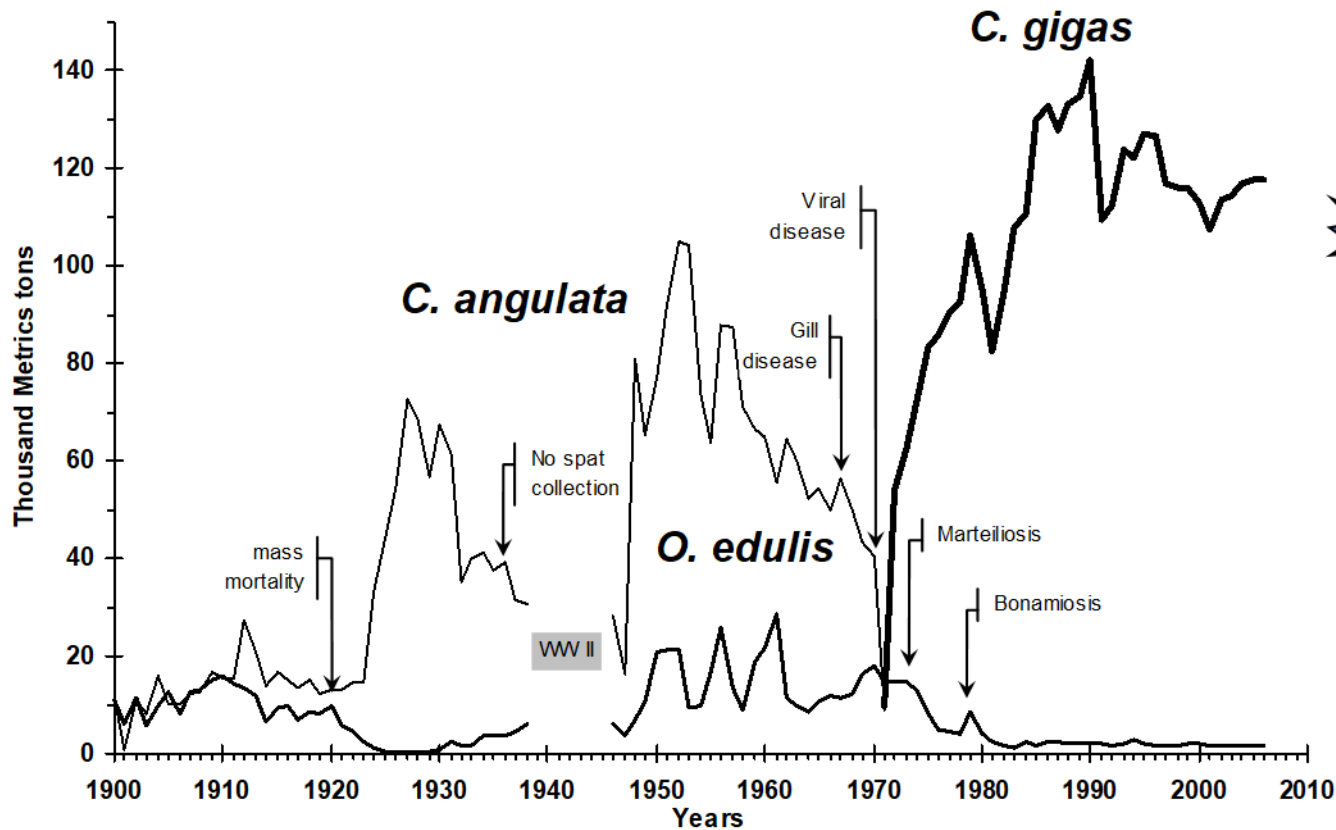
Transferts interrégionaux à différents stades de développement en 2001 (Recensement de la Conchyliculture, AGRESTE 2005 & 2012).

Analyse spectrale & hyperspectrale de coquilles d'huîtres
(Williamson et al. 2016;
Barillé & Lebris, 2017)



Différents euendolithes microbiens dans la coquille d'huître en microscopie optique:
Cyanobacteries (*Mastigocoleus testarum*, *Leptolyngbya terebrans*, *Hyella caespitosa*),
Chlorophytes (*Ostreobium quekettii*, *Eugomontia sacculata*, algue verte ulotrichée ..)

Diatomées dominantes – 93 taxa identifiés !



Mortalités massives: Herpès virus, OHSV1, Syndrome juvéniles, Vibrioses, H. costale etc.... !

Une situation de quasi monoculture ...avec une fragilité historique !

Atouts de la conchyliculture sont également leurs faiblesses !

Près de 60000 t vendues annuel^t

L'approvisionnement des bassins de production français en naissains (huîtres & moules)

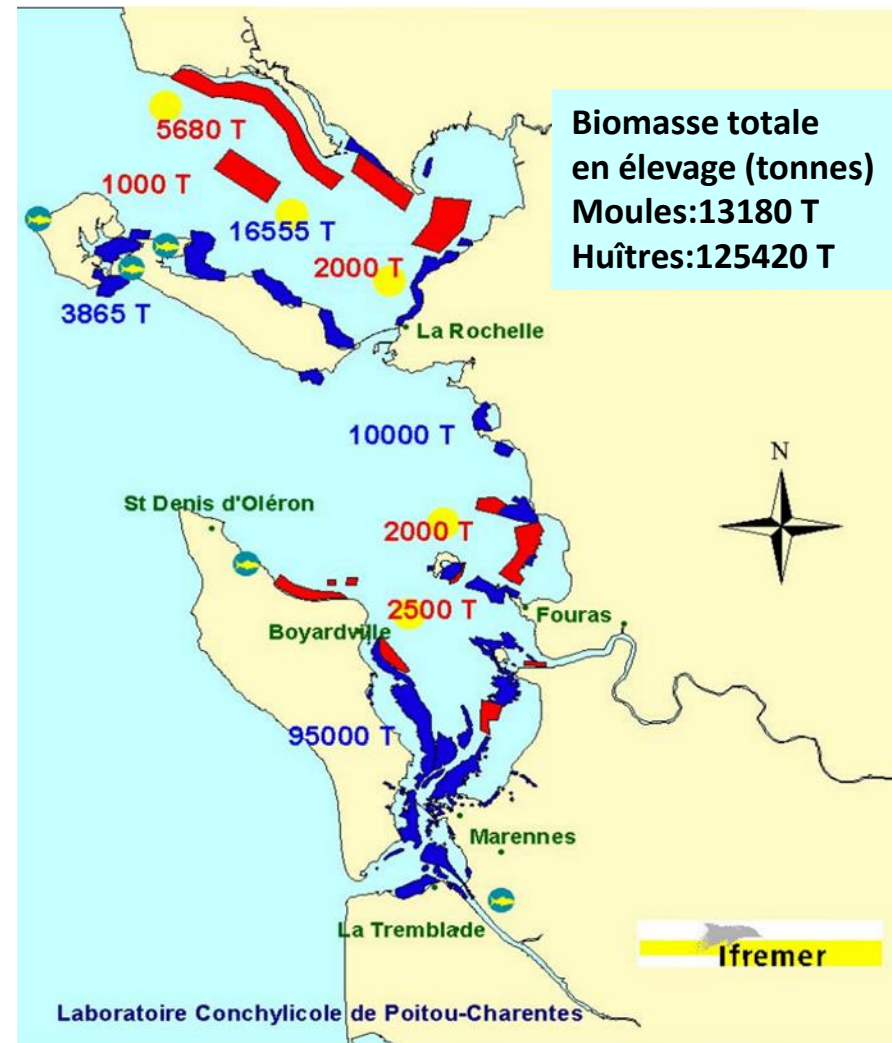
Concentration des entreprises ces dernières années –

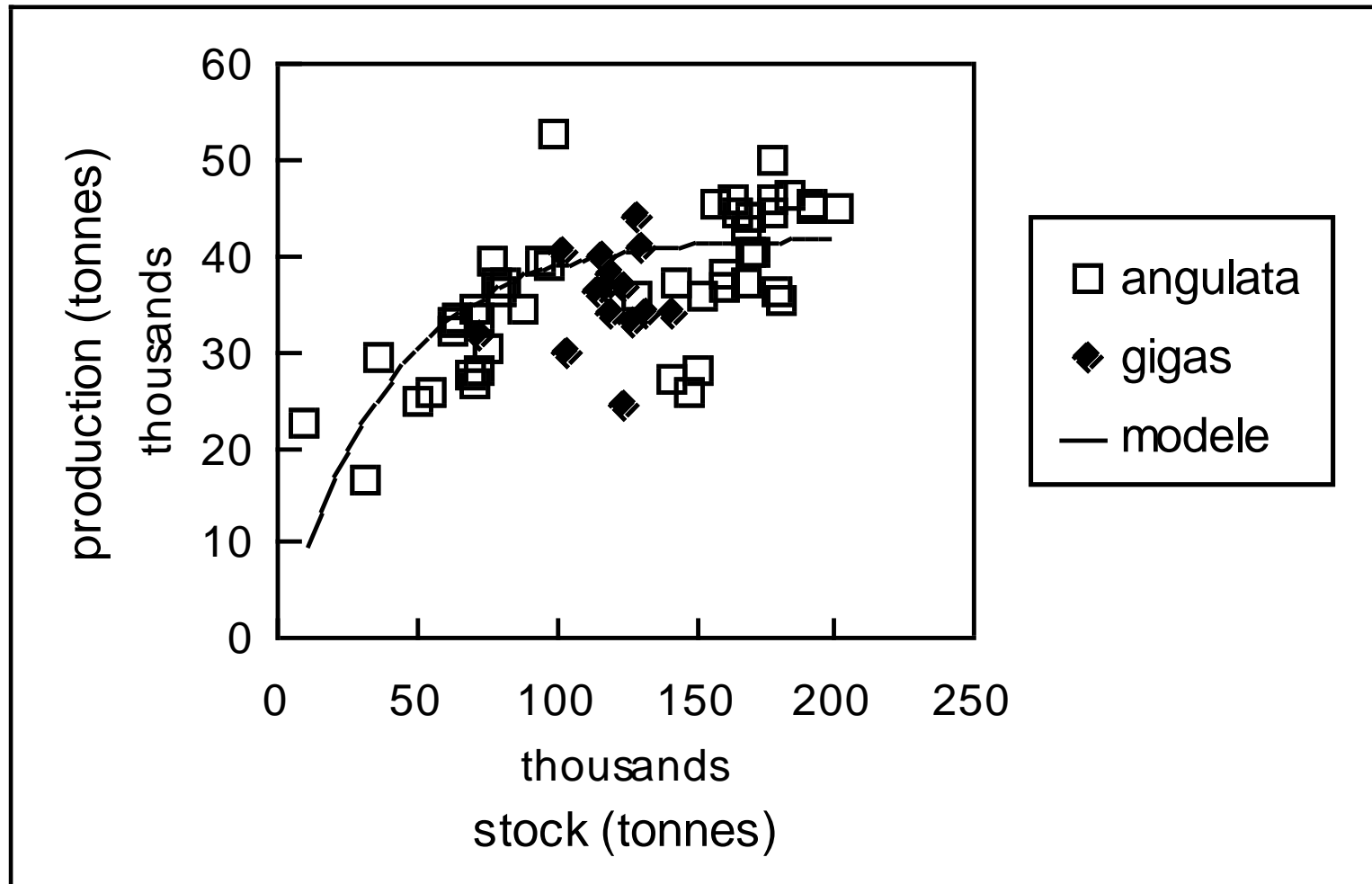
Plus de 789 entreprises à la production (+ commercialisation), avec plus de 3000 etp ...

2300 ha de parcs sur le DPM exploités & 2100 ha de claires en marais (privés)...

Production de 200 M €

Conflits d'usage... (Agreste, 2015)





Reconstitution des productions annuelles dans le Bassin de Marennes Oléron (Héral et al., 1985)

Inadéquation entre la charge en élevage et la capacité trophique implique:

des durées de croissance rallongées
des taux de mortalité accrue
un affaiblissement des cheptels en élevage vis-à-vis des pathologies potentielles

...et de fait des rendements de production réduits...et inférieurs à d'autres bassins conchylicoles

- Augmentation des coûts de production
- Abandon des parcs d'élevage
- Augmentation des coûts d'entretien à la collectivité
- Augmentation des transferts interbassins afin d'optimiser les cycles de production...mais également transferts de parasites et de prédateurs en parallèle !

Problème de l'accès non régulé à une ressource commune (capacité trophique..)





L. Coïc



SRC MO



L. Coïc



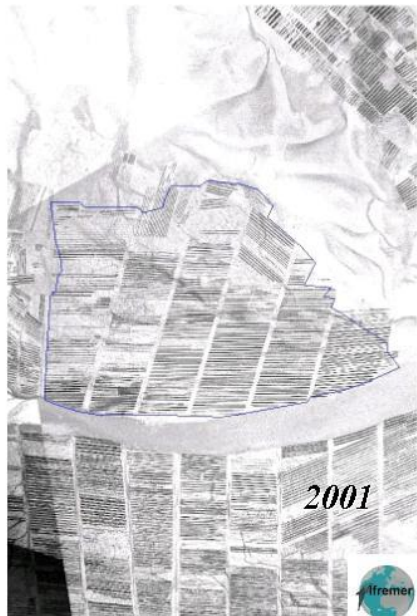
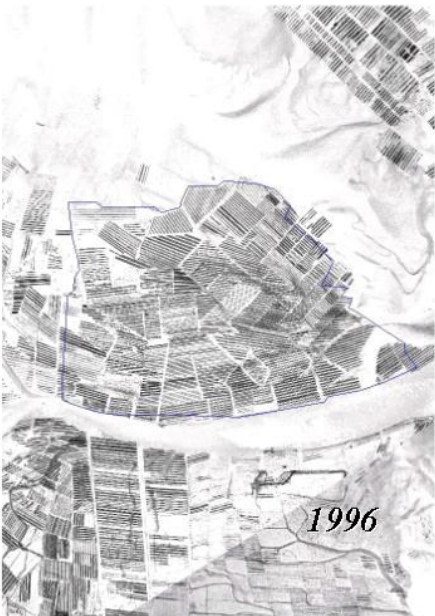
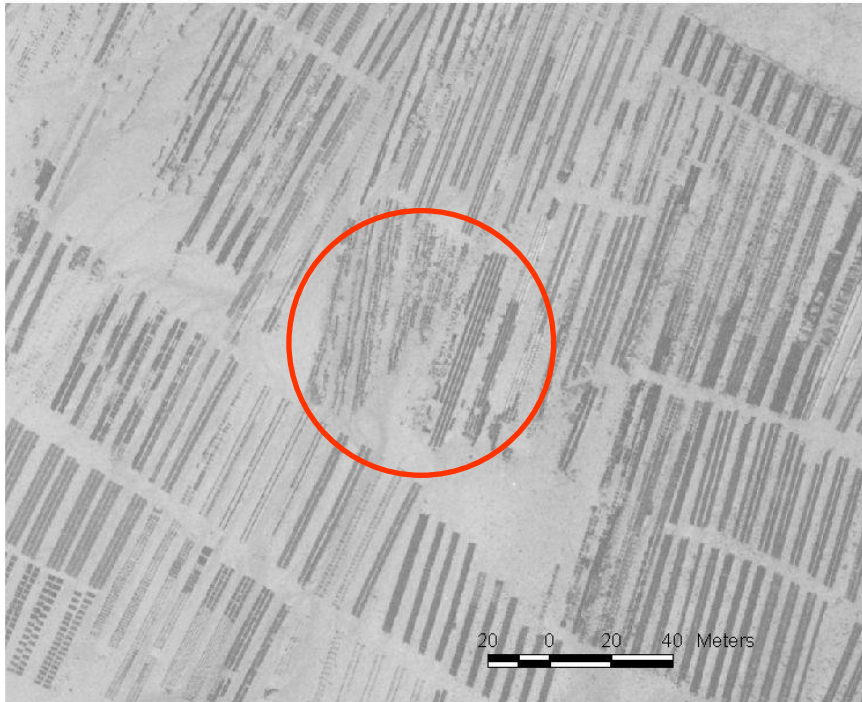
L. Coïc



L. Coïc



L. Coïc



Concessions sous entretenues

Gestion opérationnelle en Conchyliculture & Environnement: évolution spatio-temporelle & Gestion des espaces

Années 1970s = introduction *C. gigas* sur gisements naturels protégés (sanctuaires) et sur concessions

Années 1980s = pic d'exploitation du DPM et charges en élevages (>150Kt) = surcharge biologique – perte de rentabilité – suivi d'abandons de concessions – changements de pratiques (plat vs surélevé) & transfert d'entreprises & activités sur autres bassins – multiplication des transferts de cheptels)...

Années 1990s = diminution du nbre d'entreprises – de l'entretien & de la main d'œuvre – colonisation des gisements et des concessions abandonnées (>20Kt) concurrence avec cheptels en élevage (# 100Kt)

Plan d'entretien : transfert des coûts de l'individu (schéma des structures) au collectif (collectivités territoriales & SRC Marennes Oléron)

Construction de bateau & engins spécifiques d'entretien (dameuses) par CG 17 sous gestion CRC équipage)

Années 2000s – 2010s = mortalités, exploitation des gisements sauvages !
diversification

Evolution Spatio-Temporelle & Gestion des espaces

Plan quinquennal de Gestion du D.P.M.

Restructuration du cadastre conchylicole (adaptation à la concentration des entreprises et taille – surfaces en exploitation) (Affaires Maritimes – Ifremer – SRC) (> 600 ha ...) (valeur des concessions !!!)

Destruction des compétiteurs trophiques

- Destruction des gisements naturels classés (sanctuaires)
- Destruction des compétiteurs huîtres – crépidules, etc... selon un plan annuel en continu (CRC) & entretien du DPM (dévasage – creusement de coursières, etc...)

***PROBLEME : GESTION DES DECHETS sur les plans juridique & pratique
!!!.....***

Les moyens mis en œuvre dès 1995 :



1999 : Mise en service de « La Trézence »



... Changement climatique et/ou adaptation génétique... Interactions Aquaculture - Environnement.....

- Expansion de *C. gigas* comme de la moule *M. galloprovincialis* depuis le milieu des années 90s

- Impacts divers:

- Augmentation de la pression sur la capacité trophique par l'augmentation thermique (1,5°C # 15000 t huîtres supplémentaires à Marennes Oléron)

- Modifications d'habitat & de fct. d'écosystèmes, sédimentation ...

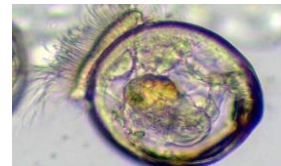
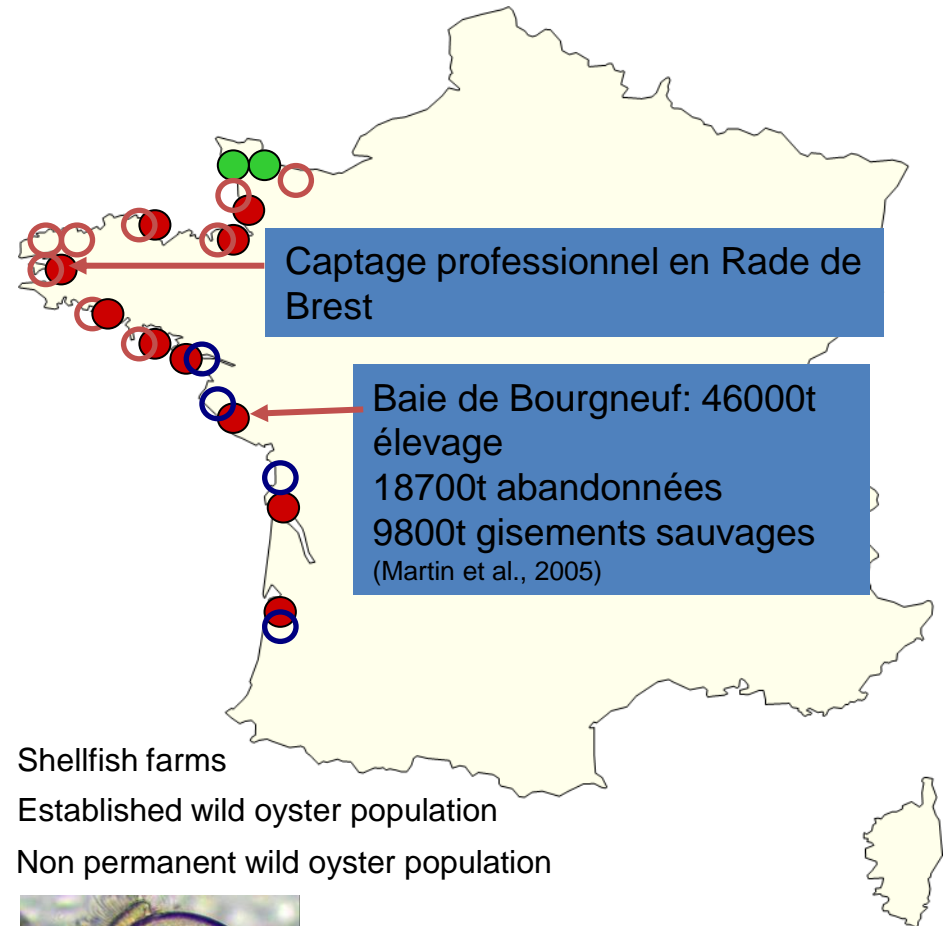
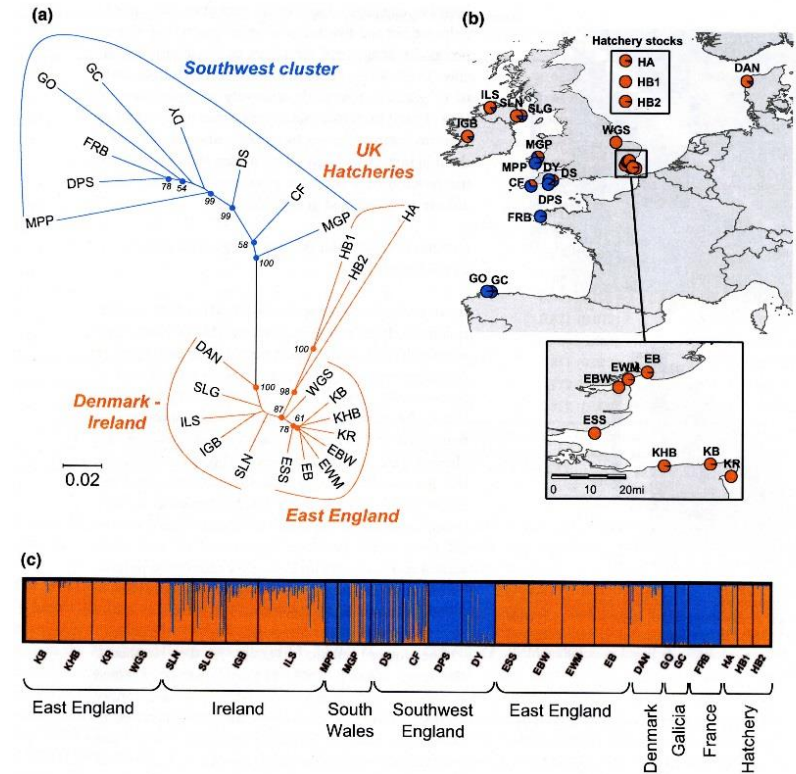
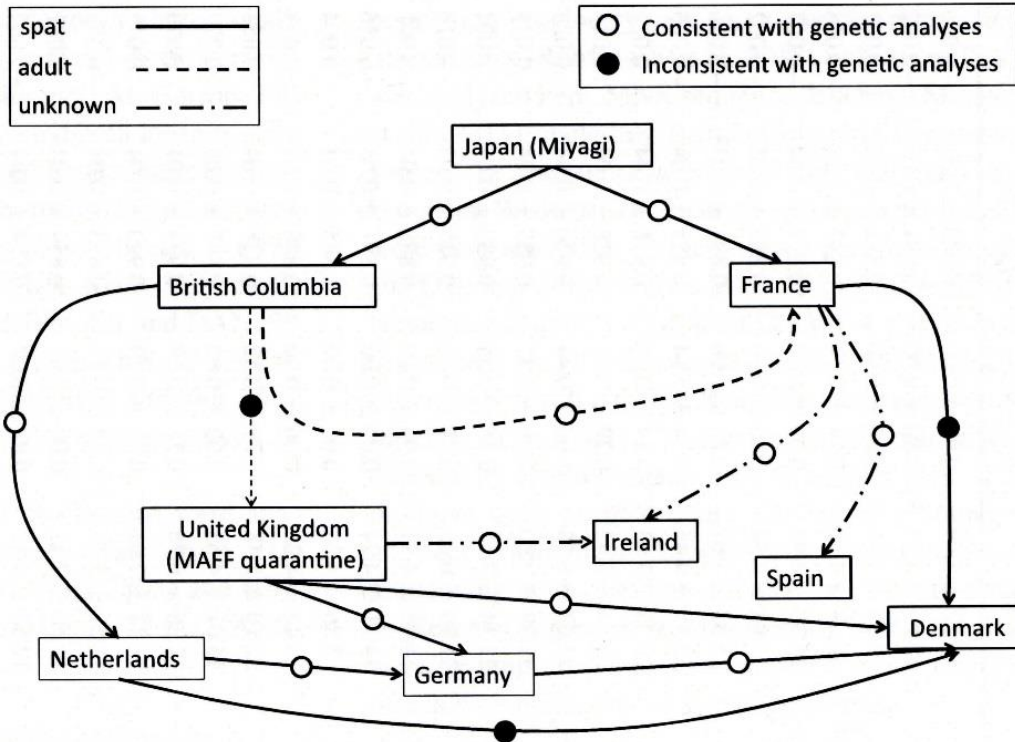


Photo: N. Masson

From Hily, Lejart, 2006. **PROGIG**

... Changement climatique et/ou adaptation génétique...



Combinaison Marqueurs Microsat. (nucléaire) & ADN mitochondrial (Lallias et al., 2015)

.... Invasion à l'échelle européenne...du Portugal à la Norvège...! Changement climatique et/ou adaptation génétique, ou....

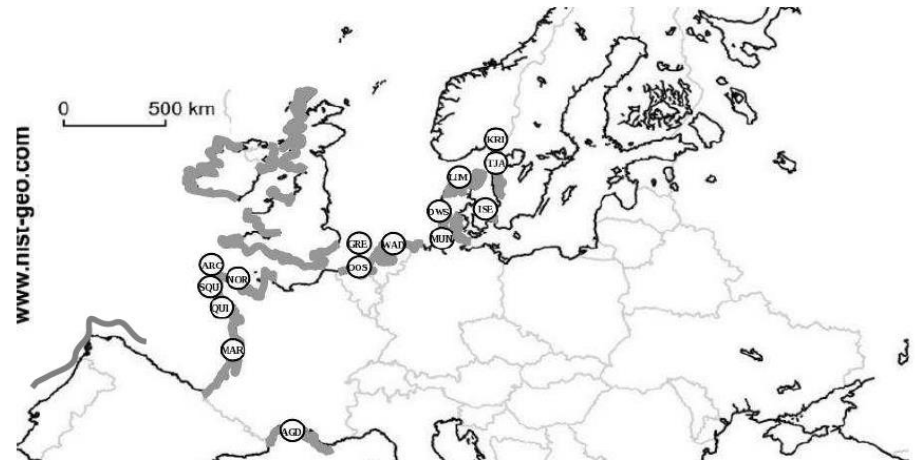
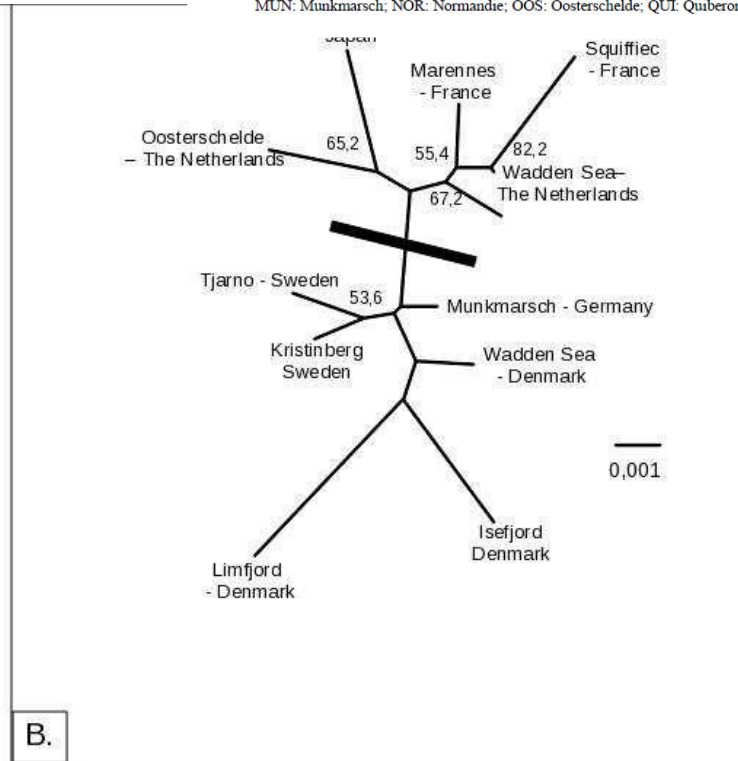
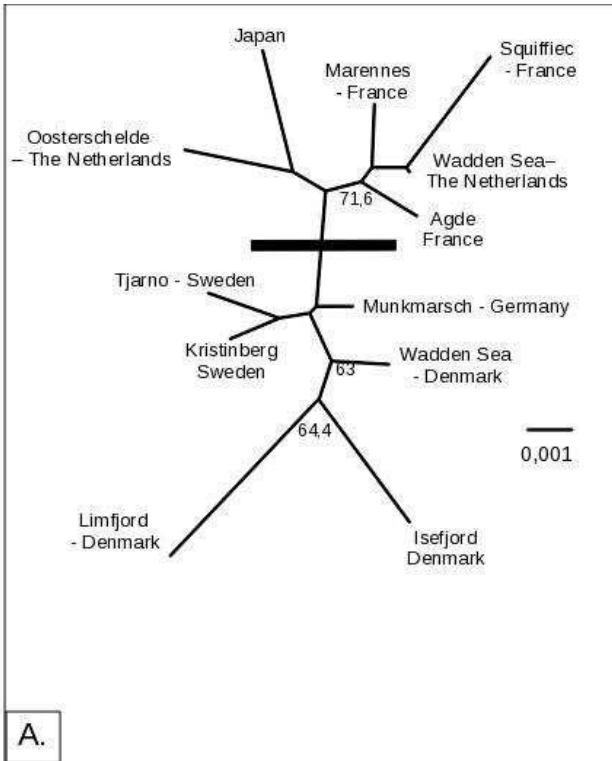


Figure 1. Sampling locations of *Crassostrea gigas* in Europe. Grey lines represent distribution of the species on European coasts according to D Minchin, S Gollasch and B. Galil, 2008 (<http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=50156#>)
 AGD: Agde; ARC: Arcouest; DWS: Danish Wadden Sea; GRE: Grevelingen; ISE: Isefjorde; KRI: Kristinberg; LIM: Limfjorde; MAR: Marennes; MUN: Munkmarsch; NOR: Normandie; OOS: Oosterschelde; QUI: Quiberon; SQU: Squiffiec; TJA: Tjarno; WAD: Dutch Wadden Sea.



Genetic drift démontré par « Genome Scan » pour les populations nordiques - 2 Facteurs sont en jeu !! (Rohfritsch et al., 2010 & Anglès d'Auriac et al., 2017. PlosOne)

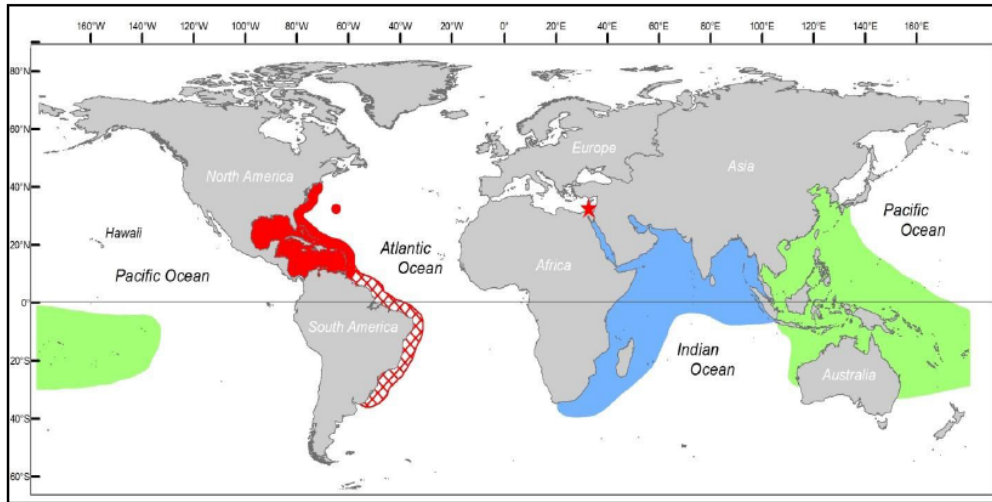
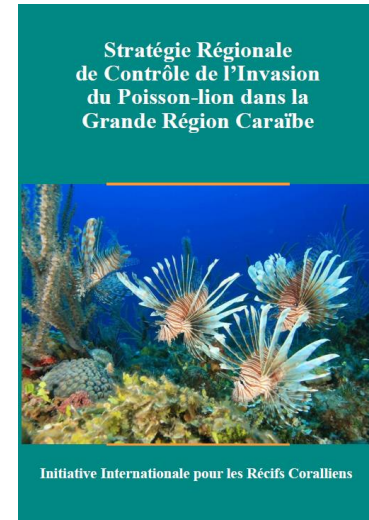


Figure 1. Carte de l'aire de répartition naturelle de *Pterois volitans* (en vert) et *Pterois miles* (en bleu) adaptée de Schultz (1986) et Randall (2005). L'étoile en mer Méditerranée représente la migration lessepsienne de *P. miles* par le canal de Suez (Golani et Sonin 1992). La zone touchée actuellement par l'invasion de *P. volitans* et *P. miles* en Amérique est figurée en rouge (d'après Schofield et al. 2012). La distribution future probable le long des côtes d'Amérique du Sud est figurée par des hachures rouges (d'après Morris et Whitfield 2009).



En Méditerranée, prog. LIFE-RELIONMED avec Chypre comme ligne de défense !
(Savva et al., 2020)

- ***Pterois volitans* & *P. miles*** : 1^{ère} détection – Floride 1985, forte invasion dans les Caraïbes depuis 2000....
- Un prédateur Hors Pair !!
- 2 M œufs /an (quelques milliers tous les 2 à 3 jours!)
- Des espèces aux épines venimeuses !!
- Densité 5x comparée à son aire naturelle (400 /ha)
- Secteurs colonisés : jusqu'à 90% de pertes de poissons
- Homogénéité génétique Nord-Ouest Atlantique & Golfe de Mexico par analyse SNP (Pérez-Portela et al., 2018)

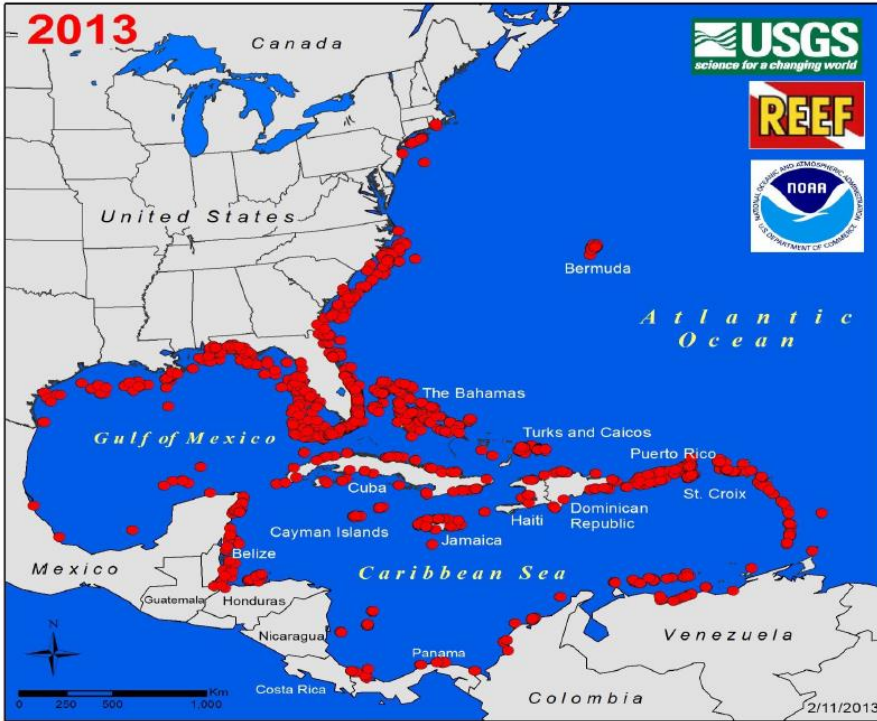


Figure 2. Distribution actuelle du Poisson-lion dans la Caraïbe (actualisée en février 2013)
La Floride a été le premier endroit où les poissons-lions ont été documentés dans la région des Caraïbes.

Invasive Lionfish « To beat them, Eat them !! »

- Plus de 10M€ de pertes/an pour les Antilles !
- Plus de 70 compétitions de pêcheries récréatives organisées depuis 2010 dans les Caraïbes ! ... plusieurs 100ne de tonnes pêchées
- Demande 400% > approvisionnement aux USA (imports du Belize !!)

Une chair de choix
!!...mais épines venimeuses



“As Lionfish Invade the Caribbean and Gulf of Mexico, Conservationists Say Eat Up !!!”





Première observation en 1984, *C. taxifolia* est maintenant établie le long de 7 pays méditerranéens... impacts environnementaux...sur des habitats classés

C. racemosa (1990) est maintenant établie dans plus de 14 pays...

Caulerpes produisent des caulerpénynes cytotoxiques



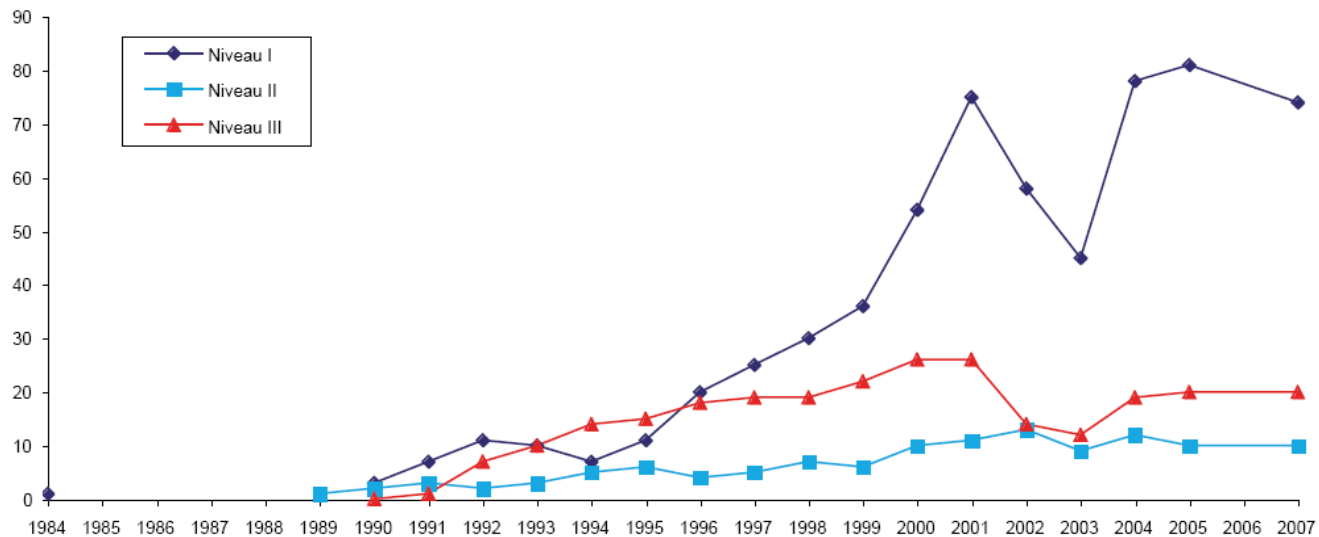
Cottalorda et al. 2008

Caulerpa on line...Rapports & BD du GIS

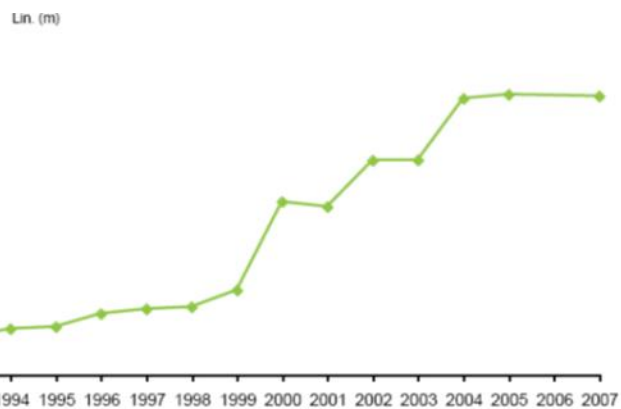


Intensité de la colonisation

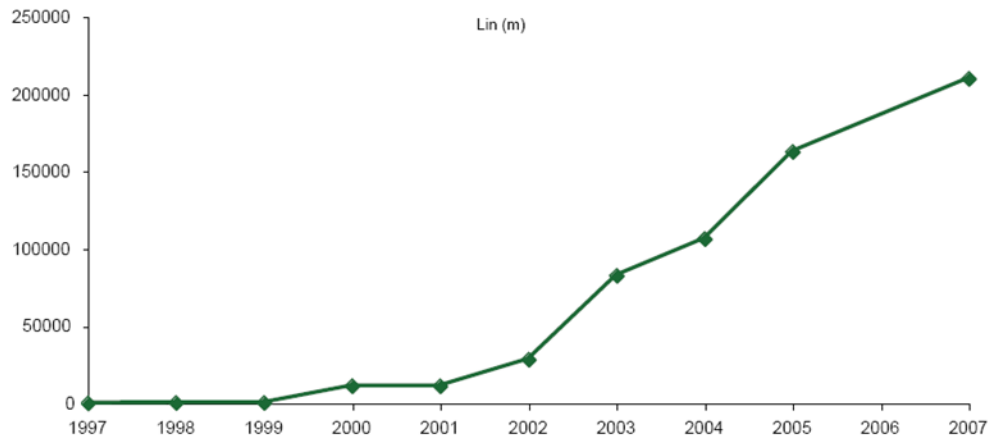
L1=stade initial
L2=développement
L3=couverture complète



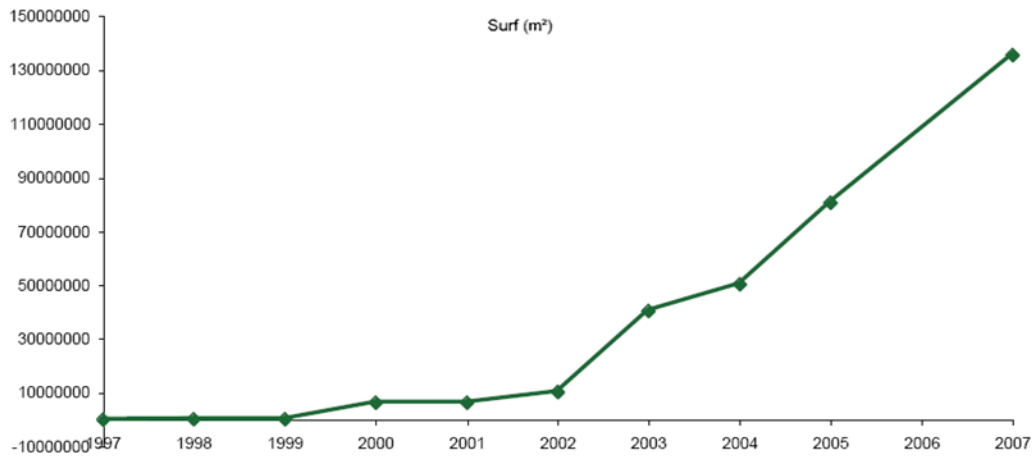
C. taxifolia tendances spatiales entre 1984 & 2007



Colonisation du linéaire côtier par *Caulerpa taxifolia* (en mètre)



Linéaire côtier colonisé par *Caulerpa racemosa* (m)



**Colonisation surfacique par *Caulerpa racemosa* (en ares
(Total=13530ha...))**



Comment limiter la colonisation et ses effets induits dans le cas des expansions de Caulerpes ?

De la cueillette sur de petites surfaces à la lutte biologique (rejetée par l'Académie des Sciences)....

Puis l'utilisation de procédés d'électrolyse et de couvertures chargées d'ions de sulfure de cuivre...

Approche expérimentale limitée à des surfaces sélectionnées pour leur intérêt patrimonial (sanctuaires marins, AMPs)...

...et pour accroître la sensibilisation du public au problème...!



hyères

le palmier à Dail...
la randonnée-voies de jour

Caulerpa : 14^e campagne d'éradication à Port-Cros

ALGUES INVASIVES *Taifolia* recule, mais *Caulerpa* progresse dans le périmètre du parc national marin, sans solutions de traitement connues à ce jour



4,6

LES 14000 VISITEURS DU PORT-CROS...
LES 14000 VISITEURS DU PORT-CROS...
LES 14000 VISITEURS DU PORT-CROS...

Barcelo et al., 2008

Forte évolution de la Situation depuis 2010 - >80% Régression

- **Génétique** (peu de variabilité génétique initiale – clone -pour *C. taxifolia*)...
- **Pathologique** (bactérie, virus ?)
- **Dynamique de Populations ?**
- **Conditions environnementales défavorables** (stress thermiques, sédiment...) ou **changeantes** (courantologie)
- **« Lutte » Biologique naturelle: prédation par le poisson lapin herbivore *Siganus luridus* (espèce exotique Lessepsienne) (Cybium, 2009) (introduction ballast ou aire de répartition modifiée)**

Mais nouvelle variété arrive:
***C. taxifolia* var. *distichophylla* (Sicile) (Verlaque et al., 2014)!**



La Crépidule

Crepidula fornicata

(subtidal & intertidal)

***Crepidula fornicata*... toujours un impact majeur sur la pêche de coquilles St Jacques, et les habitats après plus d'un siècle après son introduction et ses colonisations successives le long des côtes européennes**

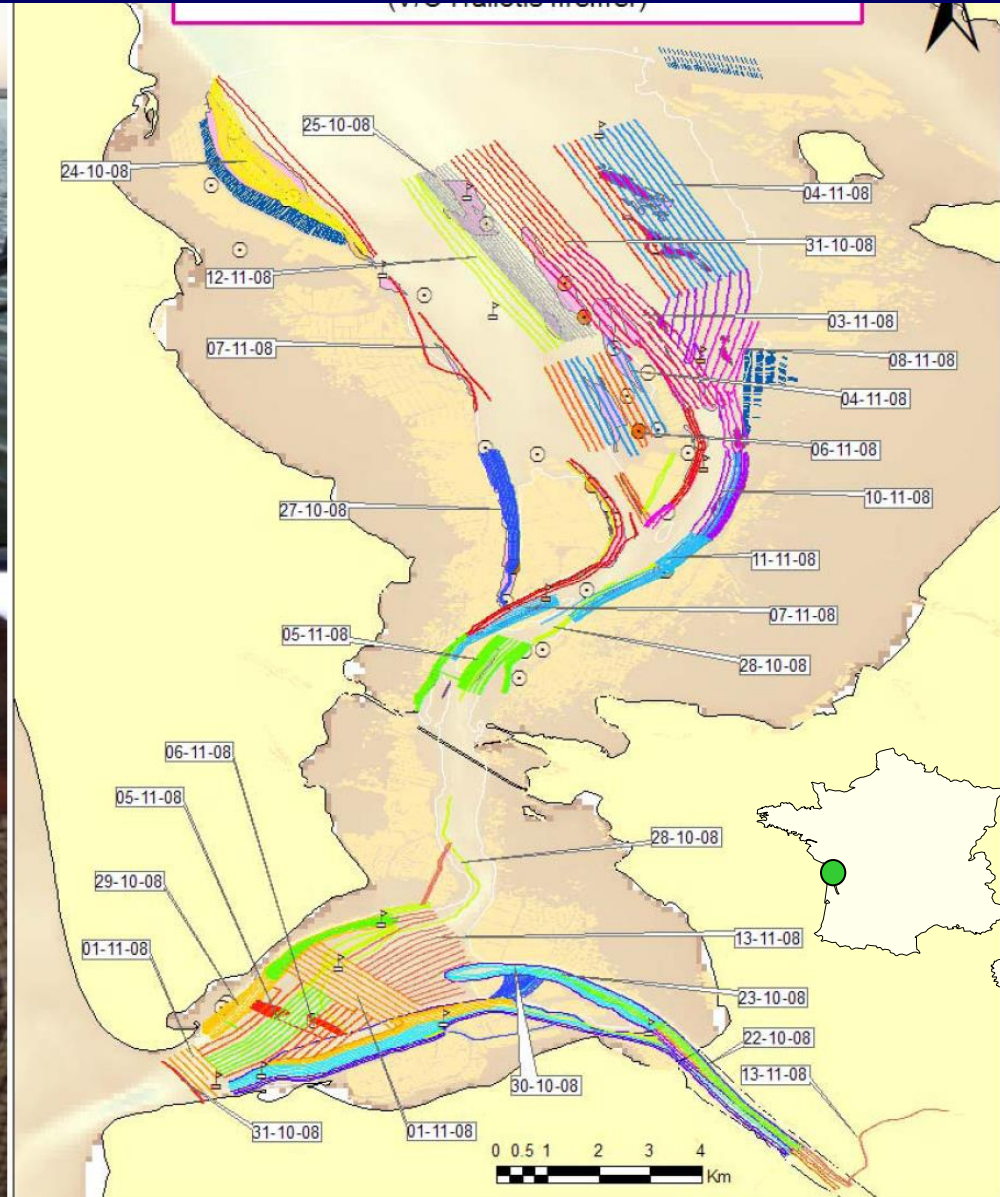
Deux espèces exotiques :
Styela clava sur *Crepidula fornicata* dans la Baie du Mt St Michel

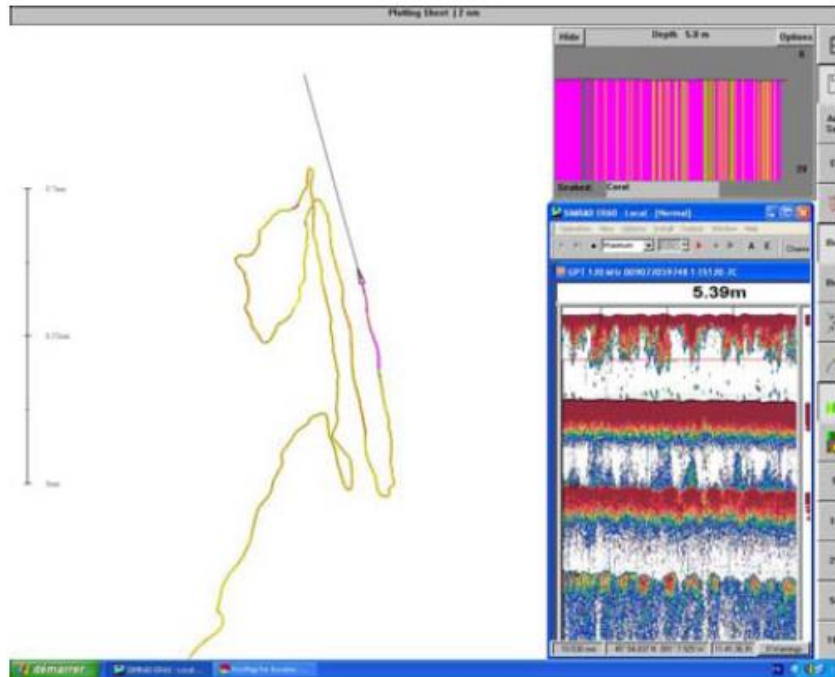


New scientific boat specially designed for mapping habitats in very shallow waters using combined acoustic imagery, high resolution bathymetry, seismic & sediment analysis by sounding, - data integrated into ROXANN software

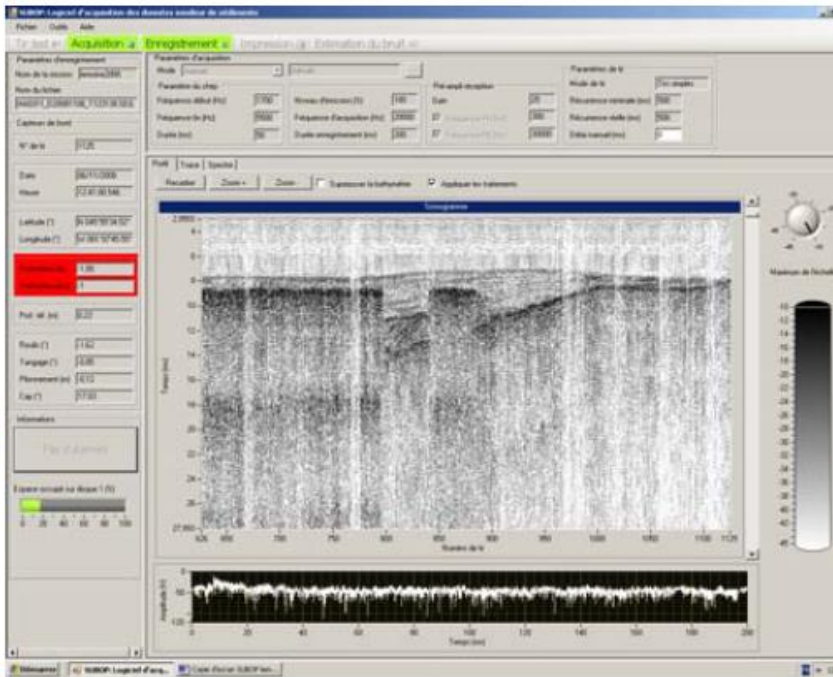


Sauriau & Le Moine 2009

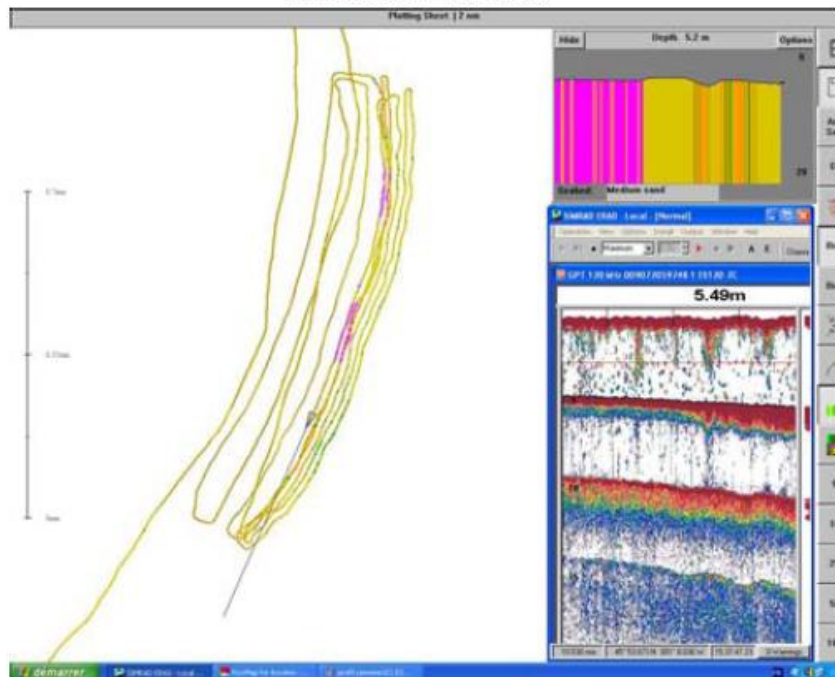




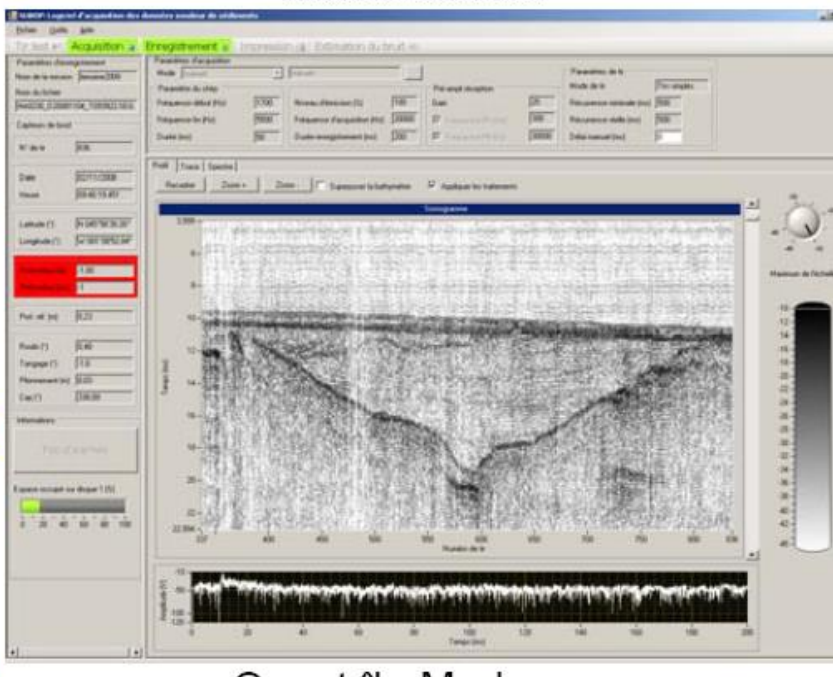
Roche Estrée



Roche estrée



Les Flamands



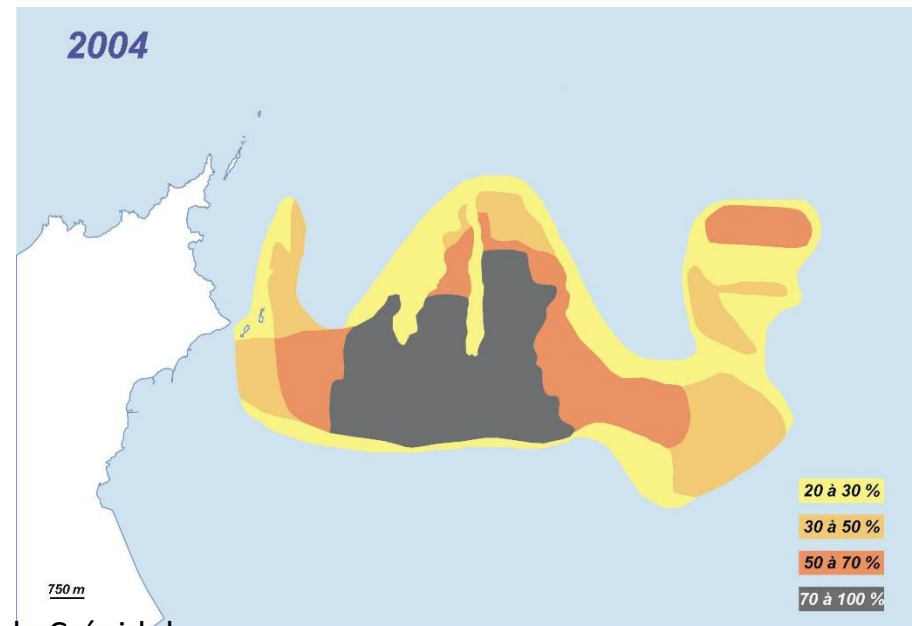
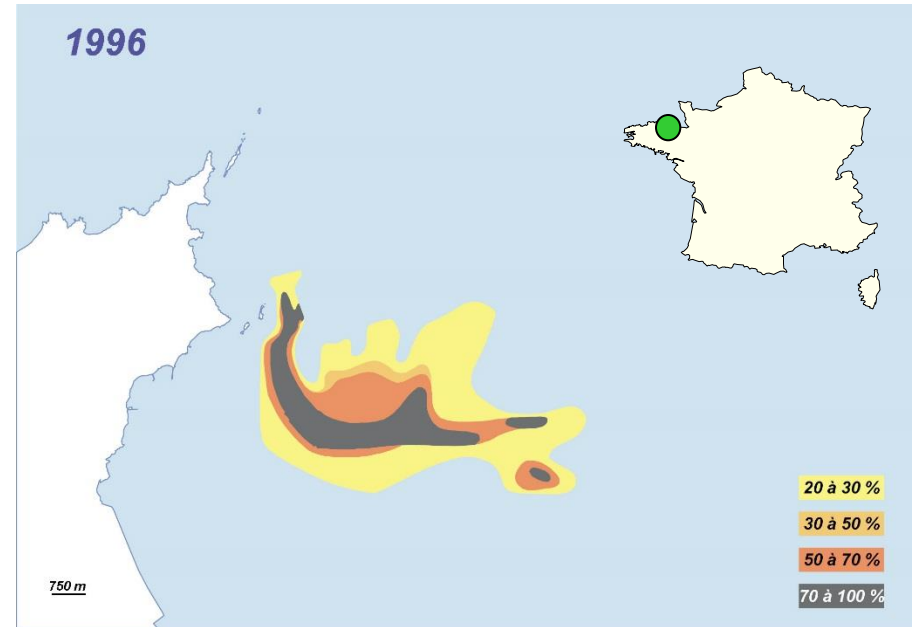
Ouest île Madame

Tendances Globales...sans gestion particulière jusqu'à récemment

- 100 000 t. en 1996
- 150 000 t. en 2004
- 50 % d'expansion spatiale en 8 ans

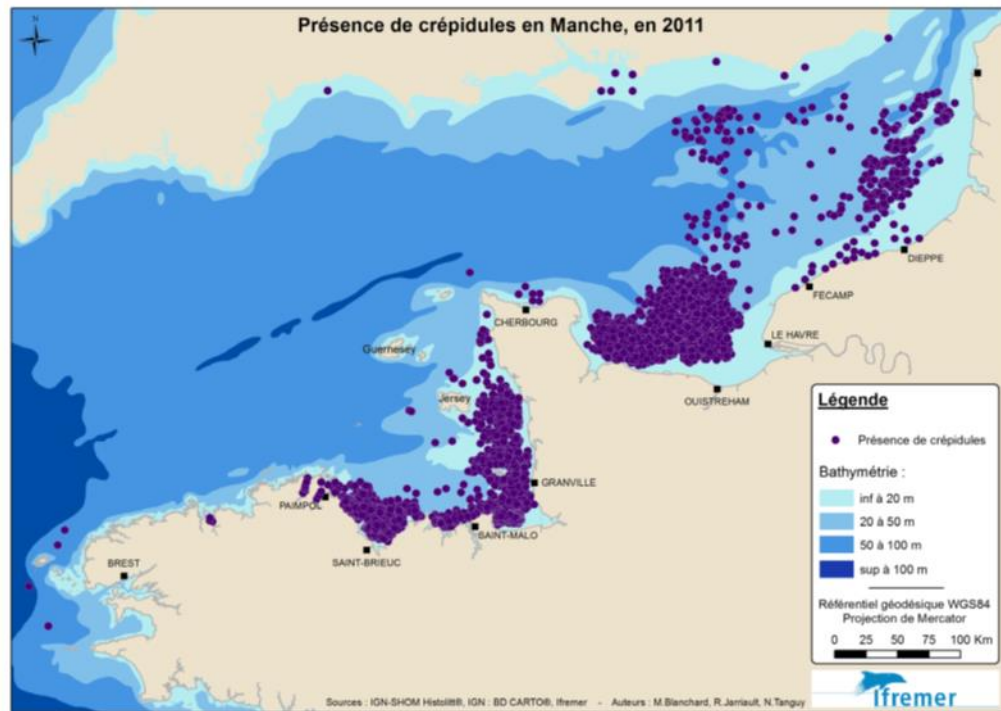
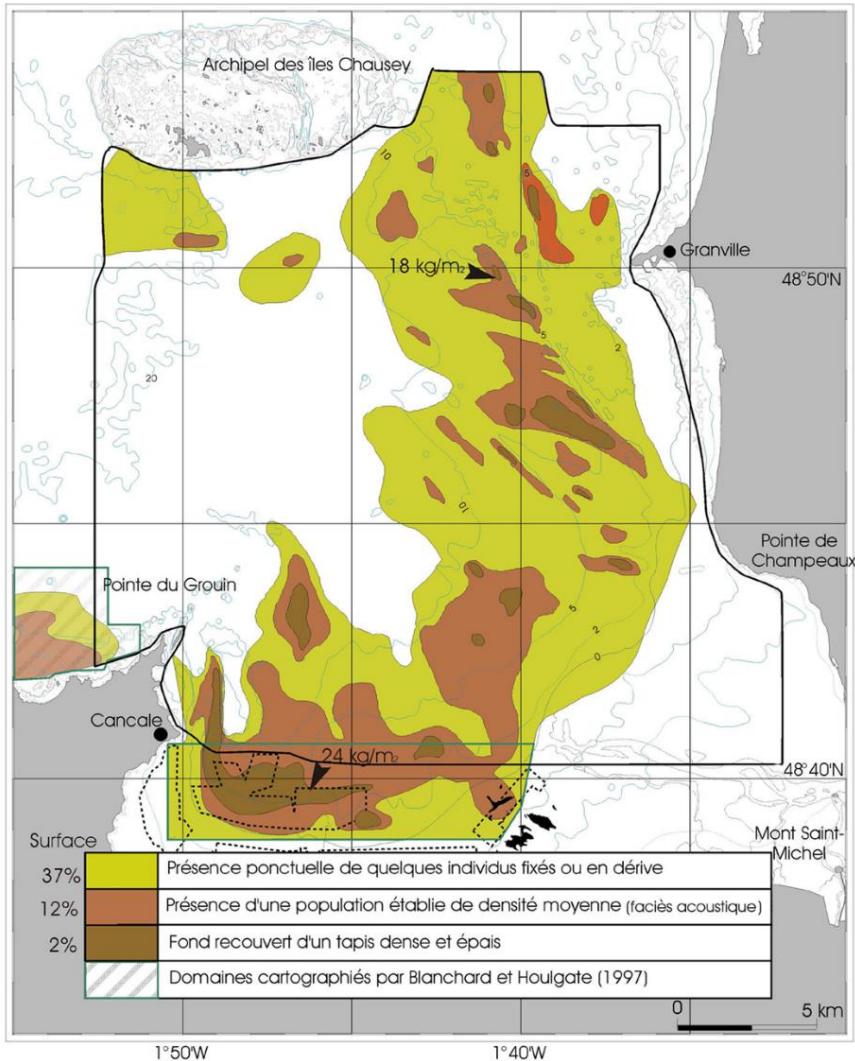


Sédiments anoxiques associés à une couverture globale par la Crépidule



Distribution de *Crepidula fornicata* en Manche (1990-2000s) (Blanchard et al.)

Répartition des biocénoses de crépidules sur la base de l'échantillonnage sédimentaire et de leurs échos acoustiques (in Blanchard et Ehrhold, 1999)



Total > 200 000 t. de biomasse autour des Iles Chausey (Blanchard et Ehrhold)



Impact sur le sédiment

- Modification progressive mais irréversible du substrat en zone dense
- Augmentation de l'envasement (piégeage + bio-dépôts)
- Augmentation de l'apport de matériaux grossiers non re-mobilisables (coquilles vides)

Impact sur les populations

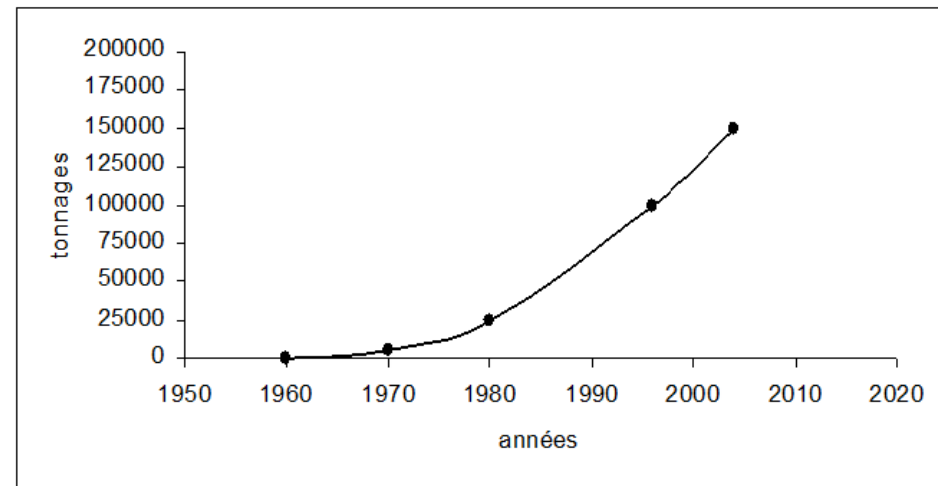
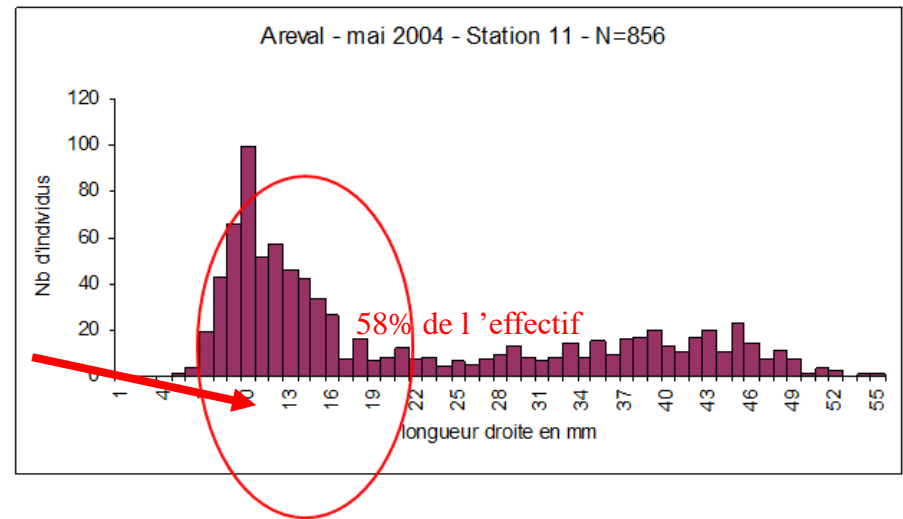
- Augmentation de la compétition spatiale entre espèces
- Changement de la composition du peuplement initial
- Apparition de populations fixées
- Disparition d'espèces endo-benthiques sabulicoles ou gravellicoles
- Risque accru de compétition trophique entre filtreurs

Impacts économiques

- Augmentation, à terre, du tri et du nettoyage des huîtres pour la vente (surcoût de main-d'œuvre)
- Augmentation du nettoyage des parcs d'huîtres (plates essentiellement)
- Financement du nettoyage industriel (projet AREVAL)

Avec des conditions environnementales identiques & un recrutement stable (3 pontes/an), l'effort de pêche est bien en dessous du niveau nécessaire à un impact sur la population !

- Prolifération va continuer (6000 t/an)
- Coûteux – Objectifs: trouver une valeur ajoutée au produit !!
- Exploitation par Slipper Limpet SA 'Berlingot de mer – labellisation MSC envisagée....mais dépôt de bilan en septembre 2016 ! Reprise par EDB Mondeville



Valorisation des biomatériaux

Broyage, amendement calcaire



Pavés drainants pour les parkings – faisabilité technique démontrée

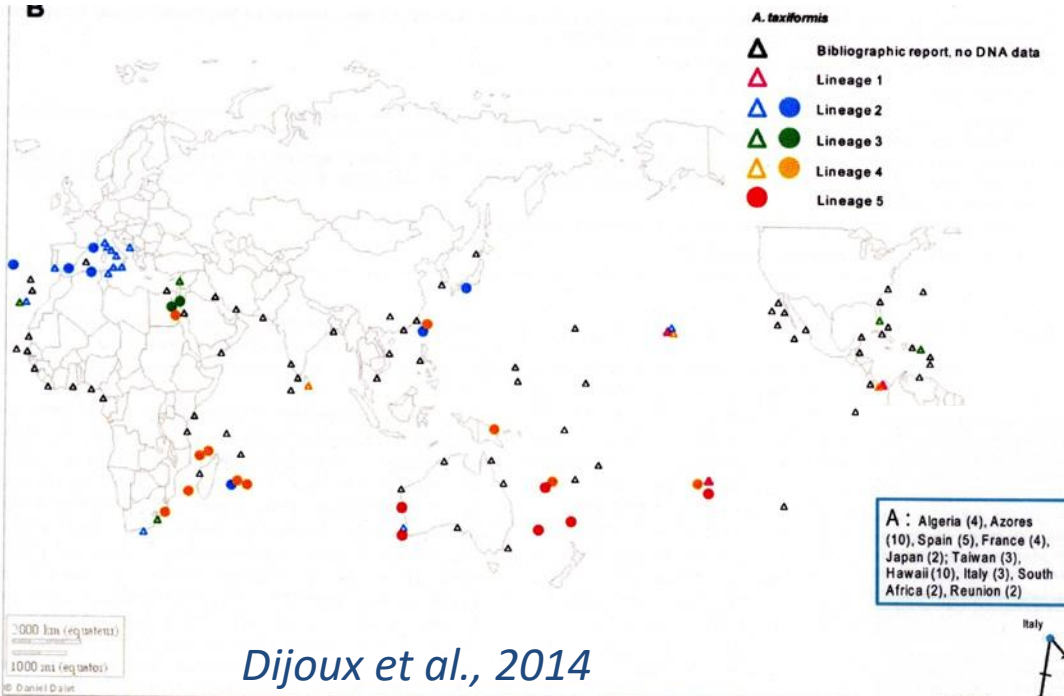
(Ecole ingénieurs Caen)



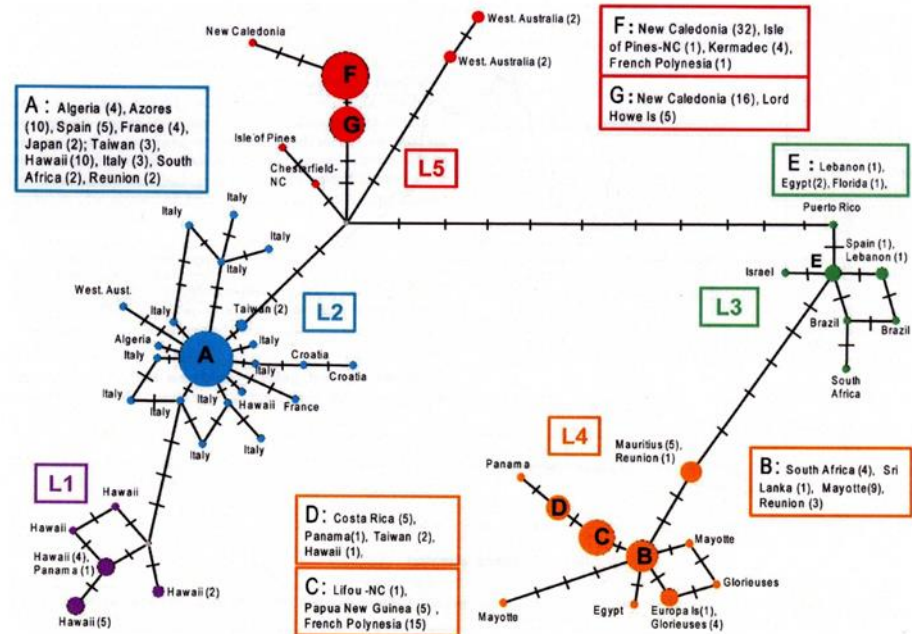
- **'Eradication' n'est pas une option** (seulement à envisager dans des habitats à forte valeur patrimoniale ou à risque..) (e.g. AMP, Natura 2000)
- **'Laisser Faire' n'est pas non plus une option !...si on considère les tendances continues des impacts et des pressions croissantes...**
- **Remédiation & Mise en valeur (avec le problème du statut juridique des rejets...)**

Comparaison des Approches de Gestion :

- **Bassin de Marennes Oléron = +30 ans de gestion active, et régulière- expansion relativement sous contrôle et au moins « gérable »**
- **Baie du Mt St Michel = gestion très récente, nécessitant maintenant une approche industrielle et très coûteuse, ... pas sous contrôle !**



Approche génétique globale !!!



- ADN – 3 marqueurs (chloroplaste & mitochondrie)
- 61 sites à l'échelle mondiale
- Nouvelles observations
- Nouveau clade : Indo-Pacifique Sud

Exemple d'études récentes sur la connectivité utilisant les principes de réseaux neuronaux
 (cf. S. Arnaud, 2010)

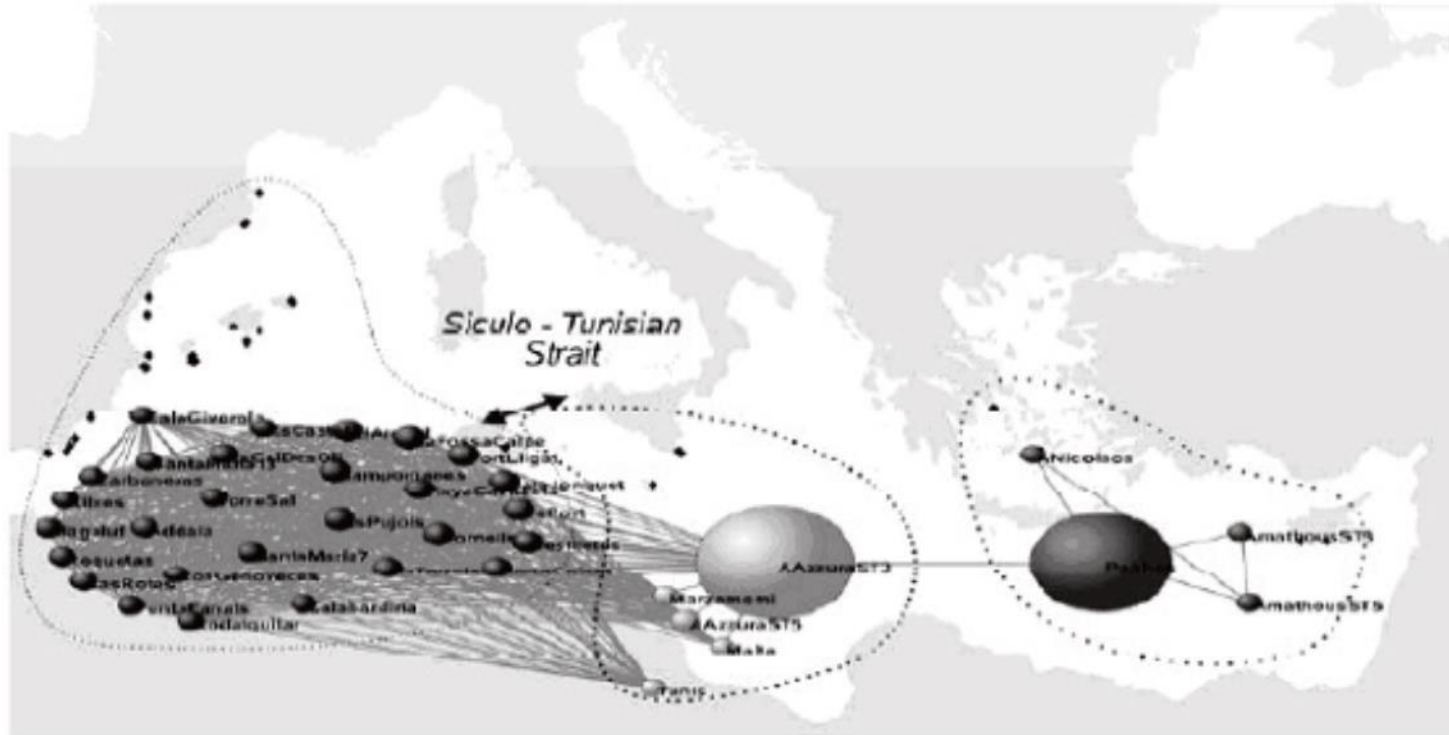
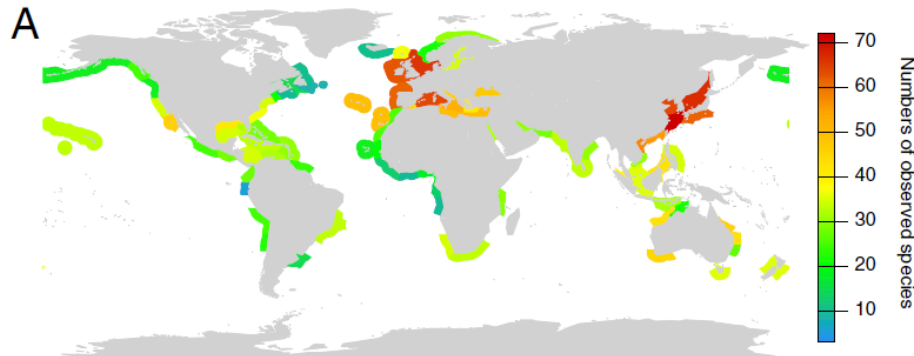


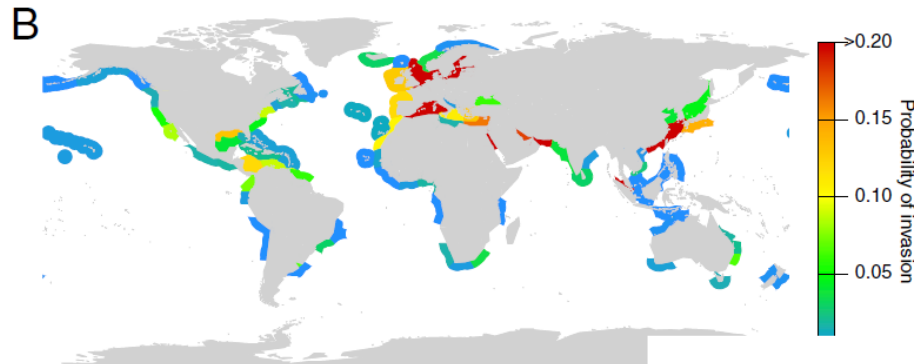
Figure 19

Réseau de populations de posidonies *Posidonia oceanica* en mer Méditerranée, analysé au point de percolation (au niveau minimum de distance avant la déconnection du système). Le diamètre des points reflète le niveau de « betweenness-centrality », un indice utilisé pour résumer la proportion des chemins les plus courts passant par l'agent représenté – ici le flux génétique – et le maintien de la connectivité du système [2]

Compréhension de la question de la connectivité des populations...un besoin de méthodologies (GDRi MARCO) (QUAE 2019)

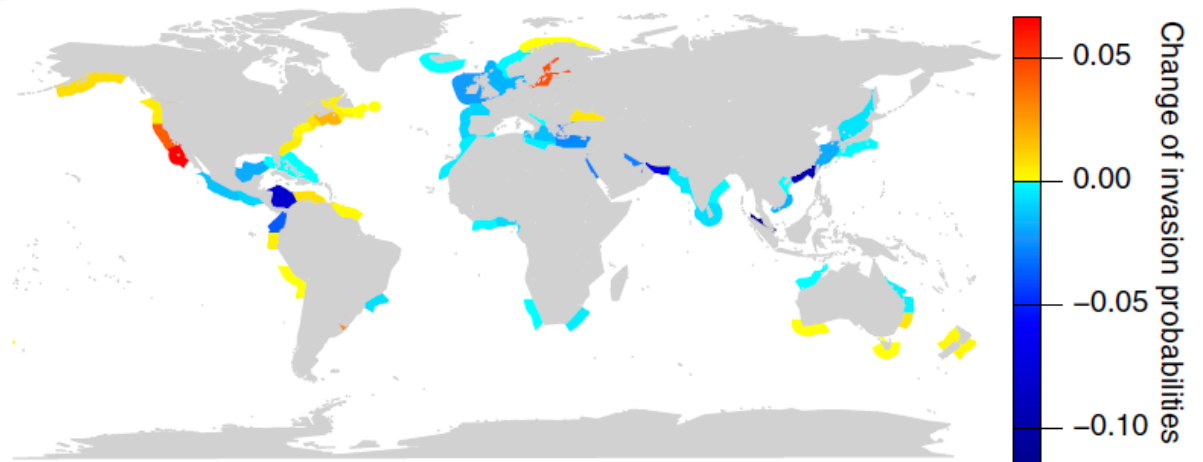


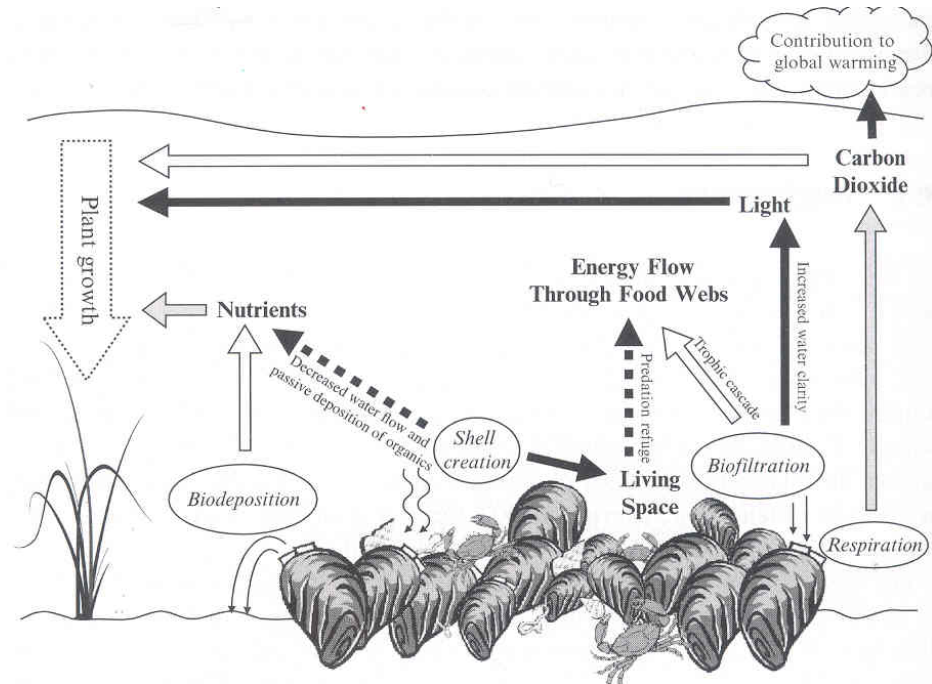
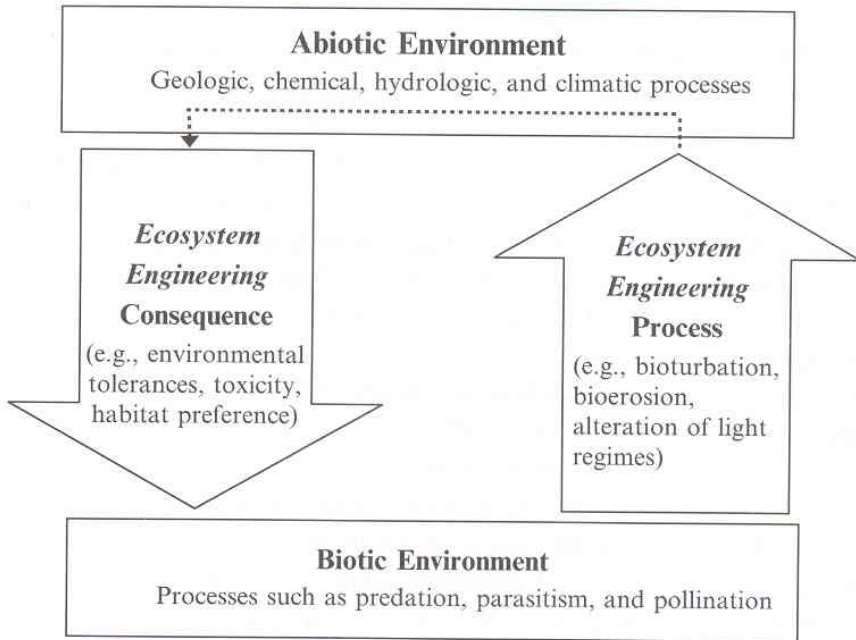
Distribution cumulée de 97 espèces algales ayant un historique d'invasion (A) et le prévisionnel de leur expansion dans de nouvelles écorégions (B)



Couplage d'un modèle d'invasion biologique basé sur le transport maritime avec les bases de données spécifiques phytoplanctoniques (Seebens et al., 2016)

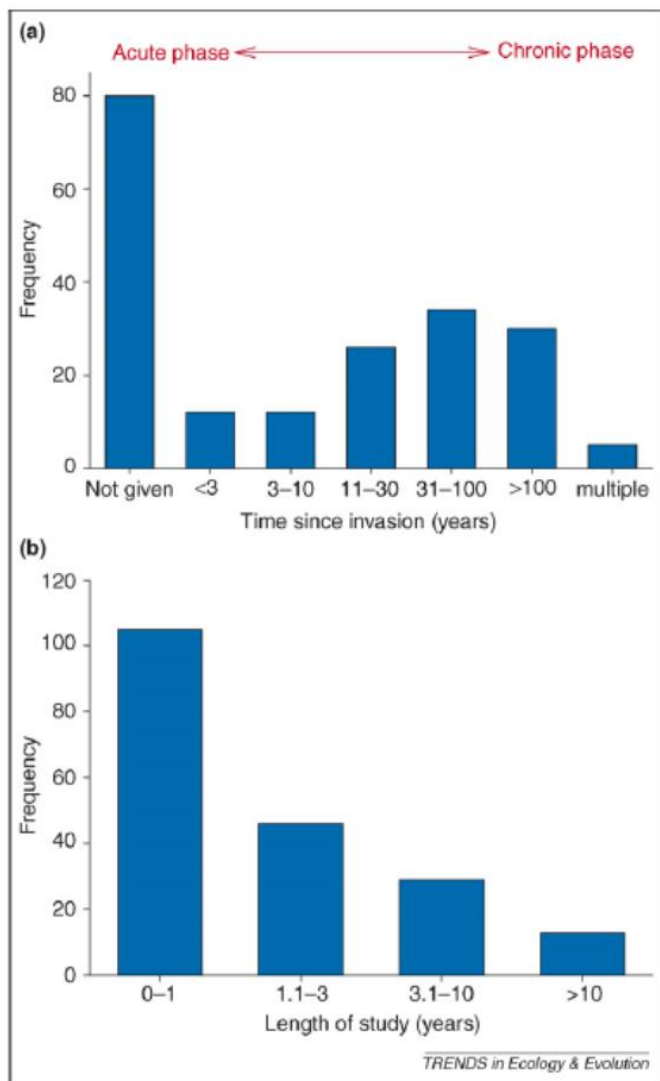
Simulation d'évolution de la répartition d'espèces phytoplanctoniques en réponse au changement climatique





Fonctionnement Ecosystème

Modifications du milieu abiotique par une espèce exotique « ingénieur » - effets abiotiques consécutifs (Jones & Gutierrez, 2007) – Effets d’une espèce exotique sur l’écosystème (effets directs sur les ressources physiques – lignes pleines; indirects sur les cycles biogéochimiques et les ressources trophiques –lignes pointillés. (Crooks, 2006)



Dimension temporelle des impacts

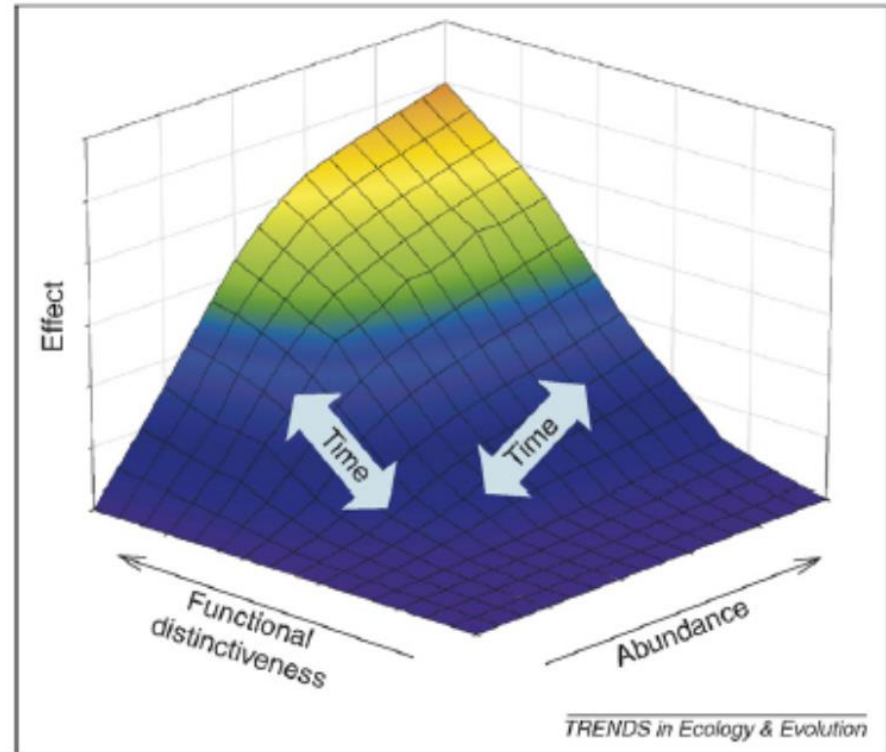
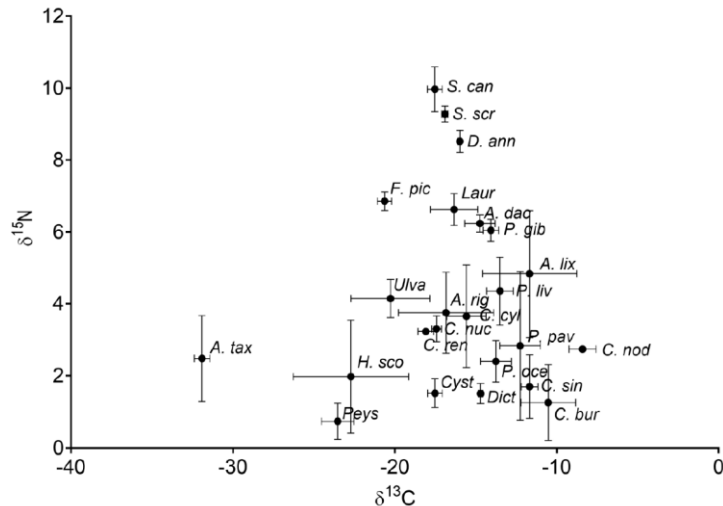


Figure 2. The effects of an invading species increase with its abundance and functional distinctiveness (i.e. how much its functional characteristics differ from those of species in the community that it is invading). Abundance and functional distinctiveness can increase or decrease through time, thereby altering the effect of the invader.

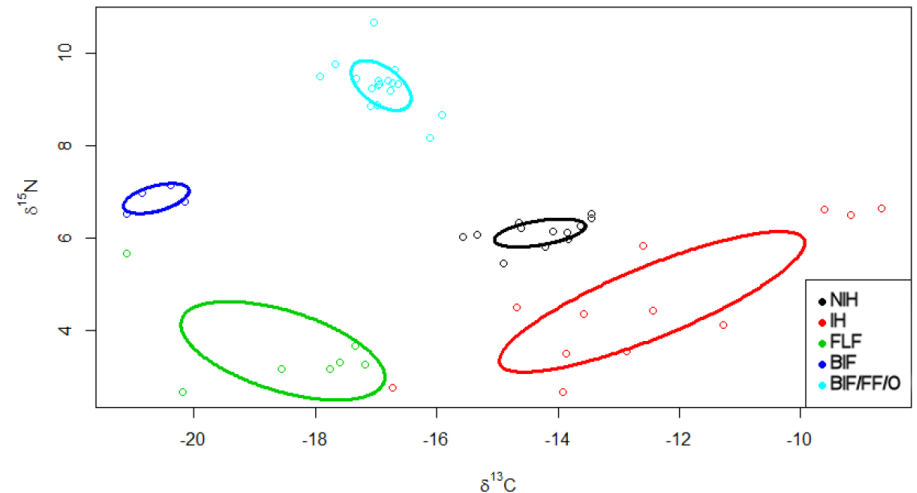
Figure 1. Characteristics of recent scientific studies on the effects of invading species. We define a study as the report of a single invading species in one ecosystem (2001-2005 ; 185 papers ; 199 studies of the effects of an invading species. Studies were done at various times since the establishment of the invader; **few studies included multiple points in time, and 40% of the studies did not record the time since invasion (a); in addition, most studies were of short duration (b). Few studies were done at multiple times since invasion or for durations long enough to reveal any temporal changes in invader effects.** (Strayer et al., 2019)

- Utilisation des analyses d'isotopes stables
- Définitions des niches isotopiques
- Cas d'études au niveau des AMPs à Lampedusa (Médit.) colonisées par *Caulerpa cylindracea*, *Asparagopsis taxiformis*, le crabe *Percnon gibbesi* et l'aplysie *Aplysia dactylomela* (Maric et al., 2016)

Relations Trophiques

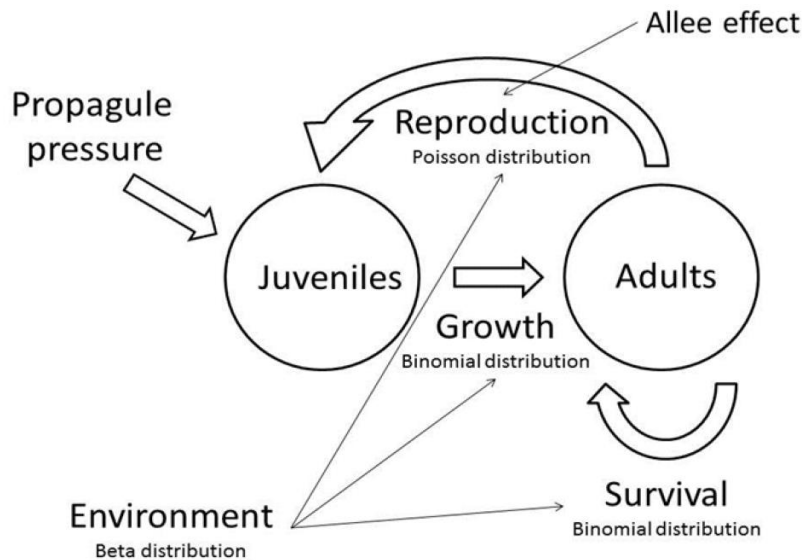


Valeur moyenne des isotopes stables/espèce

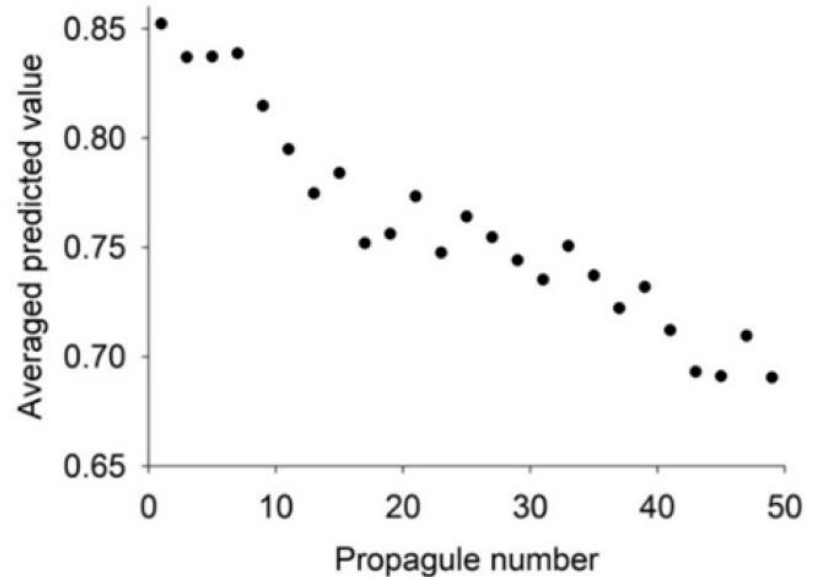


Niche trophique isotopique

- Compétition trophique entre l'Aplysie et les herbivores indigènes
- *Percnon gibbesi* se nourrit essentiellement de *Caulerpa cylindracea*
- Invasion de la Caulerpe augmente la diversité des proies et facilite l'invasion d'autres sp. exotiques (cf concept des « Novel ecosystem »)



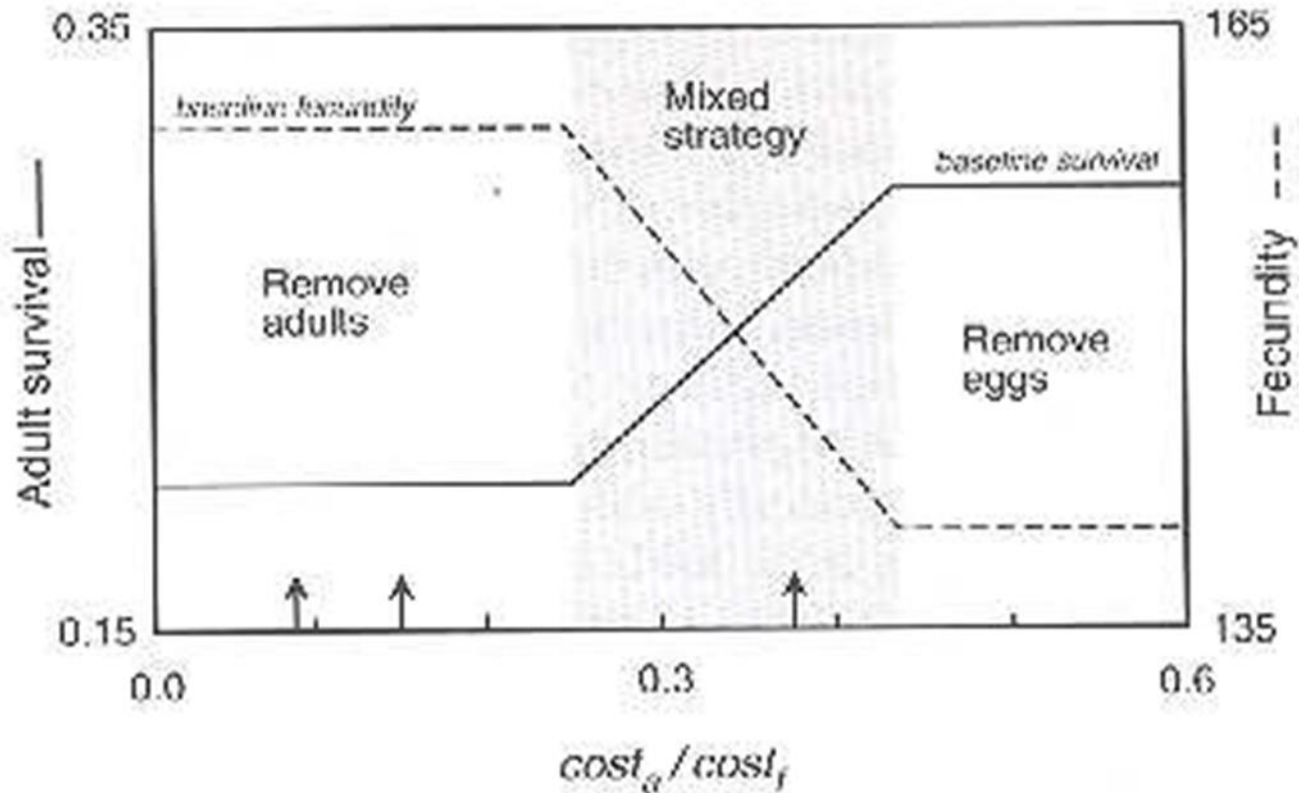
Modèle stochastique utilisé pour évaluer l'effet « nombre » vs « fréquence »



Analyse de sensibilité sur l'influence du nombre d'événements d'introduction sur la probabilité de développement d'espèces exotiques.

Modélisation suggère que des introductions massives mais rares sont plus à risque que des événements d'introductions fréquentes mais avec peu de propagules (Drolet & Locke, 2016 ; Hedge et al., 2012)

Modélisation des modalités d'invasions

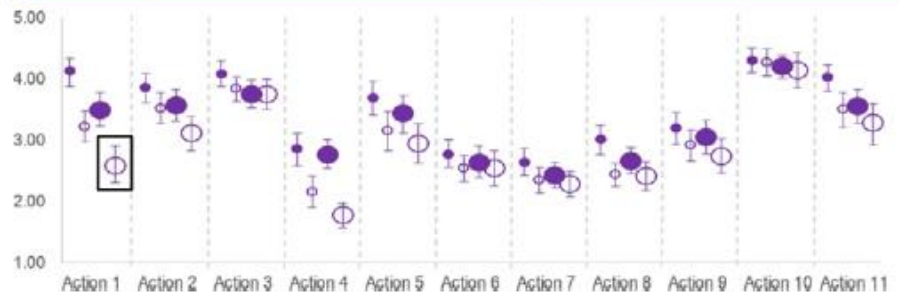


Stratégie optimale de contrôle par un modèle bioéconomique du bigorneau perceur *Ocinebrellus inornatus* (Buhle et al., 2005)

Modélisation de scénarios alternatifs de contrôle de populations

- **Action 1:** Physically (mechanically) remove the species.
- **Action 2:** Rehabilitate the environment (e.g. protect and/or restore marine areas).
- **Action 3:** Encourage the targeted removal and commercial and/or recreational utilization of dead specimens (trading live specimens for use in aquaria is not included).
- **Action 4:** Deploy biocides in the sea, tactically applied.
- **Action 5:** Promote native consumers (predators or grazers) that feed on the invasive species (e.g. by restocking predator populations).
- **Action 6:** Encourage native diseases and/or parasites that affect the invasive population.
- **Action 7:** Apply biological control, using alien parasites and/or diseases.
- **Action 8:** Apply biological control, using alien consumers (predators or grazers).
- **Action 9:** Apply genetic approaches that affect only the invasive.
- **Action 10:** Education and public awareness.
- **Action 11:** Do nothing.

	Dispersion capacity		Distribution in the area to be managed		Taxonomic group		
	Low	High	Localized	Non localized	Macro phytes	Invert.	Fish
Species 1	X		X		X		
Species 2	X		X			X	
Species 3	X		X				
Species 4	X			X			
Species 5	X			X			
Species 6	X			X			
Species 7		X	X				
Species 8		X	X				
Species 9		X	X				
Species 10		X		X			
Species 11		X		X		X	
Species 12		X		X			X



Priorisation des actions de gestion en matière d'espèces invasives (Giakoumi et al., 2019)

Evaluation des risques – Développement de nouveaux outils de surveillance (eDNA)

Identification – Traçabilité – Validation des normes standards IMO (norme D2par le développement de biomarqueurs sur la base de métabarcoding et de machine learning d'ADN environnemental (Gerhard et Gunsch, 2019)

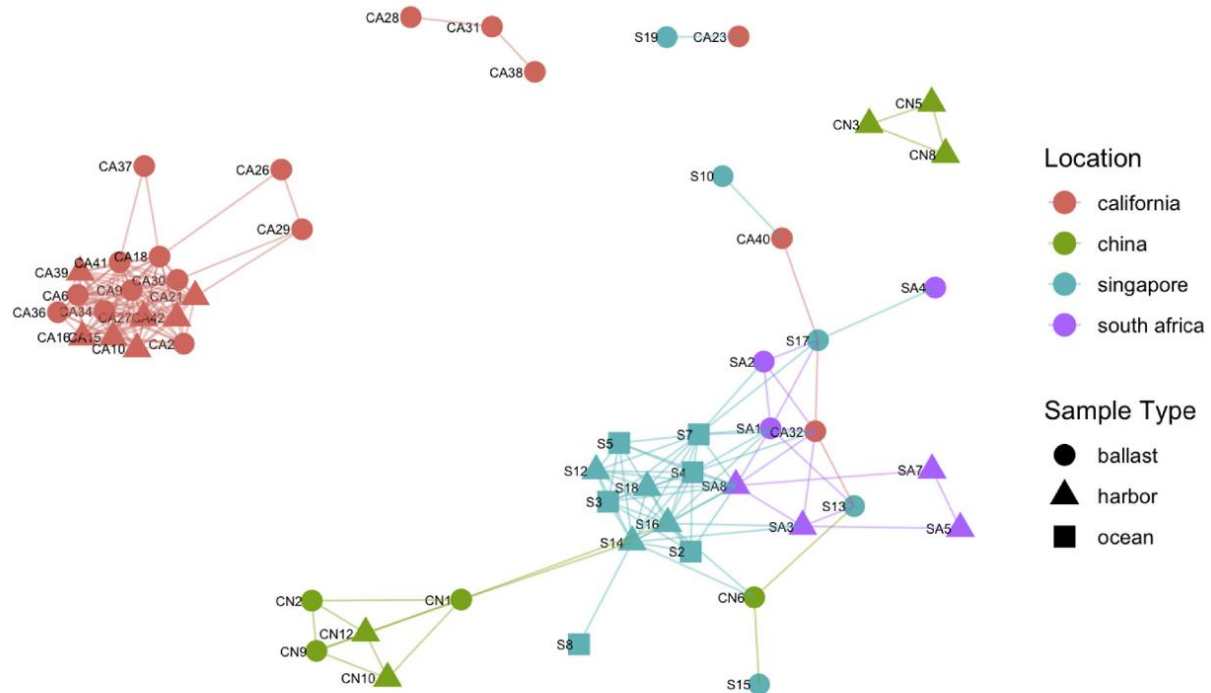


Fig. 3. Network projection of Bray-Curtis dissimilarity values < 0.70 between linked samples calculated on relative abundance of ASVs.

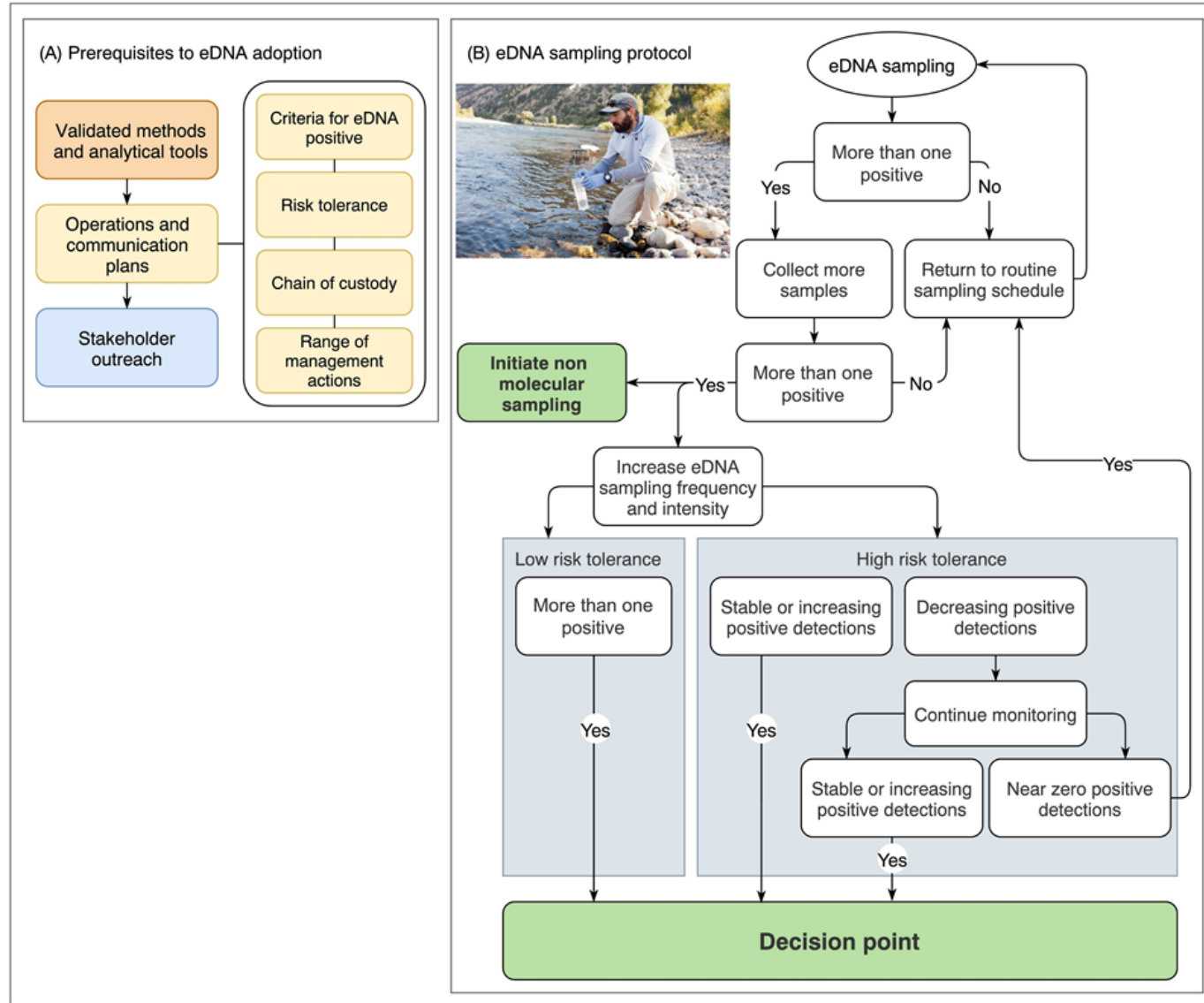
Règle D: rejet de moins de 10 organismes viables par m³ d'une taille >50microns, moins de 10 organismes viables par ml d'une taille <50microns et >10 microns

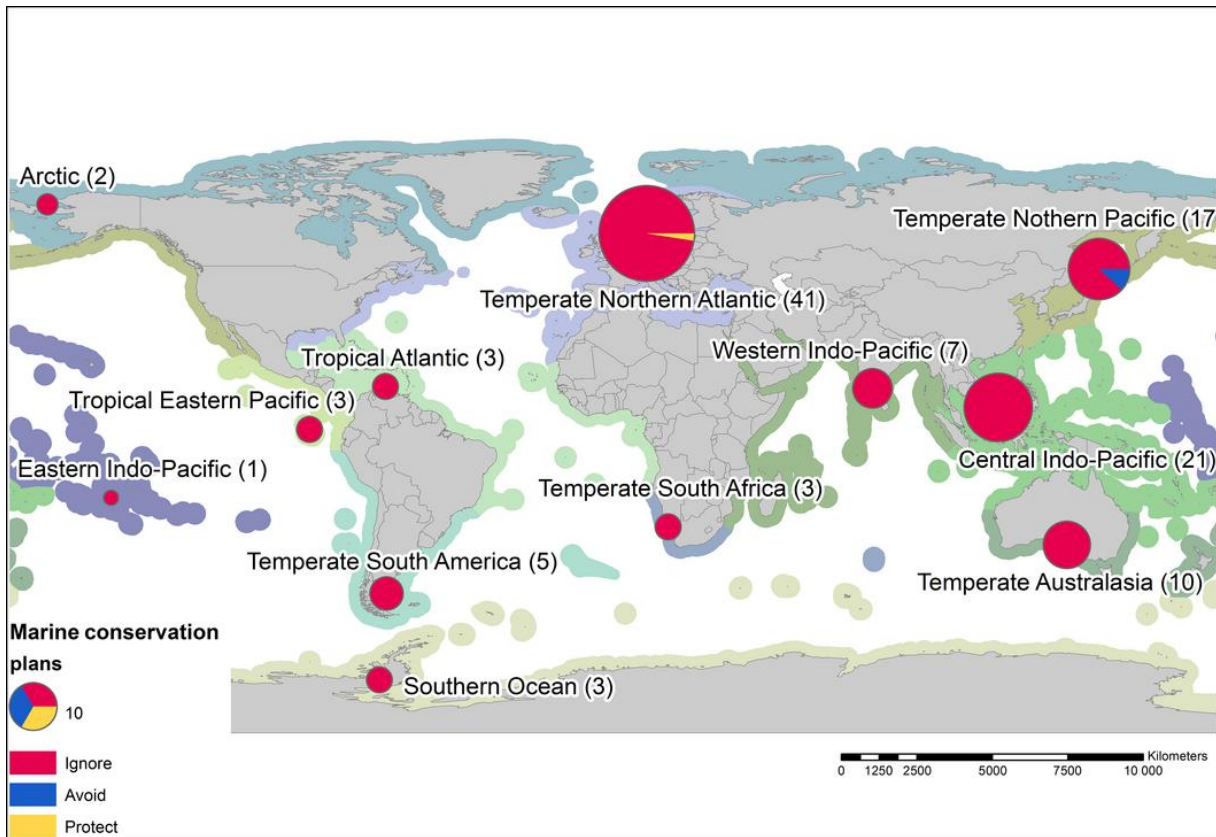
Et leur utilisation dans les procédures de gestion....

(Sepulveda et al., 2020)

- stratégies d'échantillonnage –
- approche spatialisée à des fins d'éradication d'espèces, -
- détermination des zones d'éradication & décisions d'actions par analyses ADNe>0 –
- évaluation d'efficacité de méthodes d'éradication

MAIS ...incertitude sur le fait qu'un résultat >0 garantit la présence de l'espèce !!



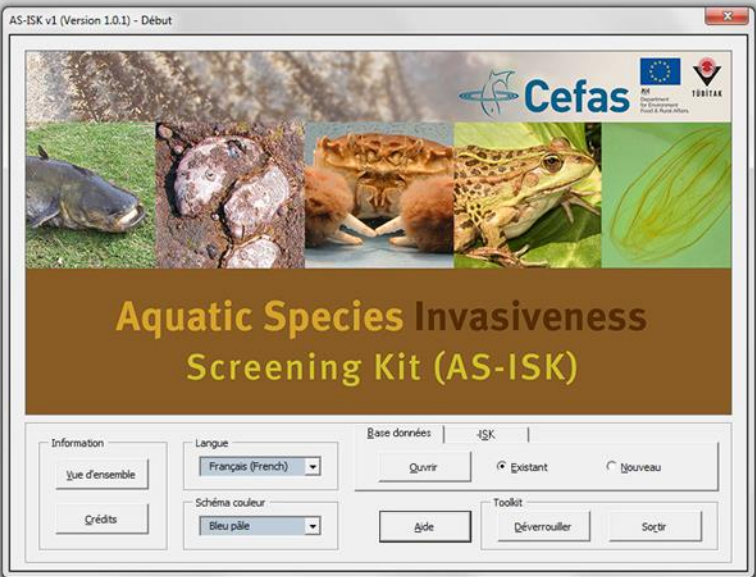


Modalités des Plans de gestion des AMPs

- Seulement 3 plans de conservation sur 119 à l'échelle mondiale prennent en compte les EEI !
- Prise en compte changerait les recommandations de gestion (habitats critiques) !
- Mais besoin d'information sur: (1) distribution spatio-temporelle des EEI, (2) impacts socio-économiques, (3) rôle des AMPs dans le contrôle & mitigation des EEI
- Nouvelle Stratégie Française: 30% en AMP dont 10% en « pleine naturalité »

(Giakoumi et al., 2016)

<https://www.cefas.co.uk/services/research-advice-and-consultancy/invasive-and-non-native-species/decision-support-tools-for-the-identification-and-management-of-invasive-non-native-aquatic-species/>



Outils d'aide à la décision

AS-ISK v1 - Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) - Philippe Gouletquer - A. Biogéographie/Historique: 1. Domestication/Elevage - 1,01

Evaluation basique des Risques - Question 1 de 55

Le taxon a-t-il fait l'objet d'une domestication ou d'un élevage pendant au moins 20 générations ?

Guide Question

Le taxon a été élevé de façon délibérée et sujet à une sélection substantielle par l'homme pendant au moins 20 générations, ou il est connu comme d'élevage facile en captivité (e.g. ferme piscicole, aquarium ou mares de jardin, bras de mer ou fjords). Ceci peut être dans le cadre de son aire d'origine ou d'introduction.

Réponse: Oui

Confiance: Très élevé

-ISK Q Compatibilité: Similaire (1)

Aide

Justificatif (référence et/ou autre information)

The species has been used in aquaculture through hatchery production since the early 1970s (1972) in France (Gouletquer, 1997; Gouletquer & Héral, 1997; de Montaudouin et al., 2015)

Sauter à Q

1 - Le taxon a-t-il fait l'objet d'une domestication ou d'un élevage pendant au moins 20 générations ?

Navigation: <<Premier, <Précédent, Suivant>, >>Dernier

Evaluation: Nettoyer Champs Q, Net. Tous Champs Q, Fermer Sans engag., Engag. et Fermer

Répondre Qs: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55

Qs sans réponse

Qs Non applicable

Application téléchargeable à partir du site internet CEFAS - 55 questions afin d'évaluer le risque d'introduction d'une espèce dans un secteur géographique donné – Tenant compte également du changement climatique V3 disponible en ligne en 25 langues (Copp et al., 2016; Copp et al., 2019)

- Invasions biologiques = exemples de productions de services (approvis^t.) mais également d'altérations profondes de ceux ci
- Globalement, situation est sous estimée (souvent gérée sur le critère « impacts » et se détériore ... (voir également Mazaris & Katsanevakis, 2018)
- Etudes de cas montrent des caractéristiques des invasions biologiques – typologies - très variables ... [continues, discontinues, temporaires, permanentes] ... avec des évolutions rarement prévues !
- Efforts de recherche doivent améliorer la compréhension du fonctionnement des écosystèmes, leur résilience face aux invasions – pour développer des modalités de gestion

Priorités d'amélioration

- PREVISION des processus & des impacts par des approches de modélisation (contexte systémique)
- PREVENTION !...une fois établie, situation quasi irréversible – évaluation des risques dans le cas d'introductions volontaires
- INNOVATION par de nouvelles approches (e.g. valeur biodiversité – CdC Biodiversité, réhabilitation)



Merci de votre attention !



Type 1: erreur d'attribuer faussement un effet (rejet erroné de l'hypothèse nulle)

Type 2: erreur de manquer un effet (acceptation fautive de l'hypothèse nulle)

Puissance statistique d'un test... surtout si échantillonnage est réduit...!

Conclure de façon incorrecte que la « non détection d'un impact = absence d'impact » a amené les gestionnaires à classer certaines espèces exotiques comme non nuisibles Ce qui accroît les risques d'invasions biologiques par une interprétation non rigoureuse des résultats de recherche !

Faible disponibilité des informations limite l'utilité d'un système basé sur la classification des impacts !

Fiabilité des données et du caractère exhaustif des inventaires – BD certainement plus précises pour de grandes espèces à large répartition (e.g., crépidule) que pour du phytoplancton !

approche moléculaire démontre une complexité sous estimée (sp. cryptiques, identifications erronées..)

De facto, nbre d'espèces répondant au critère « significant negative impacts » est faible par construction !

Seul cas de figure probable permettant de conclure sur l'impact: large échantillonnage avec une faible variabilité (puissance du test élevé)