

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحروتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
Littoral



MEMEOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

Option : Environnement marin

Sujet :

**Contribution au développement d'un modèle probabiliste
pour estimer le risque d'invasion par les eaux de ballast :
Cas de port d'Arzew**

Présenté par :

KHAMALLAH Youcef

Soutenu le 19/09/2015 devant le jury :

- | | | |
|-----------------|----------------------------------|--------------|
| - SEFIANE. O | Maitre de Conférences B, ENSSMAL | Président |
| - BOUDA. A | Maitre-Assistant A, ENSM | Promoteur |
| - BACHARI.N.E.I | Professeur, USTHB | Co-promoteur |
| - REFFES. W | Maitre de Conférences A, ENSSMAL | Examinateur |
| - LAMOUTI. S | Attachée de Recherche, CNRDPA | Examinatrice |

Promotion 2014/2015

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie notre Bon Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à tous ceux qui par leur aide, leurs conseils, leur compétence et leur intérêt ont contribué à la réalisation de ce mémoire
Que soient particulièrement remerciés les membres de jury :

Monsieur **SEFIANE.O** Maitre de Conférences B à l'ENSSMAL, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Monsieur **BOUDA.A** Maitre-Assistant A à l'ENSM, pour avoir accepté d'encadrer ce travail. Pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils qu'il a tenu à me prodiguer au cours de la réalisation de ce travail.

Monsieur **BACHARI.N.E.I** Professeur à l'USTHB, pour sa disponibilité en dépit de sa charge de travail, son encouragement et ses conseils bien orientés.

Monsieur **REFFES.W** Maitre de Conférences A à l'ENSSMAL, et Madame **LAMOUTI.S** Attachée de Recherche à CNRDPA, pour m'avoir consacré du temps, et d'accepter examiner et apprécier les résultats obtenus dans ce travail.

J'exprime aussi ma profonde reconnaissance au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, de la station de recherche de Sidi Fredj et de ceux de l'Entreprise portuaire d'Arzew et Bethioua.

Je suis reconnaissant à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation et à toute personne qui m'a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici un petit fruit de leurs sueurs.

Ce travail n'aurait jamais été réalisé sans l'encouragement, le soutien et l'aide de mes parents et mes frères tout au long de mes études.

YUCEF.

Dédicaces

A mes très chers parents, source d'amour et d'affection

A mes sœurs et frères

A mes cousins et à tous mes autres proches

A mes chers amis sans exception

*A toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au
long de cette année*

Je dédie ce modeste travail

Liste des figures

Figures	Page
Figure1 : Capacité d'eau de ballast des navires.....	16
Figure2 : Vue de profile d'un navire moderne montrant les positions des réservoirs d'eaux de ballast.....	17
Figure3 : Les sea-chests d'un navire transportant des eaux de ballast.....	17
Figure4 : Etapes nécessaire pour la réussite d'une introduction d'espèces marine via les eaux de ballast.....	20
Figure5 : Convention internationale de 2004. Contrôle et gestion des eaux de ballast et sédiments des navires.....	23
Figure6 : Comparaison entre les devenir d'une invasion biologique et d'une pollution accidentelle, en fonction du temps et de la distance par rapport à la source l'impact d'une invasion biologique ne décroît pas, contrairement à celui d'une pollution accidentelle.....	25
Figure7 : la situation des deux ports Arzew et Bethioua dans le golf d'Arzew.....	32
Figure8 : Le port d'Arzew. Ouvrages de protection.....	33
Figure9 : Le port de Bethioua. Ouvrages de protection.....	34
Figure10 : Les différents courants marins dans la région d'Arzew et Bethioua.....	35
Figure11 : Valise multiparametres occupé d'une sonde de type Hanna 9828.....	38
Figure12 : Les capteurs de la sonde multiparametres.....	39
Figure13 : Calibration de la sonde.....	40
Figure14 : La solution de calibration.....	40
Figure15 : Fenêtre du logiciel HI 929829.....	40
Figure16 : traitement des données enregistrées par le multimetre.....	41
Figure17 : Réservoirs d'eaux de ballast des anciens navires.....	42
Figure18 : Réservoirs d'eaux de ballast des navires récents.....	42
Figure19 : Mesures des paramètres physico-chimiques des eaux de ballast.....	42
Figure20 : Quantité des eaux de ballast par type de navires.....	48
Figure21 : Les quantités des eaux de ballast par chaque port donneur.....	49
Figure22 : Comparaison des températures obtenues avec la température du port d'Arzew.....	51
Figure23 : Comparaison des salinités obtenues avec la salinité du port d'Arzew.....	52
Figure24 : Nombre par type de navire au chargement et au déchargement.....	64

Liste des figures

Figure25 : Nombre de voyages.....	65
Figure26 : Quantité des eaux de ballast.....	66
Figure27 : Les premiers quinze ports par quantité de ballast en (%)......	67
Figure28 : La quantité de ballast en (m3) par biorégion.....	67
Figure29 : Changement de la probabilité d'Alien en fonction de γ pour des différentes distances.....	68
Figure30 : la probabilité d'Alien en fonction de β pour des différentes distances «d » en (km).....	69
Figure31 : Carte de la probabilité d'Alien.....	70
Figure32 : Carte de la probabilité d'Alien (Zoom).....	70
Figure33 : Carte du risque d'introduction.....	72
Figure34 : Carte du risque d'introduction. (Zoom).....	72
Figure35 : La quantité de ballast et la durée de voyage des ports intérieurs.....	73
Figure36 : Carte présente le risque d'établissement.....	76
Figure37 : Carte présente le risque d'établissement (Zoom).....	76
Figure38 : Carte présente le risque d'invasion.....	78
Figure39 : Carte présente le risque d'invasion (Zoom).....	78
Figure40 : Positions géographique des records de <i>Caulerpa racimosa</i> en Algérie.....	79
Figure41 : Carte présente le risque d'invasion par biorégion marine.....	80

Liste des tableaux

Tableaux	Page
Tableau 1 : La quantité d'eau de ballast par type de navire	18
Tableau 2 : La liste noire des espèces marines invasives par les AMP de la Méditerranée...	28
Tableau 3 : Les espèces marines introduites en Algérie.....	29
Tableau 4 : infrastructures des ports Arzew et Bethioua.....	34
Tableau 5 : Caractéristiques et types des navires échantillonnés durant la sortie sur terrain..	43
Tableau 6 : La quantification du risque pour la durée de voyage en milles marins et en jour.....	45
Tableau 7 : Risque d'introduction en fonction de la durée de voyage.....	50
Tableau 8 : Degré de la similarité environnementale.....	58
Tableau 9 : l'équivalence du facteur de traitement en pourcentage.....	61
Tableau 10 : Les valeurs de Température et Salinité du port d'Arzew en 2013.....	53
Tableau 11 : Comparaison entre le nombre des voyages et la quantité de ballast de deux ports distinctes.....	66
Tableau 12 : La probabilité d'Alien en fonction de β	69
Tableau 13 : Le niveau de risque d'Alien en fonction de la distance géographique.....	69
Tableau 14 : Le niveau de risque d'établissement en fonction de la distance Euclidienne....	75

Liste des acronymes

Acronymes

PSU: Practical Salinity Unit.

pH: potentiel d'Hydrogène.

BWM: Ballast Water Management

UV : Ultra-Violet.

GPS : Global Positioning System.

OMI : Organisation maritime internationale

UICN : l'Union internationale pour la conservation de la nature

E.P.A : Entreprise Portuaire d'Arzew

cm: Centimètre.

USA: United States of America.

AMP : Aires Marine Protégées.

Km: Kilometer

Liste des équations

Equations	Page
- Equation 1 : Degré de la Similarité Environnementale (SE).....	45
- Equation 2 : L'écart type.....	45
- Equation 3 : La probabilité d'Alien.....	56
- Equation 4 : La probabilité d'introduction.....	57
- Equation 5 : Le facteur de traitement.....	58
- Equation 6 : La probabilité d'établissement.....	59
- Equation 7 : La distance Euclidienne.....	61
- Equation 8 : La probabilité d'invasion.....	62
- Equation 9 : Le risque d'invasion.....	62

Table des matières

Table des matières

Introduction.....	13
Chapitre I : Les eaux de ballast et l'invasion biologique.	
1. les eaux de ballast.....	16
1.2. Type de ballast.....	16
1.2.1. Selon le type de navire	16
1.2.2. Selon l'emplacement dans le navire	17
1.2.3. Les sea-chests	17
1.3. Quantité de ballast par type de navire	18
1.4 Les organismes dans les ballasts.....	18
1.4.1 Les eaux de ballast.....	18
1.4.2 Les sédiments de ballast.....	19
1.5. Etapes d'introduction des espèces par les eaux de ballast.....	20
1.5.1. La prise dans les réservoirs.....	20
1.5.2. Le voyage.....	21
1.5.2.1. Adaptation à l'obscurité.....	21
1.5.2.2. Adaptation au manque des nutriments.....	21
1.5.3. Procédé de décharge.....	22
1.6. Gestion des eaux de ballast.....	22
1.6.1. La convention BWM.....	22
1.6.2 Dispositions de réglementations sur les eaux de ballast.....	23
2. L'invasion biologique.....	24
2.1. Espèce invasive.....	24
2.2. Devenir de l'invasion biologique	25
2.3. Probabilité d'invasion.....	25
2.4. Processus d'invasion.....	26
2.4.1 Introduction de l'espèce dans le milieu.....	26
2.4.2. Etablissement.....	26
2.4.2.1 Facteurs liés à l'environnement naturelle	26
2.4.2.2 Facteurs liés à l'espèce et à son mode d'introduction.....	27
2.4.3. La propagation.....	27

Table des matières

2.5. Espèces invasives en Méditerranée.....	27
2.6. Espèces marines introduites en Algérie.....	28
2.7. Exemple des espèces marines introduites en Algérie.....	29

Chapitre II : Zone d'étude

1. Le golf d'Arzew	32
1.1. Présentation du site d'étude.....	32
1.2. Le port d'Arzew.....	33
1.2.1. Ouvrages de protection.....	33
1.2.2. Installations spécialisées.....	33
1.3. Le port de Bethioua.....	34
2. Facteurs hydrodynamique	35
2.1. Les houles.....	35
2.2 Les vents	35
2.3. La marée.....	35
2.4. Les courants.....	35

Chapitre III : Matériels et Méthodes

1. Matériels utilisés.....	38
1.1 La sonde multiparametres.....	38
1.1.1. Calibration.....	39
1.2 Le logiciel HI 929829.....	40
2. Mesures <i>in situ</i>	41
2.1 Méthode d'échantillonnage.....	42
2.2 Caractéristiques des navires.....	43
3. Evaluation de risque.....	43
3.1 Risque d'arrivé.....	43
3.2 Degré de similarité environnementale.....	45

Chapitre IV : Résultats et Discussions

1. Quantité d'eaux de ballast par type de navire.....	48
2. Risque d'arrivé.....	49
3. Etude comparative de quelque paramètres physico-chimique.....	50

Table des matières

3.1 La température.....	51
3.2 La salinité.....	51
4. La similarité environnementale.....	52
5. Evaluation préliminaire de risque d'introduction et de survie.....	53

Chapitre V : Modèle appliqué pour l'invasion biologique

1. Données des mouvements des navires.....	55
2. Modèle pour l'invasion biologique marine.....	56
2.1. La probabilité d'Alien.....	56
2.2. La probabilité d'introduction.....	57
2.2.1. Le taux de mortalité.....	57
2.2.2. Facteur de traitement.....	58
2.3. La probabilité d'établissement.....	59
2.3.1. La probabilité basique d'établissement.....	59
2.3.2. La distance environnementale.....	60
2.4. Le risque d'invasion.....	62
2.5. Le risque de nouvelle invasion.....	62

Chapitre VI : Résultats de la modélisation

1. Données des mouvements des navires.....	64
1.1 Type de navires.....	64
1.2 Nombre de voyage.....	65
1.3 Quantité et origine des eaux de ballast.....	66
2. Risque d'Alien.....	68
3. Risque d'introduction.....	71
3.1. La propagation secondaire.....	73
4. Risque d'établissement.....	74
4.1. Probabilité basique d'établissement.....	74
4.2. La distance Euclidienne.....	74
5. Risque d'invasion.....	77
5.1. Risque d'invasion par biorégion.....	80
6. Risque de nouvelle invasion.....	81

Table des matières

Conclusion.....	83
Recommandations à la recherche.....	85
Références bibliographiques.....	87
Les annexes.....	92

Introduction

Introduction :

Le méditerrané est l'une des mers la plus convoitée par la navigation marine. Dans cette mer nous trouvons les routes les plus utilisées pour le transport de pétrole. La méditerranée subit toutes les agressions naturelles ou industrielles. Par conséquent, il a été remarqué une forte dégradation de l'écosystème marin, quasiment dans toutes les régions. Parmi les problèmes qui ont touché cette mer, la forte présence des espèces introduites (Gollasch, S et al., 2000). Les invasions biologiques constituent l'une des menaces les plus importantes pour la biodiversité. Les conséquences sont à la fois écologiques, économiques et sanitaires. (Baptiste, M, 2013).

En milieu marin, les deux principaux vecteurs d'introduction des espèces exotiques sont certainement, le trafic maritime et l'aquaculture y compris la conchyliculture. Cependant, la navigation est le principal vecteur de déplacement d'espèces et est responsable de la majorité des introductions d'espèces marines connues.

La navigation transporte environ 90% du commerce mondial et déplace 10 milliards de tonnes d'eaux de ballast chaque année. Ces rejets sont un mécanisme de transfert du biote d'une région à une autre, qui peut avoir des effets dommageables sur l'écosystème récepteur. Ces eaux contiennent souvent une multitude d'organismes vivants. Des études ont démontrés que 7000 espèces sont transportées dans les eaux de ballast de par le monde chaque jour (GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships et IUCN, 2010).

Dans ce contexte, Arzew est une région stratégique par son port spécialisée dans l'exportation des hydrocarbures. Par conséquent, le port réceptionne environ 1200 navires/an, qui viennent de tous les coins du monde. Les navires qui accostent sont à la majorité destinée au chargement des hydrocarbures. De ce fait, ils se présentent en majorité chargés en eaux de mer, qu'ils déverseront, au moment où ils s'appêtent à charger du fret. Aussi, le risque d'introduction y est très élevé, en comparaison aux autres ports algériens. Ce qui nous a insisté à entreprendre la présente étude, afin de mettre en évidence la problématique des espèces invasives en Algérie et d'ouvrir ainsi un petit chantier pour de futures études réservées à cette thématique.

Notre travail donc consiste à réponde aux questions suivantes :

- quel est le degré de risque d'introduction, d'établissement et d'invasion des espèces exotiques dans la région d'Arzew. Eu-égard au trafic maritime intense du port ?

- Quelles sont les régions sources des espèces invasives pour ce port ?
- A base de quels résultats peut-on interdire/refusé le diversement des eaux de ballast ou l'entrée d'un navire présentant un risque d'introduction des espèces invasives dans le port ?

Pour répondre à ces questions, nous présentons une méthodologie permettant l'évaluation du risque d'introduction et d'établissement des espèces, en se basant sur les caractéristiques des navires et les mesures in-situ. Cette évaluation sera présentée sous forme d'un modèle ou des paramètres tel que ; l'intensité du trafic, la provenance des navires, la salinité et la température de l'eau de mer sont pris en considération. A signaler que certains aspects sont difficilement maîtrisables, de ce fait ils ne sont pas pris en considération dans cette étude, notamment, la présence de prédateurs et la capacité d'adaptation des espèces,

Cette étude est structurée en plusieurs chapitres :

- Le premier chapitre comporte une étude préliminaire sur la problématique des eaux de ballast des navires et l'invasion biologique marine.
- Le deuxième chapitre aborde une présentation de la zone d'étude.
- Le troisième chapitre évoque la partie pratique, dans laquelle nous exposons le matériel et la méthode utilisée pour les mesures des paramètres physico-chimiques des eaux de ballast.
- Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus lors de la sortie sur terrain ainsi que leurs discussions.
- Le cinquième chapitre sera consacré au développement d'un modèle d'invasion biologique par les eaux de ballast des navires.
- Le sixième et le dernier chapitre, présentent les résultats obtenus de la modélisation ainsi que des suggestions de préventions.
- Enfin, une conclusion générale clôturera ce mémoire.

Les eaux de ballast et l'invasion biologique

Les eaux de ballast et l'invasion biologique :

1. Les eaux de ballast :

Dans le transport maritime, on nomme « ballast » les grands réservoirs situés généralement dans les doubles coques des navires (pour les plus récents), qui permettent d'accueillir d'importantes quantités d'eau de mer « eaux de ballast », lesquelles jouent un rôle de stabilisateur, permettant d'équilibrer le navire, ou de corriger son assiette et sa gîte. Elles garantissent aussi un enfoncement suffisant du navire dans l'eau pour un fonctionnement efficient de l'hélice. Le déballastage (vidange) de ces réservoirs pose des problèmes écologiques, par dispersion de certaines espèces, vivant dans une partie des eaux du globe et rejetées dans une autre, pouvant devenir invasives et ainsi nuire à la zone de rejet. (Tiphanie et Piron., 2013). Selon les conditions, de l'eau supplémentaire peut être embarquée à différents endroits, ce qui fait que l'eau contenue dans n'importe quel réservoir de ballast peut provenir de sources multiples. (Maj, D.P, 2009)

1.2. Types de Ballast :

1.2.1 Selon le type de navire :

Ils sont de taille et d'emplacement variables suivant les types de navires de transport : vraquiers, porte-conteneurs, navire-citerne, minéraliers, chimiquiers.

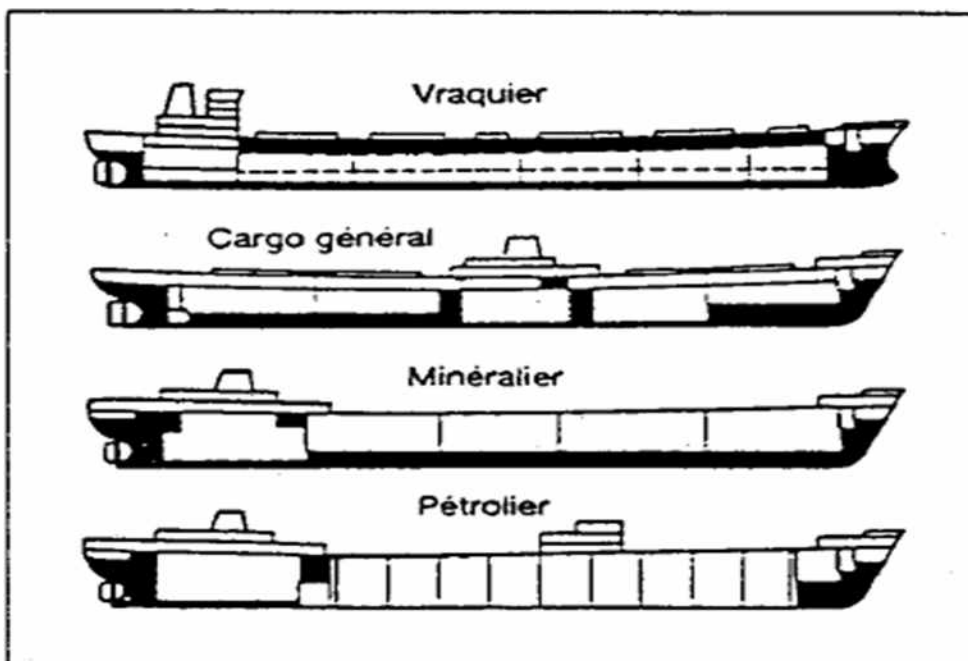


Figure1 : Capacité d'eau de ballast (en noir) des navires (Boudouresque, C.F, 2012).

1.2.2. Selon l'emplacement dans le navire :

Un bateau peut transporter des milliers de mètres cubes d'eau de ballast, la plupart du temps dans ses ballasts, mais parfois aussi dans ses cales de cargaison.

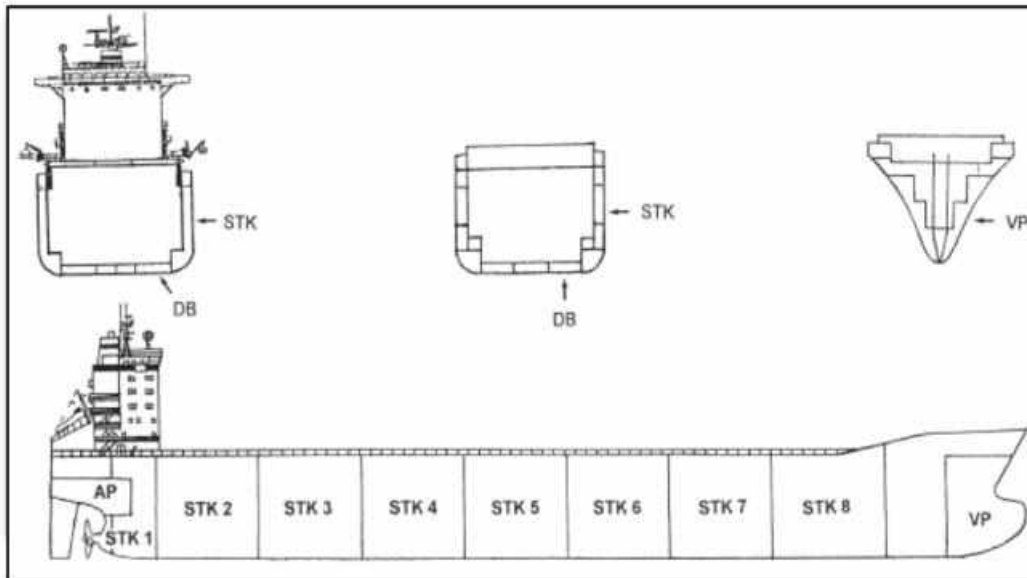


Figure 2 : Vue de profil d'un navire moderne montrant les positions des réservoirs d'eaux de ballast. (AP = réservoir à l'arrière maximal, VP = réservoir à l'avant maximal, STK = les réservoirs latéraux et DB = réservoirs inférieurs doubles). (Gollasch, S *et al*, 2000)

1.2.3. Les *sea-chests* :

Un mécanisme lié aux eaux de ballasts, mais en fait distinct, est celui des *sea-chests* : il s'agit des renforcements situés sous la ligne de flottaison des navires qui abritent les connections avec les tuyaux de chargement et de déchargement des eaux de ballast.

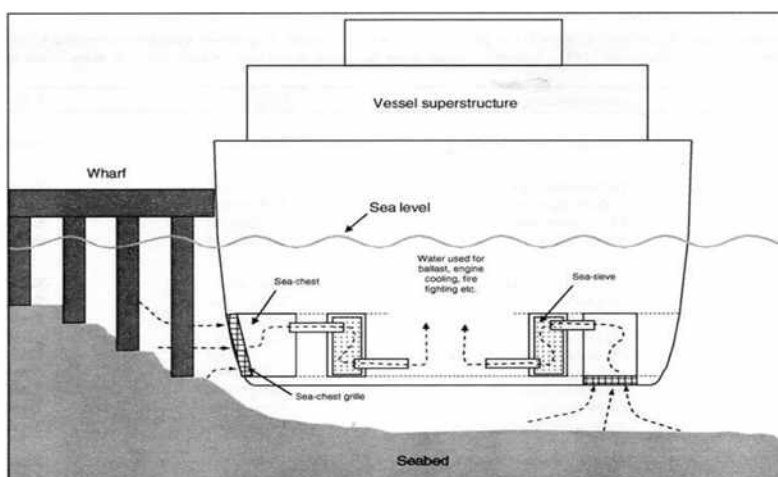


Figure3 : Les *sea-chests* d'un navire transportant des eaux de ballast (Boudouresque, C.F, 2012).

Les *sea-chests* peuvent abriter et transporter de très nombreux organismes macroscopiques : décapodes, mollusques, annélides (Boudouresque, C.F., 2012)

1.3. Quantité de ballast par type de navire :

Les quantités des eaux de ballast sont généralement fonction des dimensions des navires. Dans le domaine maritime cette dimension est représentée par le port en lourd ou "Dead Weight". Le calcul du port en lourd est arrêté par une convention internationale élaborée sous l'égide de l'OMI. Le tableau ci-dessous présente, selon les types de navires, une estimation des capacités des ballasts en fonction des ports en lourd.

Tableau 1 : Quantité d'eau de ballast par type de navire. (Fouche, D et Masson, D, 1999).

Type de navire	DWT	Eau de ballast (Tonne d'eau)
Grands vraquiers	40 000 à 250 000	15 000 à 100 000
Petits vraquiers	15 000 à 40 000	6 000 à 15 000
Les méthaniers	5 000 à 125 000 m ³	1 000 à 50 000
Les RoRo /Porte -conteneurs	4 000 à 40 000	1 000 à 12 000
Les pétroliers	15 000 à 110 000	4 000 à 35 000
Les navires de passagers	très peu	Des systèmes anti-roulis

1.4. Les organismes dans les ballasts :

1.4.1. Les eaux de ballast :

Divers types d'espèces peuvent être transportés dans les eaux de ballast, comme du plancton, des crustacés, des poissons, des larves, des œufs, etc (UICN, 2003).

La prise de l'eau de ballast se produit généralement pendant que la cargaison du navire est déchargée. L'eau de mer pompée dans les réservoirs est non-sélectif (Carney, K.J, 2011)

L'analyse des eaux de ballast ont fait ressortir l'existence du phytoplancton tel que des diatomées et des dinoflagellés (Sur 16 Dinoflagellés toxiques les plus connus, 13 sont retrouvés dans les ballasts) (Valor, I.G, 2008) et le zooplancton tel que des copépodes, les cypréidés de bernache, les isopodes, les radiolaires et les larves de bivalve, de gastéropode et de crabe tous ont aussi été trouvés dans ces réservoirs Carney, K.J, 2011). Le temps de survie des organismes dans les eaux de ballast peut dépasser 18 jours. Leur abondance décroît avec la durée de la traversée (Boudouresque, C.F, 2012).

1.4.2. Les sédiments des ballasts :

Les eaux de ballast, comme vecteur, comportent également des sédiments qui stagnent au fond des tanks et contiennent aussi bien des espèces ayant une grande capacité de résistance, des kystes, ou encore des organismes benthiques au stade adulte (UICN, 2003). On trouve entre 5 et 10 cm d'épaisseur de sédiment, dans les ballasts de fond principalement, ce qui correspond à plusieurs centaines de tonnes inutilement transportées (Fouche, D et Masson, D, 1999).

Le sédiment qui s'accumule au fond des tanks durant toute la période de l'exploitation du navire, représentant un gisement de sédiment de différents ports de prise d'eau de ballast (Carney, K.J, 2011). On trouve jusqu'à 120 espèces différentes de protistes en état de repos dans le sédiment des ballasts. Les conditions de milieu permettent d'établir de véritables chaînes alimentaires (Valor, I.G, 2008). Durant ces étapes de repos, les organismes ne sont pas flottables et vivent enfouis dans le sédiment où elles peuvent rester inactives pendant des années, germant quand les conditions environnementales deviennent favorables.

En conditions défavorables, les organismes peuvent entamer l'étape de repos ou produire des œufs de diapause. Durant cette phase, les individus cherchent l'eau profonde, règlent leur flottabilité, diminuent leur activité et métabolisme, changent les substrats métaboliques qu'ils s'oxydent pendant la respiration et réduisent des niveaux des enzymes digestives et étripent le péristasis. Les œufs de diapause sont inactifs mais contiennent les embryons fertilisés qui sont maintenus dans une enveloppe protectrice et peuvent hacher s'ils ont stimulé par des conditions favorables. La diapause donc, donne les organismes elles-mêmes et pas simplement leurs œufs la chance de survivre le voyage.

Des kystes de Dinoflagellé, les spores de diatomée et les œufs de repos de copépode ont été rassemblés dans le sédiment des ballasts. (Carney, K.J, 2011), et la découverte dans juste un seul ballast, d'environ 300 millions de kystes viables du dinoflagellé *Alexandrium tamarense* potentiellement toxique, ce qui a accentué l'importance de ce vecteur comme mécanisme de transport qui augmente la gamme des espèces toxiques (Carney, K.J, 2011).

1.5. Etapes d'introduction des espèces par les eaux de ballast :

Pour arriver à des nouvelles régions dans les eaux de ballast les espèces doivent passer par les étapes suivantes :

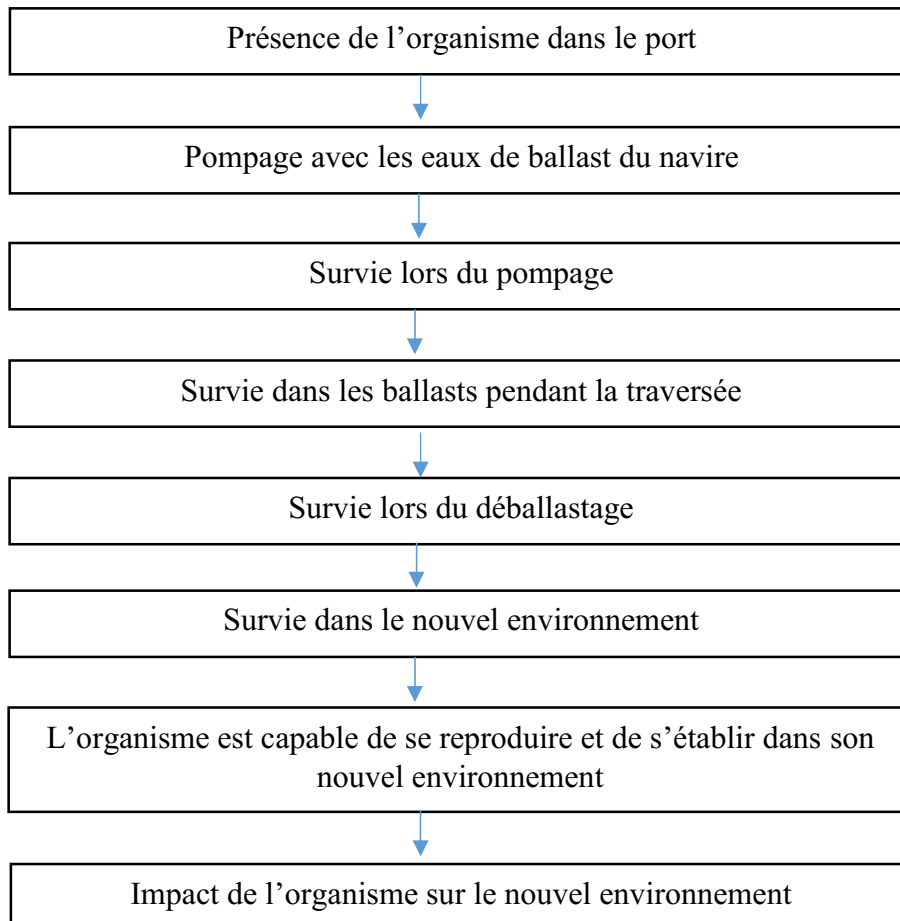


Figure 4 : Etapes nécessaire pour la réussite d'une introduction d'espèces marine via les eaux de ballast (Fouche, D et Masson, D., 1999).

Atteindre un nouvel environnement par l'intermédiaire des navires de transport les organismes doivent survivre à trois principales étapes dans le voyage. Ce sont la prise initiale dans les réservoirs, le voyage lui-même et le procédé de décharge (Carney, K.J, 2011)

1.5.1 La prise dans des réservoirs :

Pendant la prise de l'eau de mer dans des réservoirs, les organismes traversent les pompes de ballast ou ils subissent un fort stress généré par le choc du flux de l'eau à travers les canalisations du navire. Ce processus est identifié comme étant le principal responsable de la mortalité des organismes entrant dans les réservoirs de ballast.

1.5.2. Le voyage :

Les conditions dans les réservoirs sont extrêmement dures et changent durant toute la durée du voyage. Alors que la salinité reste presque la même. La température varie selon la zone de navigation du navire. Ce changement affecte aussi la survie de organismes ayant résisté au à la phase de pompage, à l'intérieur du ballast. À cela s'ajoute, les autres variations telles que le taux d'oxygène, le PH etc.

Durant le voyage les organismes présents dans les réservoirs doivent s'adapter aux conditions du milieu, principalement à :

1.5.2.1 Adaptation à l'obscurité :

Il n'y a aucune lumière dans les réservoirs, pour beaucoup de matrice de phytoplancton, ce qui empêche la photosynthèse. Ceci laisserait alors les options d'alimentation hétérotrophes ou mixotrophe seulement.

A noter que beaucoup d'organismes planctoniques peut former les étapes de repos en conditions défavorables, ainsi alors qu'elles ne sont pas présentes sous une forme active ils restent viables. Il y a beaucoup de noms donnés à ces étapes de repos, y compris des spores en se rapportant à des diatomées, les kystes pour des dinoflagellés et le zooplancton peut utiliser un reposant state/diapause.

1.5.2.2. Adaptation au manque des nutriments :

La réaction des organismes chargés à l'intérieur des ballasts ont tendance à se mettre en étape de repos en cas de carence des nutriments. Cependant, des espèces du phytoplancton polaire ont été observées pour produire ces étapes de repos même en présence d'aliments suffisants. On pense maintenant qu'une réduction même légère de disponibilité des nutriments peut induire des organismes à entamer ces étapes afin d'augmenter leurs chances de survie (Carney, K.J, 2011).

Pour le phytoplancton ce processus implique que la cellule change sa structure pour devenir plus résistante et qui devient active encore une fois la cellule retrouve des conditions favorables. Par contre, les spores de diatomée ont souvent une coquille externe épaisse faite à partir de la silice, qui leur permet de survivre en conditions défavorable.

Les cellules survivent en scellant leurs membranes et en ramenant le métabolisme à un niveau minimal. Ceci conserve juste le nécessaire exigés pour l'entretien de la vie.

Des dinoflagellés peuvent produire des kystes par des processus sexuel et asexuels et ces kystes montrent une réduction de métabolisme des cellules jusqu'à de 98%.(Carney, K.J, 2011).

1.5.3 Procédé de décharge :

La décharge des eaux de ballast affecte la densité des espèces en provoquant des dommages aux cellules à cause des chocs dans les tuyaux des pompes de vidange.

La survie de ces organismes dans leur nouveau milieu dépend de leurs interactions avec les communautés locales et de l'adaptation au nouvel environnement. Seuls les organismes les plus résistants pourront se rendre à l'étape suivante, représentée par la phase d'établissement (Monroy, O. G. C, 2012).

1.6. La gestion des eaux de ballast :

Ces dix dernières années, l'Organisation Maritime Internationale s'est efforcée, à travers ses États Membres, de faire face au problème des eaux de ballast. Des Directives internationales sont adoptées afin de :

- Prévenir l'introduction d'organismes aquatiques et d'agents pathogènes indésirables par suite des rejets d'eaux de ballast et de sédiments par les navires (OMI, 1998).
- Désigne les processus mécanique, physique, chimique et biologique utilisés, pour isoler, éliminer ou rendre inoffensifs les organismes aquatiques nuisibles et les agents pathogènes présents dans les eaux de ballast et sédiments, ou à empêcher qu'ils soient admis ou rejetés avec ces eaux et sédiments (Chancellerie fédérale Suisse, 2012).

1.6.1 La Convention de BWM :

La Convention internationale pour le contrôle et la gestion des eaux et des sédiments de ballast (Ballast Water Management), développée par l'Organisation maritime internationale (OMI) présente des procédures pour minimiser les introductions des espèces exotiques lors du déversement des eaux de ballast, tout en protégeant la sécurité des bateaux. Elle fournira un régime standardisé pour la gestion des eaux de ballast d'une manière uniforme et harmonisée à travers le monde (Noureddine, A *et al*, 2011).

La Convention a été adoptée en Février 2004, mais n'est pas encore entrée en vigueur. En Septembre 2010, 26 parties représentant 24.44% du tonnage marchand mondial avaient ratifié la convention. Il est nécessaire que 30 signataires, représentant 35% du tonnage, la ratifient pour qu'elle entre en vigueur (Globallast, 2010).

En 2015 quarante-quatre pays représentant 32.8% du tonnage mondial ont ratifié la convention (OMI 2015 in BWM, 2015), qui entrera en vigueur douze mois après satisfaction des conditions de l'entrée en vigueur (BWM Convention 2004).

1.6.2. Dispositions de réglementation sur les eaux de ballast :

Dans un premier temps, tous les navires auront l'obligation de renouveler au moins 95 % des eaux de ballast en haute mer.

Dans un second temps, ils devront disposer d'un système de gestion des eaux de ballast par traitement, afin de pouvoir garantir le respect d'une teneur maximale en microorganismes vivants.

- Les **navires construits avant 2009** devront respecter la première règle jusqu'en 2014 ou 2016, en fonction du volume de leurs ballasts. A partir de ces dates, ils devront satisfaire à la seconde.
- Les **navires construits entre 2009 et 2012** devront satisfaire immédiatement à la seconde règle, à l'exception de ceux dont les ballasts sont supérieurs à 5 000 tonnes qui pourront ne l'appliquer qu'à partir de 2012.
- Tous les **navires construits à partir de 2012** devront satisfaire à la seconde règle dès leur construction. (Decaesteke, 2008).

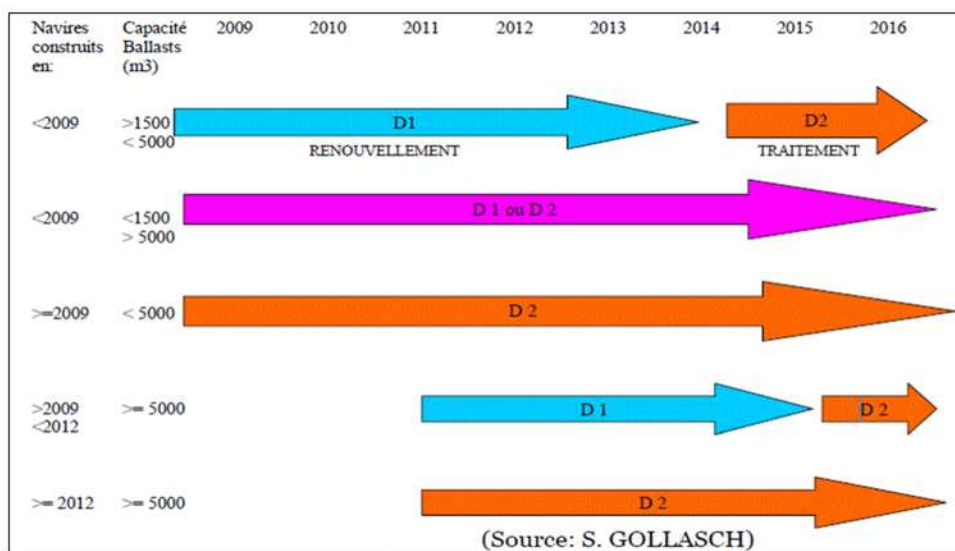


Figure 5 : Convention internationale de 2004 contrôle et gestion des eaux de ballast et sédiments des navires. (Valor, I.G, 2008).

Cette convention prévoit que dans une première phase, les navires doivent, comme au niveau national effectuer un échange de plus de 95% de leurs eaux de ballast en haute mer (D1). Dans une deuxième phase, les navires devront s'équiper d'un système de traitement des eaux de ballast (D2).

2. L'invasion biologique :

Au cours des quelques derniers siècles, des milliers d'espèces ont dispersé au-delà de leurs aires d'origine et ont transformé les écosystèmes marins partout dans le monde.

Dans ces dernières décennies, la dispersion des espèces a augmenté de plusieurs ordres de grandeur, et cela a contribué à certaines régions actuellement envahi par plusieurs nouvelles espèces par an. (Seebens, H *et al.*, 2013).

En milieu marin, les causes d'introduction d'espèces sont principalement les eaux de ballast, le fouling, l'évasion d'espèces aquacoles et les introductions accidentelles d'espèces accompagnatrices d'espèces aquacoles mais aussi les aquariums (cas de l'algue *Caulerpa taxifolia* est bien connu en Méditerranée).

Avec l'accroissement du trafic maritime, les eaux de ballast sont de loin la principale cause d'introduction des espèces dans le milieu marin. On estime que 7000 espèces sont transportées dans le monde entier chaque jour dans l'eau de ballast et que 10 milliards de tonnes d'eau de ballast sont transportées chaque année de par le monde (GEF-UNDP-IMO GloBallastPartnerships et IUCN, 2010).

Dans bien des cas, ces espèces non indigènes s'adaptent mal à leur nouvel environnement et disparaissent rapidement. Il peut cependant arriver qu'elles survivent, se reproduisent et s'implantent.

2.1. Espèces invasives :

Les espèces invasives ont été définies comme jouant un rôle important dans les écosystèmes réceptifs. Étant souvent économiquement nocives, elles affectent la diversité biologique et remplace les espèces indigènes, conduisant à une diminution des espèces locales et endémique, et contribuent à l'homogénéisation globale du biote (Carney, K.J, 2011).

2.2. Devenir de l'invasion biologique :

Contrairement à une pollution accidentelle (ex. marée noire), dont les effets diminuent non seulement avec le temps, mais aussi avec la distance du point d'impact (Figure 6). Les espèces introduites se propagent de proche en proche, jusqu'à occuper la totalité des habitats et la totalité de l'aire géographique qui leur sont accessibles.

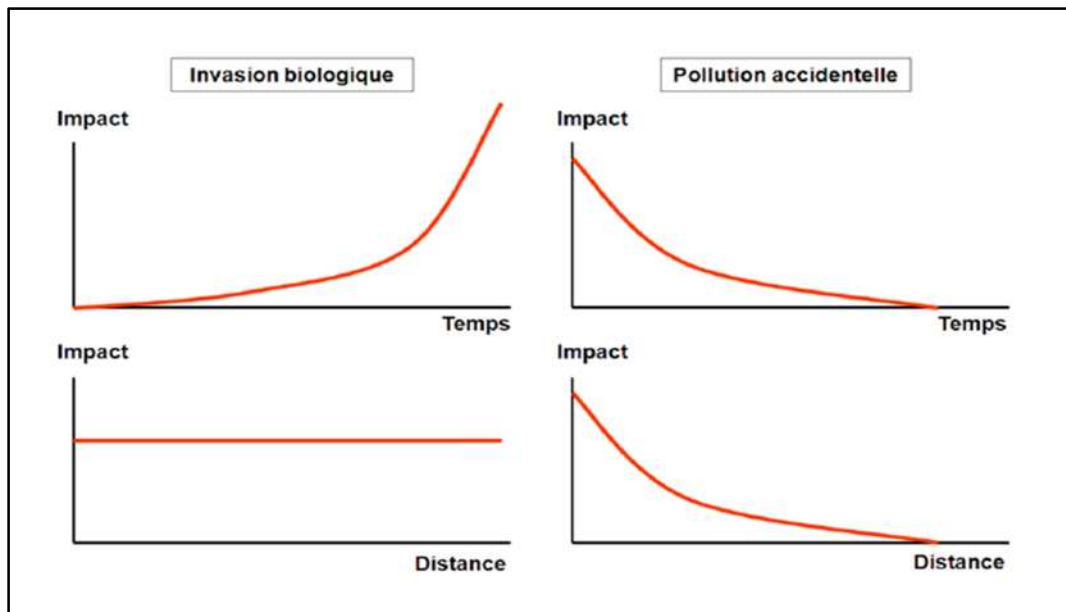


Figure 6 : Comparaison entre les devenir d'une invasion biologique et d'une pollution accidentelle, en fonction du temps et de la distance par rapport à la source l'impact d'une invasion biologique ne décroît pas, contrairement à celui d'une pollution accidentelle.

Source : (Boudouresque, C.f, 2012).

2.3. Probabilité d'invasion :

Selon (Davis etThompson, 2000 ; in Dupont, L, 2004), l'invasion biologique est caractérisée par l'arrivée, suite à une dispersion à courte ou longue distance, d'individus dans un environnement où ils n'ont jamais été répertoriés et où leur impact s'avère négatif. A la différence de Williamson (1996), pour qui une espèce invasive doit être obligatoirement introduite, ces auteurs considèrent donc qu'elle peut également être native, impliquant alors une dispersion à courte distance.

A chaque étape du processus d'invasion est associée une probabilité d'échec. Cela a amené Williamson et Fitter (1696) à énoncer «la règle des un dixième ».

D'après cet auteur 10% des espèces introduites réussissent à s'installer ; parmi elles seul 10% sont capables de coloniser de nouveaux milieux et de s'y établir définitivement et

enfin, parmi ces dernières, 10% seraient susceptibles de provoquer des dégâts écologiques et économiques (Dupont, L, 2004).

2.4. Processus d'invasion :

Le risque d'invasion est défini comme la probabilité d'aboutissement d'un processus complet, de l'introduction de l'espèce à sa propagation, en passant par son établissement, et conduisant à un dommage environnemental identifié.

2.4.1. Introduction de l'espèce dans le milieu :

La première étape d'un processus d'invasion concerne l'introduction de l'espèce, volontaire ou non, *via* des vecteurs relativement nombreux (Thomas, A et *al*, 2006).

Le succès de l'opération, quand elle s'opère par la médiation de l'homme, sera d'autant plus grand que la durée du voyage du navire sera courte. La forte augmentation récente de la rapidité des transports maritimes favorise donc l'arrivée "à bon port" d'éventuels fondateurs (Pascal, M et *al*, 2010).

2.4.2. Établissement (Naturalisation) :

Dans le processus d'invasion par une espèce exotique, la deuxième étape d'établissement est souvent caractérisée par un ralentissement de l'activité de reproduction de l'espèce, avant la phase finale de propagation (Thomas, A et *al*, 2006). Pour ce faire, elles doivent découvrir les ressources locales indispensables à leur survie et trouver le moyen de les exploiter (Pascal, M et *al*, 2010).

Cette deuxième étape est cruciale pour le processus d'invasion, constituant un moment d'adaptation avec le milieu naturel local. Mack 2000, in (Thomas, A et *al*, 2006) indiquent plusieurs facteurs explicatifs de cette latence, parmi lesquels la sélection naturelle favorisant des génotypes rares ou nouvellement créés en adaptation au nouvel environnement.

On peut distinguer deux sortes de facteurs favorisant l'établissement d'une espèce invasive. La première catégorie de facteurs concerne l'environnement naturel, la seconde les facteurs spécifiques à l'espèce et son mode d'introduction (Thomas, A et *al*, 2006).

2.4.2.1. Facteurs liés à l'environnement naturel :

Les facteurs liés à l'environnement favorisent l'établissement des espèces ayant pu survivre à la phase de transfert et d'introduction (Thomas, A et *al*, 2006). Cette approche

est basée sur l'observation, mettant en évidence, que beaucoup d'espèces se développent mal ou meurent, une fois transféré dans des environnements différents. (Barry et al, 2008). Les facteurs physiques fondamentaux affectant la survie et la reproduction d'organismes aquatiques sont la température et la salinité (MPO, 2012).

2.4.2.2. Facteurs liés à l'espèce introduite et à son mode d'introduction :

On parle souvent de plasticité, ou « résilience », pour caractériser les espèces, dont l'établissement est plus aisé. Nous citons les facteurs suivants, souvent rencontrés dans les espèces particulièrement envahissantes :

- un taux de croissance rapide
- une maturité sexuelle précoce
- une forte capacité reproductive
- un pouvoir de dispersion effectif
- une tolérance à une grande variété de conditions écologiques.

2.4.3. La propagation :

La propagation est la phase pendant laquelle l'espèce introduite s'avère nuisible, plus précisément quand elle représente un danger pour la biodiversité naturelle, le fonctionnement des écosystèmes, l'économie ou la santé humaine.

Avant la phase de propagation géographique, les espèces introduites présentent souvent une phase de latence (*lag phase*), pouvant atteindre plusieurs dizaines d'années, durant laquelle, il est difficile de distinguer les futures populations envahissantes. Des populations qui ne le deviendront pas ou qui vont s'éteindre (Benjamin, Hornoy, 2012).

2.5. Espèces invasives en Méditerranée :

La mer Méditerranée est l'une des régions du monde les plus touchées par les introductions d'espèces (Boudouresque, C.f, 2012). Les espèces introduites représentent entre 4 à 20% de la diversité spécifique. (Boudouresque, C.f, 2012). Par conséquent des listes noires des espèces introduites ont été adoptées. L'établissement de ces listes (*black lists* ou *dirty lists*) constituerait un progrès certain. Toutes les espèces qui, ici ou là dans le monde, ont révélé un comportement invasif, devraient y être inscrites, et leur transport contrôlé ou strictement interdit.

Tableau 2 : Liste noire des espèces marine invasives par les AMP de la Méditerranée (Otero *et al*, 2013 in Weitzmann, B., García M., Casanovas R, 2013).

Algues	Crustacées
1. <i>Acrothamnion preissii</i>	25. <i>Marsupenaeus japonicus</i>
2. <i>Asparagopsis armata</i>	26. <i>Metapenaeus monoceros</i>
3. <i>Asparagopsis taxiformis</i> .	27. <i>Metapenaeus stebbingi</i>
4. <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i>	28. <i>Percnon gibbesi</i>
5. <i>Caulerpa taxifolia</i>	Ascidies
6. <i>Codium fragile</i> sp. <i>fragile</i>	29. <i>Herdmania momus</i>
7. <i>Lophocladia lallemandii</i> Crustacis	30. <i>Microcosmus squamiger</i>
8. <i>Styopodium schimperi</i>	Cténophores
9. <i>Womersleyella setacea</i>	31. <i>Mnemiopsis leidyi</i>
Angiospermes	Poissons
10. <i>Halophila stipulacea</i>	32. <i>Alepes djedaba</i>
Cnidaires Ascidies	33. <i>Apogonichthyoides pharaonis</i>
11. <i>Oculina patagonica</i>	34. <i>Atherinomorus forskalii</i>
12. <i>Rhopilema nomadica</i>	35. <i>Fistularia commersonii</i>
Mollusques	36. <i>Lagocephalus sceleratus</i>
13. <i>Aplysia dactylomela</i>	36. <i>Lagocephalus spadiceus</i>
14. <i>Arcuatula (Musculista) senhousia</i>	36. <i>Lagocephalus suezensis</i>
15. <i>Brachidontes pharaonis</i> Ctenófors	37. <i>Nemipterus randalli</i>
16. <i>Bursatella leachii</i>	38. <i>Parexocoetus mento</i>
17. <i>Chama pacifica</i>	39. <i>Pempheris vanicolensis</i>
18. <i>Crassostrea gigas</i>	40. <i>Plotosus lineatus</i>
19. <i>Crepidula fornicata</i>	41. <i>Sargocentron rubrum</i>
20. <i>Limnoperna (Xenostrobus) securis</i>	42. <i>Saurida undosquamis</i>
21. <i>Pinctada imbricata radiata</i>	43. <i>Siganus luridus</i>
22. <i>Rapana venosa</i>	44. <i>Siganus rivulatus</i>
23. <i>Spondylus spinosus</i>	45. <i>Stephanolepis diaspros</i>
24. <i>Venerupis (Ruditapes) philippinarum</i>	46. <i>Upeneus molluccensis</i>
	47. <i>Upeneus pori</i>

2.6. Espèces marines introduites en Algérie :

Le rythme des invasions dans le monde s'est considérablement accéléré au cours des dernières décennies, en raison notamment de l'intensification des échanges transcontinentaux, maritimes ainsi que de l'exploitation intensive des écosystèmes (Benoit, S.B, 2006).

En Algérie il y'a très peu de travaux sur les espèces invasives, leurs vecteurs d'introduction et leur impacts sur la biodiversité marine sont mal connu.

Tableau 3 : Les espèces marines introduites en Algérie. (BECHETARZI, R et REBZANI ZEHAFF, C, 2015)

Systématique	Groupe et espèce
Foraminifères	<i>Amphistegina lobifera</i> (Larsen, 1976)
Chlorophycées	<i>Caulerpa scalpelliformis</i> <i>Caulerpa racimosa</i> var. <i>cylindracea</i> (sonder) (Verlaque, Huisman, Boudouresque, 2003) <i>Lophocladialallemandii</i> (Montagne) F.Schmitz, 1893
Rhodophycées	<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan de saint-Léon, 1945 <i>Antithamnion algeriense</i> (M.Verlaque&Seridi 1991)
Cnidaires	<i>Macrorhynchia philippina</i> (Kirchenpauer,1872) <i>Oculina patagonica</i> (Angelis, 1908) <i>Cassiopea andromeda</i> (Forsskal, 1775) <i>Rhopilema nomadica</i> (Galil, 1990)
Mollusques	<i>Aplysia dactylomela</i> (Rang, 1828) <i>Brachidontes pharaonis</i> Fischer P., 1870) <i>Celana rota</i> (Gmelin, 1791) <i>Erosaria Turdus</i> (Lamarque, 1810) <i>Fulvia(Fulvia) fragilis</i> (Forskal in Niebuhr, 1775) <i>Pinctada radiata</i> (Leach, 1814) <i>Spondylus spinosus</i> (Schreibers, 1793)
Crustacés	<i>Charybdis spp</i> (Cocco, 1832) <i>Erugosquilla massavensis</i> (Kossmann, 1880) <i>Marsupenaeus japonicus</i> (Bate, 1888) <i>Penaeus spp.</i> (Fabricius, 1798) <i>Portunus pelagicus</i> (Linnaeus, 1758)
Echinodermes	<i>Synaptula reciprocans</i> (Forskal, 1775)
Ascidies	<i>Herdmania momus</i> (Savigny, 1816) <i>Phallusia nigra</i> (Savigny, 1816)
Poissons	<i>Fistularia commersonii</i> (Ruppell, 1835) <i>Lagocephalus sceleratus</i> (Gmelin, 1788) <i>Saurida undosquamis</i> (Richardson, 1848) <i>Stephanolepis diaspros</i> (Fraser-Brunner, 1940)

2.7. Exemple d'invasion biologique en Méditerranée :

La grande majorité des travaux existants se concentrent sur des espèces particulièrement représentatives, ou associées à un dommage environnemental ou économique majeur, et/ou sur des milieux spécifiques. Nous citerons ci- dessous l'exemple de *Caulerpa*

Tout comme la *Caulerpa. taxifolia*, *Caulerpa. racemosa* var. *cylindracea* tolère les températures hivernales relativement basses du Nord de la Méditerranée ; Cette dernière montre toutefois un cycle saisonnier plus marqué que pour *C. taxifolia*, avec une régression nette de ses peuplements en hiver. Au printemps, avec le réchauffement des eaux, la croissance devient rapide (jusqu'à 1.3 cm.d⁻¹) permettant la colonisation de la plupart des substrats (excepté les herbiers de Posidonies denses et les substrats meubles instables), de 0 à 30 m de profondeur (jusqu'à -60 m dans le bassin oriental). *Caulerpa racemosa* est plus petite que *C. taxifolia* et ses peuplements présentent des biomasses beaucoup plus faibles, mais sa vitesse d'expansion est par contre plus rapide.

La forme envahissante de *Caulerpa racemosa* a été signalée pour la première fois au début des années 1990, dans le sud de la Méditerranée orientale, en Libye.

Les travaux taxonomiques et génétiques réalisés par Verlaque et al. (2000) et Durand et al. (2002) ont démontré que cette souche de *C. racemosa* est bien différente des deux variétés (*Caulerpa racemosa* var. *turbinata-uvifera* et *C. racemosa* var. *lamourouxi*) qui étaient déjà connues du bassin oriental de Méditerranée (Tunisie, Moyen-Orient). Elle a par la suite été formellement identifiée, grâce à ses particularités morphologiques et génétiques, à une variété connue des mers tempérées du Sud-Ouest de l'Australie, *C. racemosa* var. *cylindracea*.

Ces deux espèces de *Caulerpa* envahissantes pénètrent également l'herbier à *Posidonia oceanica* (Magnoliophytes), l'un des écosystèmes les plus importants de Méditerranée. Leur installation y est toutefois moins rapide que dans les peuplements dominés par d'autres macrophytes (Rhodobiontes et Chromobiontes). Elles ne semblent coloniser que les zones les plus clairsemées de l'herbier et ne s'implantent que sporadiquement au sein de l'herbier dense (Gravez, P et al, 2005).

Zone d'étude

La zone d'étude :

L'Algérie dispose d'une façade maritime de 1200 kilomètres, 95 % de son commerce extérieur emprunte la voie maritime. Elle se trouve dans une situation privilégiée dans le commerce internationale, parmi lesquelles nous citerons les réserves en hydrocarbures d'où la présence d'une large gamme de produits relatifs aux gisements de pétrole et de gaz, ce dernier est acheminé vers la côte méditerranéenne où se trouve une gigantesque zone industrielle dans la baie d'Arzew.

1. Le golf d'Arzew :

1.1. Présentation du site d'étude :

Le golfe d'Arzew est localisée sur le méridien de Greenwich, il s'étend entre les villes de Stidia et Mostaganem sur la côte ouest algérienne et plus précisément du cap Ivi à l'Est ($36^{\circ}37' N, 0^{\circ}13' W$) jusqu'au Cap Carbon à l'Ouest ($35^{\circ}54' N, 0^{\circ}13' W$) sur une distance de 55 Km. (Figure7).



Figure7 : la situation des deux ports Arzew et Bethioua dans le golf d'Arzew. Source Google Earth.

Cette baie qui est située dans un abri fermé englobe des infrastructures portuaires de grande importance pour l'économie du pays, Les ports d'Arzew et de Bethioua assurant 70% des exploitations d'hydrocarbures de l'Algérie.

1.2. Le port d'Arzew :

Située dans la frange Ouest du golfe d'Arzew, la ville d'Arzew est à environ 40 Km à l'Est d'Oran. La création du port d'Arzew remonte à l'époque romaine (Portus magnus), grâce aux qualités exceptionnelles de sa rade et à sa situation de débouché des riches plaines de Sig et de l'Habra (E.P.A, 2000).

1.2.1. Ouvrages de protection :

- Jetée du large
- Jetée secondaire
- Jetée de l'appontement méthanier

Longueur des 3 jetées = 2 Km. (Figure8).



Figure8 : Le port d'Arzew. Ouvrages de protection. (E.P.A., 2000).

1.2.2. Installations spécialisées :

- 1 Silo à ciment capacité 1800 T
- 1 Cale de halage longueur 14 m, largeur 5 m, puissance 30 Tonnes
- 1 Station de déballastage capacité de 6.000 m3.

1.3. Le port de Bethioua :

Le port de Bethioua est situé au chef-lieu de la daïra de Bethioua à 7.0 Km à l'Est du port d'Arzew. Il est localisé à 35° 48' 50" de latitude Nord et à 00° 15' 23" de longitude ouest.

Ce port constituait une configuration adaptée aux navires de grande taille en raison également de sa profondeur théorique, il a été créé pour l'exploitation de :

Gaz naturel liquéfié(GNL) – pétrole brut – gaz de pétrole liquéfié (GPL). (Ameraoui, S et Khalfallah, H, 2010).

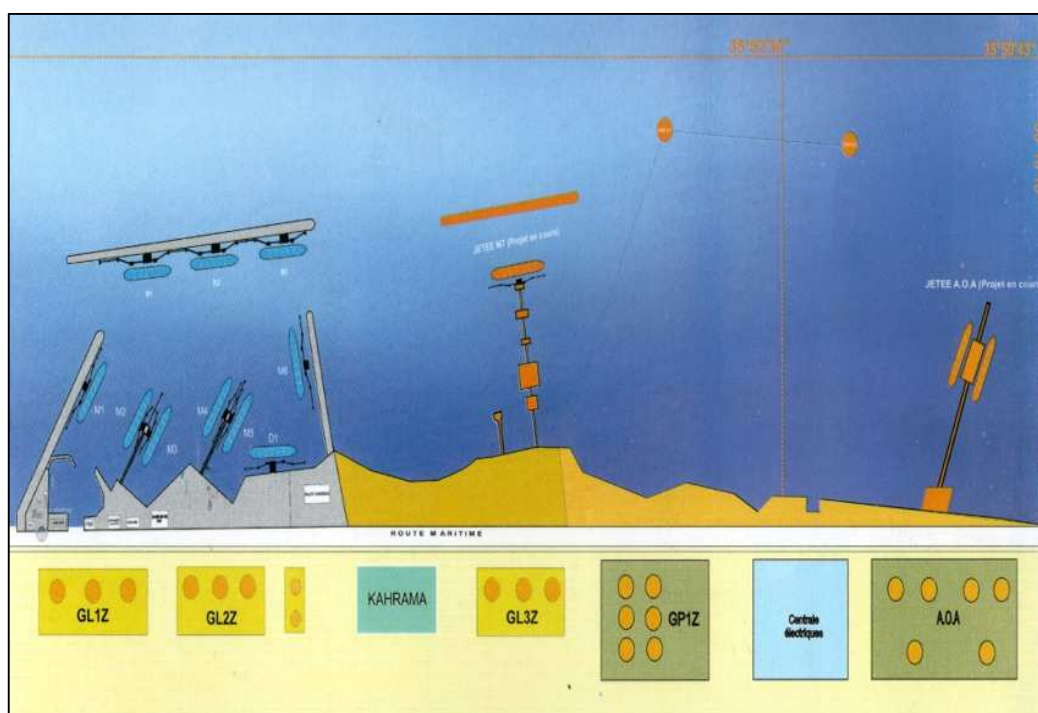


Figure9 : Le port de Bethioua. Ouvrages de protection. (E.P.A, 2000)

Les deux ports disposent des infrastructures destinées essentiellement au transbordement des hydrocarbures et Gaz naturelle, avec des tirants d'eau de 9,20 à 23 m pour recevoir les grands navires transocéaniques.

Tableau4 : infrastructures des deux ports. (E.P.A., 2000).

	Port d'Arzew	Port de Bethioua
Nombre de postes	08	10
Plan d'eau	153ha	192.5 ha
Terre pleine	24ha	36 ha
Tirant d'eau min/max	9.20 / 14.9 m	13.5 / 23.0 m

2. Facteurs hydrodynamiques :

2.1 Les houles :

Dans le golfe d'Arzew, les houles sont induites par les vents de direction Nord-Est, Ouest ou Nord- Ouest selon les saisons. Les houles les plus fréquentes sont de direction Nord-Est et Ouest. En hiver, les houles sont essentiellement orientées dans la direction Ouest et Nord.

Le secteur de houle déterminant pour les conditions du site a été retenu à N 325° - N 55° avec deux sous-secteurs : N 325° - N 15° et N 15° - N 55°.

En générale Arzew est un port à faible hydrodynamismes qui ne permet pas un brassage important des eaux. (Grimes. S et al. 2010).

2.2. Les vents :

Le golfe d'Arzew est ouvert à tous les vents du large depuis le Nord-Ouest jusqu'au Nord-Est. Les vents dominants sont les vents du nord. (Zouaneb, A et Mokrane, K, 2014).

Le régime des vents au large du Golf d'Arzew est caractérisé par la prédominance de deux secteurs, l'un centré sur le Nord-Est, surtout marqué pendant les mois d'été, et l'autre centré sur l'Ouest-Sud-Ouest, surtout marqué pendant les mois d'hiver. Les vents les plus forts soufflent pendant la période de l'hiver, de la mi-October à Avril et plus particulièrement en Février et en Mars. Les vitesses de vent atteignent les 25 m/s. (90 Km/h).

Pour les directions du vent observées à 12 heures durant l'année 2013 ainsi que leurs vitesses voir (Annexe 2).

2.3. La marée :

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée, le marnage est de 0,2m marée de vive –eau moyenne.

Les variations de la pression atmosphérique peuvent entrainer une différence maximale de 0,8m entre les niveaux de l'eau. (Ameraoui, S et Khalfallah, H, 2010).

2.4. Les courants :

Le golfe d'Arzew est moins de 300 milles marins loin du détroit du Gibraltar et de l'Océan Atlantique. Le courant marin algérien est l'un des écoulements les plus énergiques dans le bassin méditerranéen. Une branche de ce courant atteint la côte et retourne à la direction occidentale. (Bouchentouf, S et al, 2013).

Des observations, faites avant la construction du port, il ressort que le régime permanent devant Bethioua, et en excluant les effets du vent et des houles, serait celui d'un courant

Matériels et Méthodes

Matériels et méthodes :

Durant la période allant du 10/02/2015 au 14 /02 /2015, nous avons effectué une sortie sur terrain au niveau du port d'Arzew. Cette opération nous a permis de prélever des échantillons d'eau de ballast d'un certain nombre de navires et de mesurer leurs caractéristiques physico-chimiques. Cette sortie était aussi une opportunité pour moi, afin de comprendre parfaitement les détails de cette opération et les conditions dans lesquels le ballastage/déballastage est effectué, l'utilité de cette opération pour les navires et les contraintes que subissent les capitaines dans la gestion des eaux de ballast. L'étude a porté sur 11 navire venant de 11 ports distinctes dont 2 sont localisés en dehors de la méditerranée.

1. Matériels utilisés :

Pour faire les mesures *in-situ*, nous avons utilisé un lecteur multiparamètres capable de mesurer en une seul plongée de sonde, 13 paramètres et de les mémorisées. Cet équipement était mis à notre disposition par le responsable du laboratoire de LOBEM, de l'université USTHB, avec le soutien de notre encadreur.

1.1. La sonde multiparamètres :



Figure 11 : Valise multiparamètres équipée d'une sonde de type Hanna 9828.

La sonde multi-paramètre est de type Hanna 9828. Cet appareil possède un boîtier étanche à affichage simultané et permet un étalonnage rapide du pH, conductivité et oxygène par solution unique (HI 9828 – 25). Il est doté d'une mémorisation manuelle ou automatique de 60 000 mesures (avec possibilité de transfert sur micro-ordinateur).

Il permet également la localisation en disposant une fonction GPS, et permet une gestion et traçabilité des mesures.

Sa sonde unique est submersible, permet de réaliser simultanément des mesures in-situ, à de grandes distances et à de grandes profondeurs (grande longueur de câble). Elle est occupée également de cinq (5) capteurs. (Figure12).

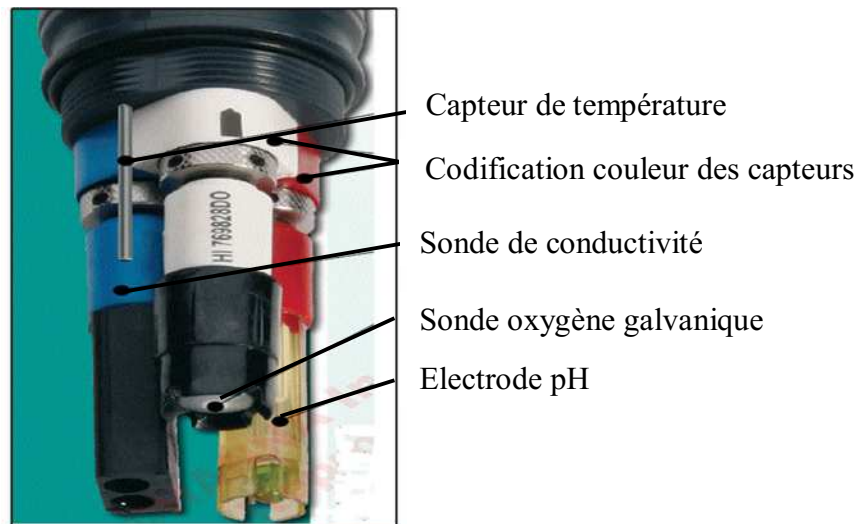


Figure 12 : Les capteurs de la sonde multiparamètres.

1.1.1. La calibration :

La calibration de la sonde se fait à l'aide d'une fonction d'accès rapide « Quick calibration ». (Figure 13). Cette fonction est particulièrement utile lors des analyses de terrain. Elle permet de caractériser en toute simplicité et avec rapidité l'étalonnage de la chaîne de mesure instruments/sonde à l'aide d'une solution d'étalonnage multiparamètre (HI 9828 – 25). (Figure 14).

Après avoir vissé le bécher d'étalonnage contenant la solution d'étalonnage sur la sonde, on sélectionne et on valide l'option « Quick calibration ». l'instrument procède alors à un étalonnage de pH et de conductivité.

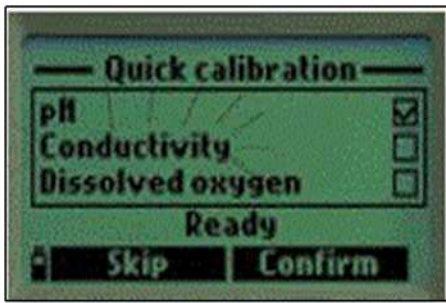


Figure 13 : Calibration de la sonde



Figure 14 : La solution de calibration

On peut également effectuer un étalonnage personnalisé en points multiples en utilisant des solutions d'étalonnage pour chaque capteur.

1.2. Logiciel HI 929829 :

La lecture des données enregistrées se fait directement sur le boîtier d'affichage, puis les transférer sur un ordinateur, par l'utilisation du logiciel HI 929829.

Pour transférer les données enregistrées sur la sonde, on fait connecter cette dernière à un ordinateur, et à travers le logiciel HI 929829 on gère toutes les données mémorisées, et les présenter sur un fichier sous format tableau. (Figure15)

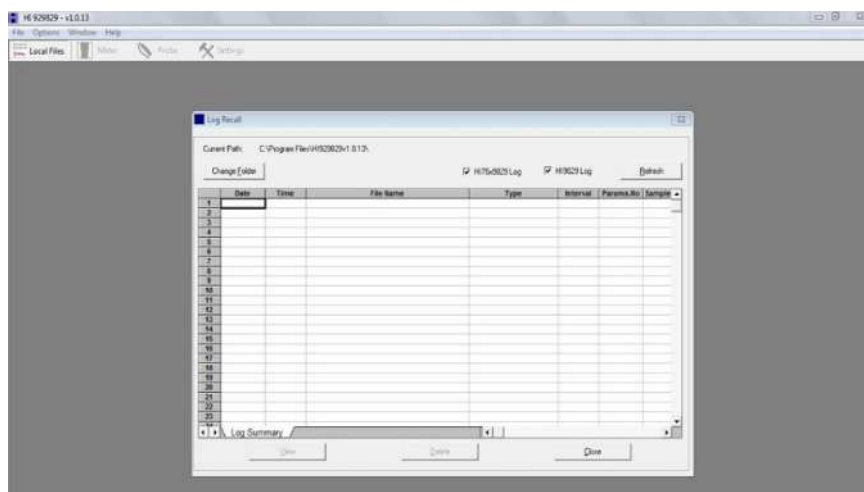


Figure 15 : Fenêtre du logiciel HI 929829.

Le logiciel permet aussi d'effectuer d'autres opérations sur les données enregistrées.

Ainsi que l'accès à la programmation de l'appareil.

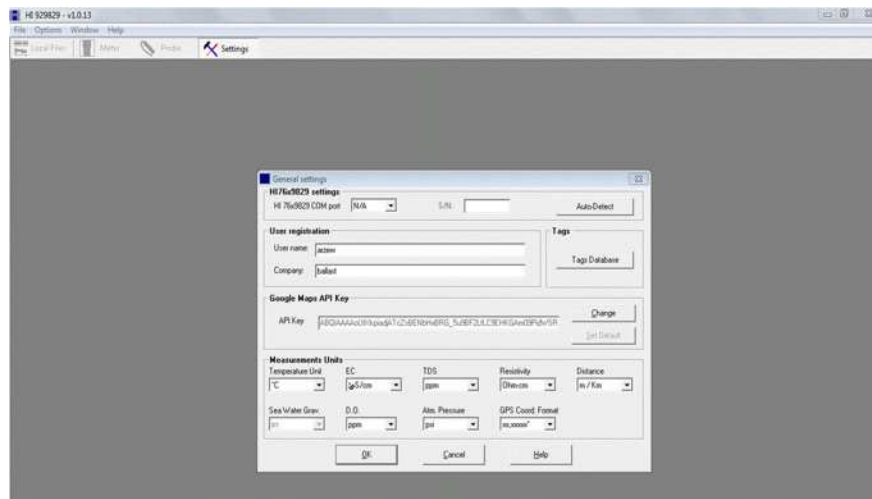


Figure 16 : traitement des données enregistrées par le multimetre.

2. Mesures *in situ* :

L'accès au port n'était pas de tout repos. En effet, la demande a pris plusieurs semaines pour avoir l'aval des services concernés, représenté principalement par le service du PFSO dépendant de l'entreprise portuaire et assurant la sûreté dès l'installation, la police des frontières, les douanes algériennes, les garde-côtes et les responsables de la base Sonatrach. Chacun ayant une procédure particulière à laquelle il faut se conformer. Dans certaines situation, le manque de coordinations entre ces services nous a un peu retardé, si ce n'est l'assistance des responsables du port d'Arzew qui nous ont grandement aidé, en mettant à notre disposition un véhicule pour se déplacer entre les différents postes, l'hébergement et tous les moyens nécessaires pour des conditions de travail sereines.

Les progrès de la manutention font que les escales de navires pour chargement sont de plus en plus courtes, de quelques heures à un ou deux jours. Ces courtes escales ont réduit dans certaines situations la chance de trouver des ballasts pleins.

Afin de gagner du temps, la plupart des navires commencent à déballaster avant l'arrivée au port de chargement, dès que les conditions météorologiques le permettent, car des produits comme le pétrole par exemple, sont chargés très rapidement.

Pour anticiper la cadence du trafic, nous nous somme procuré un état prévisionnel des mouvements des navires, pour suivre les navires en attente d'accostage en rade, ceux qui sont à quai, et ce qui s'appêtent à accoster

A bord du navire nous procédons à l'analyse des eaux de ballast, après avoir eu l'autorisation du capitaine. Les navires les plus anciens possèdent des réservoirs avec des ouvertures qui

sont souvent rouillés et difficile à ouvrir. (Figure 17). Tandis que, les navires les plus récentes possèdent des réservoirs permettant un accès rapide aux eaux de ballast et qui sont facilement manipulable. (Figure 18).



Figure 17 : Réservoirs d’eaux de ballast des anciens navires



Figure 18 : Réservoirs d’eaux de ballast des navires récents

2.1. Méthode d’échantillonnage :

La méthode était de faire descendre la sonde dans le réservoir, dès qu’elle touche l’eau de ballast les résultats sont affichées sur l’écran du multimètre, il faut attendre un laps de temps, pour que les mesures se stabilisent puis enregistrer les résultats (Figure 19). On a rencontré des difficultés pour les mesures de pH et quelques autres paramètres (oxygène) à cause d’un problème de calibration initiale des capteurs.



Figure 19 : Mesures des paramètres physico-chimiques des eaux de ballast.

Pour l'enregistrement des résultats, le multimètre permet de créer un dossier par nom des mesures, ainsi que des remarques sur les mesures effectuées.

Des fois il faut descendre la sonde plus profondément et faire des répliques pour chaque mesure. Une fois terminé on rince la sonde et on la remet dans la valise.

Pour avoir les caractéristiques des navires et leurs dernières opérations, les bords disposent de documents déjà préparés, contenant toutes les informations nécessaires notamment :

- Le nom et le type du navire
- La provenance ou le dernier port d'escale, et la possibilité d'échange des eaux en haute mer
- La quantité d'eau de ballast et le nombre des réservoirs
- La date de départ et la date d'entrée
- Le pavillon du navire
- La jauge nette et brute du navire.
- Tonnage du navire

Nous avons procédé à l'échantillonnage de 4 navires par jours en moyenne, dans certains cas, à notre arrivé les navires avaient déjà vidé leurs ballasts et s'apprêter à appareiller après avoir terminé le chargement.

2.2. Caractéristiques des navires :

Les caractéristiques des navires échantillonnés ainsi que leurs dernières opérations sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau5 : Caractéristiques et types des navires échantillonnés durant la sortie sur terrain.

Nom de Navire	Pavillon De Navire	Provenance	Tonnage	Ballast (m ³)	Nombre de Tanks	Date de chargement	Type de navire
RHAOUD EL ADRA	Liberia	Tarragona	12800	22304	11	01/02/2015	LPG/C
OLIB	Croatie	Bilbao	108433	34309	15	21/01/2015	TUNKER
GOLAR MARIA	Ile Mershele	Incheon	97491	55907	14	03/01/2015	LNG/C
FRITZI N	Liberia	Dortyol	58448	23717	10	25/01/2015	TUNKER
NAVIGATOR GUSTO	Liberia	Ambes	12600	16687	10	20/01/2015	TUNKER
CHEIKH EL MOKRANI	Bahamas	Fos	75500	25384	14	27/01/2015	LNG/C
SIMANO	Malta	Alcanar	5087	37920	16	07/02/2015	CARGO
ALPHA BRITANNIA	Bahamas	Tetney	56115	40203	14	13/01/2015	Tanker
SEASONG	Malta	Malte	57162	38168	16	02/02/2015	CARGO
RHOUD ENOUSS	Liberia	Cartagena	42000	15513	10	05/02/2015	LPG/C
CHIHANI	Algérie	Iskenderun	66746	55568	16	02/02/2015	TUNKER

3. Evaluation des risques.

Dans cette partie nous présentons une méthode d'évaluation du risque d'introduction des espèces invasives, en se basant sur les données recueillies lors de notre sortie.

3.1. Risque d'arrivé :

Les études scientifiques des eaux de ballast au cours de voyage, avec des fréquences de prélèvement quotidiennes, ont montrées que la densité des organismes dans l'eau de ballast décroît avec le temps. La diminution la plus significative de cette densité se produit pendant les 3 premiers jours du voyage et après 10 jours la plupart des individus ont été retrouvés morts. (Leppäkoski. E et Gollasch. S 2006). De ce fait, ce paramètre est pris en considération dans l'évaluation de ce risque. Pour calculer la durée en jours une vitesse de navire de 16 nœuds a été supposée pour l'ensemble des navires.

Tableau6 : La quantification du risque lié à la durée de voyage.

Durée de voyage (mile marin)	Durée de voyage (jour)	Quantification du risque
0- 1000	< 3	Haut risque
1000 – 3500	3 - 10	Risque modéré
> 3500	> 10	Risque faible

Nous avons utilisé la matrice ci-dessus pour estimer le risque d'introduction des espèces par les eaux de ballast pour les différents ports étudiés.

3.2. Degré de similarité environnementale (SE) :

Les facteurs physiques fondamentaux affectant la survie et la reproduction d'organismes aquatiques sont la température et la salinité. Ces deux facteurs sont introduits pour calculer le degré de similarité environnemental entre chaque port source « donneur » et le port récepteur d'eau de ballast « Arzew »

Cette similarité est estimée en utilisant la formule suivante, dont, Δt_{ij} est la différence de température entre le port récepteur i (Arzew) et l'un des ports donneurs j , ΔS_{ij} est la différence de salinité entre le port i et le port j , σ_S et σ_T comme les deux écarts type des facteurs environnementaux essentiels durant l'établissement.

$$SE = \sqrt{\left(\frac{\Delta T_{ij}}{\sigma_T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S_{ij}}{\sigma_S}\right)^2} \quad (1)$$

Cette estimation comporte un niveau modéré d'incertitude, sachant que d'autres paramètres physiques, telles que le pH, l'oxygène dissous ou la profondeur, et des facteurs biologiques tels que les interactions entre les espèces modifient le taux de survie. Cependant, les écologistes assurent que la température et la salinité donnent une estimation acceptable quant au degré de similarité des environnements entre le port source (donneur) et le port récepteur.

Pour calculer les écarts type σ_T et σ_S on a procédé comme suite :

- Ecart type de la température σ_T : On a utilisé les données de la TSM (température de surface de la mer) (Bachari.N.E.I., 2013), voir (Annexe6).

Le calcul de l'écart type se fait par la formule suivante :

$$\text{- Ecart type : } \sigma_T = \sqrt{\frac{SCE}{N}} \quad (2),$$

- N est le nombre de mesures = 12. (12 mois).
- SCE est la somme des carrés des écarts à la moyenne.

$$SCE = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Où :

- \bar{x} est la moyenne des températures en mois de Février (période de la sortie).

- Ecart type de la salinité : Pour le calcul de l'écart type de la salinité on a utilisé la salinité maximale et minimale à l'échelle annuelle. $\sigma_S = 1$.

Résultats et Discussions

Résultats et Discussions :

L'importance relative des introductions biologiques par les eaux de ballast des navires, a mené à des études approfondies pour la compréhension du phénomène et l'évaluation du risque de ces envahisseurs. Par conséquent la région d'Arzew nécessite une évaluation détaillée face à ce problème. Cette dernière constitue pour le littoral algérien une des plus importantes sources d'emplois et de revenus, à travers l'industrie pétrochimique.

Les résultats font apparaître une activité de déballastage importante par différents types de navires provenant de différentes régions du monde.

1. Quantité d'eaux de ballast par type de navire :

Les 11 navires échantillonnés ne représentent évidemment qu'une part infime du trafic maritime attribuable aux navires étrangers entrant annuellement dans les eaux du golfe d'Arzew.

La diversité des navires est également la première remarque sur le trafic maritime dans le port d'Arzew : Tanker, LPG, LNG et Cargo.

Un volume de 365680 (m³) a été déversé dans le port d'Arzew et Bethioua pendant 4 jours par les navires qu'on a arrivés à échantillonner. Cependant, cette quantité est différente d'un navire à un autre. Elle dépend de type et tonnage du navire. (Figure20)

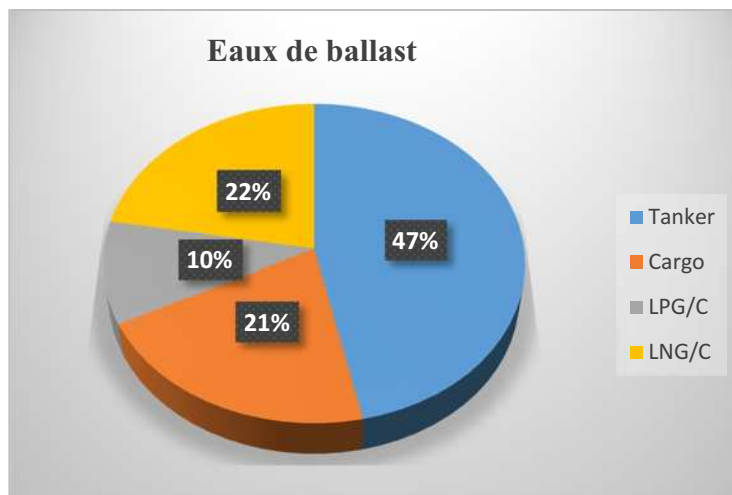


Figure20 : Quantité des eaux de ballast par type de navires.

Les Tankers qui présentent le nombre des navires les plus abondants arrivant au port d'Arzew de 4 régions différentes représentent 47% de la quantité des eaux de ballast déchargée.

Une évaluation du risque par type de navires dans ce cas sera plus efficace, ainsi que les procédures de gestion des rejets d'eaux de ballast seront spécialisées à un type définie des navires.

L'origine et la quantité des eaux de ballast est élément essentiel dans le procédé de gestion de ces rejets. Les quantités des eaux de ballast déchargées pour chaque port donneur durant la sortie sont présentes dans la figure suivante :

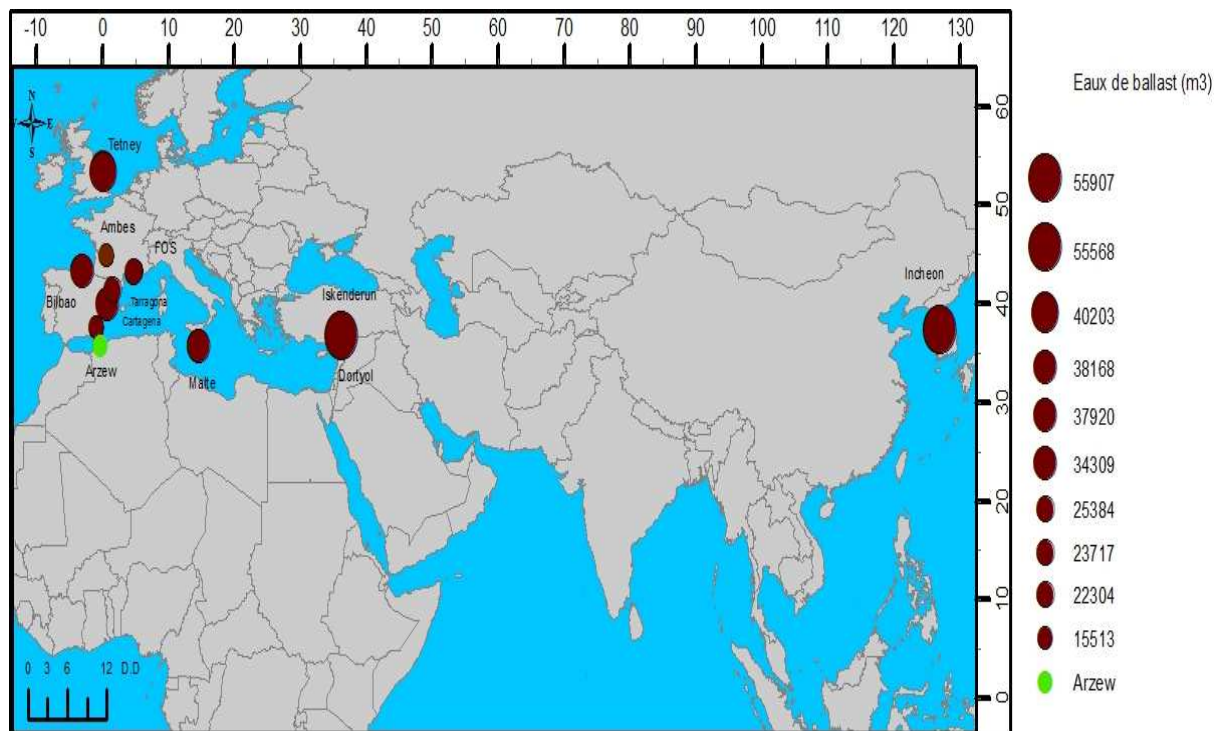


Figure21 : Les quantités des eaux de ballast par chaque port donneur.

2. Risque d'arrivée :

L'abondance et la diversité des espèces de plancton diminuent avec la durée de voyage des organismes dans les réservoirs. Cette règle a été établie par l'observation qu'un rapport inverse existe entre l'occurrence des organismes de plancton et l'âge de l'eau de ballast

Cette règle est seulement valide pour des organismes de plancton et pas pour le benthos, qui peut apparemment vivre dans des réservoirs d'eau de ballast pendant de longues périodes. (Gollasch, S et *al.* 2000).

Les durées de voyages sont comprises entre 5 jours (le port Alcanar) et 38 jours (le port Incheon) en intégrant la durée de la rade car les espèces sont encore dans les ballasts et n'ont pas été libérer dans le nouvel environnement.

Dans la quantification du risque d'introduction des espèces qui ont survie des longues durées de voyage dans les ballasts on a obtenu les résultats suivants

Tableau7 : Risque d'introduction en fonction de la durée de voyage

Le port	Durée de voyage	Quantification du
TARAGONA	9	Risque modéré
BILBAO	20	Bas risque
INCHEON	38	Bas risque
DORTYOL	17	Bas risque
AMBES	21	Bas risque
FOS	14	Bas risque
ALCANAR	5	Risque modéré
TETNEY	29	Bas risque
MALTE	11	Bas risque
CARTAGENE	9	Risque modéré
ISKENDRUN	12	Bas risque

La majorité des ports présentent un risque bas d'introduction, à cause de leur durée des voyages qui dépasse les 10 jours et qui influence sur la densité des espèces dans les ballasts, par leur exposition aux conditions défavorables pendant des longues durées.

Les eaux des ports Alcanar, Iskenderun et Tarragona peuvent présenter un risque certain d'introduction des espèces exotiques envahissantes à cause de leurs durées de voyage courtes, permettant aux espèces transportées dans les réservoirs de tolérer les conditions défavorables.

A partir des résultats obtenus dans les mesures des paramètres physico-chimiques une évaluation du degré de similarité environnementale à partir de quelques paramètres physico-chimique est effectuée.

3. Etude comparative de quelques paramètres physico-chimique :

Les données sur la salinité et la température de la colonne d'eau dans les ports, tout au long de l'année devraient être la condition minimum pour des évaluations des risques. La température et la salinité ont des impacts directs sur le développement et le succès de reproduction de tous les individus. (Gollasch., 1996) a supposé que les changements rapides de la température et de la salinité sont les facteurs principaux influençant la survie de l'espèce.

3.1. La température :

La température a été également considérée dans l'évaluation de risque, un facteur de mesure de l'approche environnementale. (Gollasch. S et *al*, 2011).

Les valeurs de la température obtenues varient d'un port à un autre et connaissent une valeur maximale de 21,07 C° pour le port d'Incheon (Corée du sud) et une valeur minimale 11,59C° pour le port Iskenderun (Turquie). En comparaison avec une température de 14,62 C° pour le port d'Arzew.

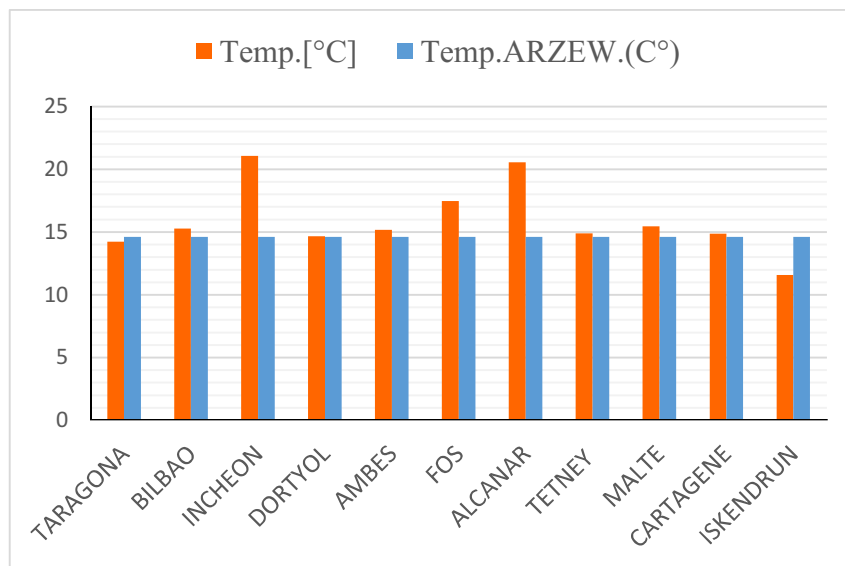


Figure22 : Comparaison des températures obtenues avec la température du port d'Arzew

Une comparaison des températures mesurées des eaux de ballast avec celle d'eaux de mer au niveau du port (Figure22) montre qu'en moyenne les températures sont similaires et cela peut être dû à la température de surface de mer qui régit principalement la température dans les réservoirs.

Cette similarité dans la température peut permettre aux espèces présentes dans les eaux de ballast de s'établir et se propager facilement sans dépenses énergétique et physiologique pour s'adapter aux changements des facteurs environnementaux du nouveau milieu et donc augmente leurs probabilité de survie. Ainsi que les espèces introduites peuvent subir des chocs thermiques si l'écart des températures des eaux est plus important.

3.2. La salinité :

La salinité est un indicateur de forte compatibilité et de survie d'espèce dans un nouvel environnement, et de l'autre côté, cette information est facilement disponible pour des régions de source et de décharge d'eau de ballast. (Gollasch. S et *al*, 2011).

Les mesures de la salinité on permet d’obtenir des valeurs très élevés, (peut arriver jusqu’à 40 psu pour certains ports et des valeurs dans la gamme de la salinité du port d’Arzew qui était 35,57 psu. (Figure 23).

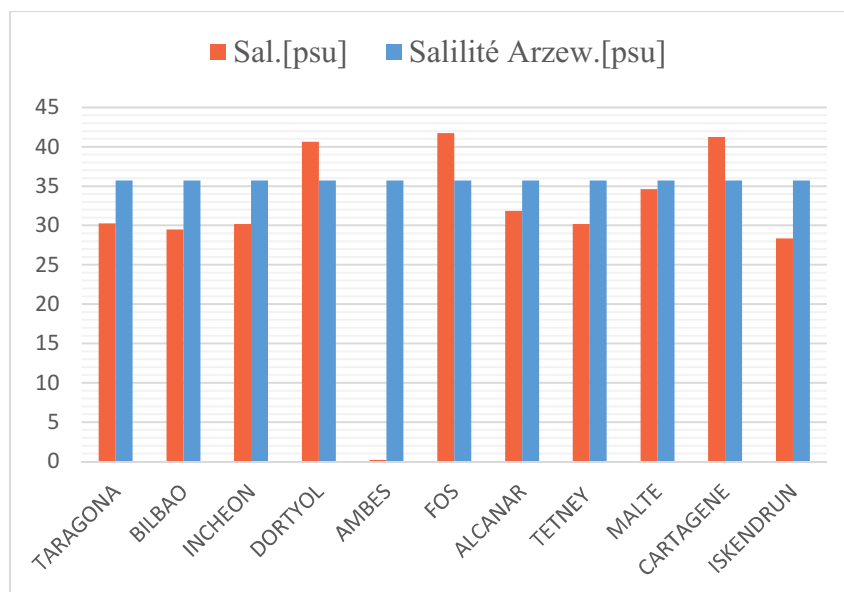


Figure23 : Comparaison des salinités obtenues avec la salinité du port d’Arzew.

La majorité des ports ont des salinités inférieures à la salinité du port d’Arzew avec des écarts importants, qui peuvent aboutir à un changement de pression osmotique et à la mort de certains organismes.

Les eaux de la méditerranée sont des eaux Euhaline dont la salinité est comprise entre 30 et 40 PSU, cela présente une barrière pour les espèces venant des eaux saumâtres ou des eaux douce. A cet effet, les espèces introduites par les eaux de ballast du port d’Ambes (France) qui a une salinité qui avoisine 1PSU, présentent une probabilité de survie très faible même pour les espèces Euhalines qui peuvent tolérer des variations importantes de salinité. C’est un port à très faible risque d’établissement.

On a enregistré pour certains ports (Cartagène, Fos et Dortyol) des salinités très élevées et cela peut être dû à la calibration de l’appareil de mesure.

4. La similarité environnementale :

Ces paramètres mesurées *in-situ* sont de bon indicateur sur les changements que vont subir les espèces directement après le diversement des eaux de ballast. Ils sont utilisés pour calculer un degré de la similarité environnemental SE, le calcul de ce degré a permis d’obtenir le tableau 10.

Tableau08 : Degré de la similarité environnementale.

Le port	SE
Malte	1,28
Dortyol	4,95
Tarragona	5,46
Tetney	5,5
Cartagena	5,54
Alcanar	6,19
Bilbao	6,23
Fos	6,48
Incheon	7,46
Iskenderun	7,77
Ambes	35,51

A partir des valeurs obtenues, la majorité des ports donneurs présentent une similarité environnementale élevée, qui peut être le facteur principale facilitant la croissance, la reproduction et la locomotion des espèces. Ces valeurs faible de SE sont due principalement à la similarité dans les températures, ainsi que les écarts type mensuelles faibles de températures et annuelle de la salinité du port d'Arzew qui était presque constante.

Le port d'ambes présente une similarité faible, ce qui se traduit par un risque de survie faible.

5. Evaluation préliminaire des risques d'introduction et de survie :

Onze mesures ont été recueillies dans l'ensemble des 11 navires échantillonnés, une brève évaluation du risque d'introduction montre que la majorité des navires présentent un faible risque d'arrivé où les espèces étaient emprisonnées pendant de longues durées, car les navires ont séjournés pendant une longue période en rade. Un risque de survie élevé était enregistré pour la majorité des ports (sauf le port d'Ambes).

Les résultats obtenus nous incitent cependant à poursuivre le travail entrepris avec les objectifs de dresser une étude plus détaillée du risque d'invasion par les organismes qui colonisent les caissons des navires entrant en eaux du port d'Arzew et de quantifier les risques d'introduction, d'établissement d'espèces non indigènes associés à ce vecteur.

Pour ce faire, l'application d'un modèle de quantification du risque biologique pourrait permettre d'établir plus clairement les risques associés à ce vecteur.

Modèle appliqué pour l'invasion biologique

Afin de mieux comprendre le risque relatif d'invasion représenté par le déchargement des eaux de ballast effectué par des navires commerciaux (transocéaniques, côtiers, etc.) dans les voies de navigation vers le port d'Arzew, nous avons réalisé une évaluation du risque d'invasion pour chaque port ayant desservi le port d'Arzew pendant une année (2014).

Cet échantillonnage d'une année nous semble suffisant pour nous donner une idée générale sur le trafic maritime globale du port d'Arzew.

Différentes sortes de modélisations des invasions existent, traitant des chemins d'invasion en général, d'un vecteur particulier d'invasion ou centrés sur l'invasion d'une espèce particulière

Dans ce chapitre nous allons entamer une étude sur le risque d'invasion biologique par les espèces exotiques en utilisant un modèle développé par (Seebens et al, 2013). Les paramètres prisent en considération dans cette évaluation sont :

Les données du trafic maritime pour le port d'Arzew pour l'année 2014, fournis par l'autorité portuaire d'Arzew (EPA).

Les paramètres physico-chimiques des ports émanent du programme Globallast (OMI), mis à notre disposition à des fins de recherche.

L'ensemble de ces données ont été récolté par l'enseignant A. Bouda de l'Ecole Nationale Supérieure Maritime.

1. Données des mouvements des navires :

L'étude du trafic maritime du port d'Arzew pour l'année 2014, fait ressortir que 1206 navires ont effectués une opération de chargement de marchandise, ce qui s'accompagne par un rejet systématique d'eau de ballast. Ces navires proviennent de 75 différentes destinations à travers le monde.

Les navires venus pour déchargés ne sont pris en compte dans cette étude, étant chargé de marchandises, leurs ballasts ne contiennent presque pas d'eau de mer. Ainsi que les conditions environnementales du dernier port d'escale de chaque navire sont utilisée dans ce travail.

Le but de ce travail est :

- Suivre une méthodologie d'évaluation du risque d'invasion biologique du port d'Arzew par les espèces transportées par les eaux de ballast.

- Appliquer un modèle d'invasion biologique et estimer le risque d'invasion pour chaque port donneur.
- Lister les ports considérés comme des « Hot spot », dont le risque d'introduire des espèces invasives dans le port d'Arzew est élevé,

Pour cela on a :

Utiliser le SIG Arc GIS 10.1 (ESRI Inc.) pour :

Représenter les ports selon leurs risques d'invasion sur des cartes.

2. Model pour l'invasion biologique marine :

Le modèle décrit dans (Seebens et al, 2013) estime la probabilité de nouvelles invasions biologiques primaires, pour chacun des 75 ports donneurs.

Ce modèle explique que cette bioinvasion est un processus à plusieurs étapes : les espèces doivent passer trois phases distinctes, qui agissent en tant que barrage successifs, avant qu'elles envahissent avec succès le port récepteur j à partir d'un port donneur i , le long de l'itinéraire r . Chaque transition est associée à une probabilité indépendante d'échec, que les espèces doivent passer pour arriver à l'étape suivant.

Un principe fondateur de la biogéographie, connu sous le nom de "Loi de Buffon", montre à quel point est hasardeux d'identifier des règles générales pour la similarité biogéographique des espèces. Soulignant que des régions aux caractéristiques environnementales similaires mais isolées géographiquement présentent des assemblages d'espèces différents. (Benoît Simon-Bouhet 2006) et par conséquent les caractéristiques biogéographiques des espèces sont des principes fondamentaux dans le processus d'invasion biologique. Ainsi qu'une espèce est considérée Aliène si elle présente des caractéristiques biogéographiques différentes à celle de la communauté autochtone.

2.1. La probabilité d'Alien :

La probabilité d'Alien décrit qu'une espèce est native dans le port i , mais n'est pas native dans le port j . Cette probabilité est estimée par la disimilarité biogéographique qu'on suppose, qu'elle augmente de façon sigmoïdale avec la distance géographique d_{ij} , entre les sites. Cette probabilité est calculée par la formule suivante.

$$P_{ij}(\text{Alien}) = \left(1 + \frac{\gamma}{d_{ij}}\right)^{-\beta} \quad (3)$$

Où : β : est un paramètre de forme strictement Positif

γ : Une échelle des caractéristiques géographiques ou la composition des espèces ne change plus.

Pour savoir l'influence de ces paramètres sur la probabilité d'Alien, on a fait changer ces paramètres dans une large gamme où :

β : Peut prendre des valeurs : < 1 , $=1$ ou >1 . Dans cette étude $\beta = 8$.

γ : Dans cette étude $\gamma = 1000$ km. Pour les invertébrés, d'autres études utilisent 100 km pour les parasites

Cette probabilité est une composante cruciale de ce modèle, elle explique le fait que la probabilité de nouvelles introductions augmente avec la dissimilarité entre les communautés biologiques du port donneur et le port récepteur. En particulier, ce terme assure que le risque d'invasion entre deux ports très proches est négligeable, ce qui est un phénomène naturel des sites proches, lesquels contiennent souvent les mêmes espèces.

Notant que cette probabilité identifie le fait qu'une espèce est étrangère, mais elle ne précise pas si cette espèce a un impact négatif sur l'écosystème du port récepteur.

Dans un premier temps, l'homme permet à l'espèce d'arriver dans une zone géographique à l'extérieur de son aire native (c'est à-dire hors de la zone géographique qu'elle peut occuper sans intervention anthropique). C'est l'introduction (Christine. L, 2012).

2.2. La probabilité d'introduction :

Le volume d'eau de ballast déversé, la durée de voyage ainsi que le taux de mortalité des espèces dans les ballasts a été utilisé pour estimer le nombre de propagules introduites dans le port d'Arzew *via* les eaux de ballast par la formule suivante :

$$P_r(\text{intro}) = \rho_r(1 - e^{-\lambda B_r})e^{-\mu \Delta t_r} \quad (4)$$

Elle dépend de la survie des espèces entrées dans les réservoirs des ballasts, qui décroît exponentiellement avec le taux de mortalité μ en fonction du temps de voyage Δt_r (Seebens et al, 2013) elle augmente avec la quantité des eaux de ballast B_r originaire du port i . λ est une constante caractéristique qui prend la valeur : $\lambda = 0,002\text{m}^{-3}$

2.2.1. Le taux de mortalité μ :

Des études récentes sur les espèces aquatique à l'intérieur des ballasts ont démontrées que le taux de mortalité (μ) est compris dans la gamme $0 < \mu < 0,3$. Ces valeurs sont conformes

avec la gamme empiriquement observée pour les invertébrés de zooplancton dans les réservoirs des ballasts (Wonham. J et *al*, 2005). Wonham *et al.* 2001 dans ses études a obtenu des valeurs comprises entre 0.02 et 0.22. Le taux de mortalité dans notre étude est estimé à 2% par jour.

2.2.2. Le facteur de traitement :

La probabilité est réduite par le facteur ρ_r due à un éventuel traitement des eaux de ballast, pour réduire le taux des espèces transportées. Ce facteur peut être spécifique pour des ports ou type de navire et permet aussi de modéliser les différents scénarios de traitement des eaux de ballasts, si par exemple l'eau de ballast est traitée régulièrement dans chaque port d'escale du navire et ρ décrit la fraction des espèces rester dans les eaux de ballast après un seul traitement, la réduction du risque sur toute la trajectoire est donnée par :

$$\rho_r = \rho^{\delta_r+1} \quad (5)$$

Où δ_r sont les « stop-over » du navire sur un itinéraire r.

Pour le port d'Arzew le traitement des eaux de ballast n'est pas encore obligatoire pour les navires. Donc on a choisis $\rho_r = 1$ (pas de traitement).

Tableau8 : l'équivalence du facteur de traitement en pourcentage.

La valeur de ρ_r	Pourcentage de traitement
1	Pas de traitement
0,75	Traitement à 25%
0,25	Traitement à 75%

Les efforts de l'OMI pour réduire au minimum le risque d'invasion biologique par la navigation sont actuellement une priorité discutée. Cette discussion a été clôturée par une convention de gestion des eaux de ballast et sédiments des navires (IMO, 2004) qui a adopté le traitement de l'eau de ballast à bord de tous les navires après l'entrée de la convention en vigueur.

Une fois introduite, l'espèce peut se reproduire et former une population viable qui se maintient au cours du temps. C'est l'établissement. Le succès d'établissement dépend essentiellement des paramètres biotiques et abiotiques.

2.3. La probabilité d'établissement :

La pression de propagule, le « lien avec l'homme » et l'adéquation des conditions environnementales entre la zone d'origine de l'espèce et la zone d'introduction apparaissent comme les facteurs essentiels du succès de cette étape (Christine. L, 2012) qui est représenté par la formule suivante :

$$P_{ij}(estab) = \alpha e^{-\sqrt{\left(\frac{\Delta T_{ijmoy}}{\sigma_{Tmoy}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{ijmax}}{\sigma_{Tmax}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{ijmin}}{\sigma_{Tmin}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S_{ijmoy}}{\sigma_S}\right)^2}} \quad (6)$$

Cette probabilité augmente avec la similarité environnementale entre le port donneur i et le port récepteur j qui est modélisé comme une fonction gaussienne de la distance Euclidienne D et la probabilité basique d'établissement α .

Pour calculer cette probabilité du processus d'invasion biologique :

- Nous avons basé sur des études bibliographiques et la règle de Williamson pour estimer la valeur de la probabilité basique d'établissement.

- Calcul de la distance Euclidienne D , à partir des paramètres physico-chimiques (salinité et température) des ports donneurs et le port d'Arzew.

2.3.1 La probabilité basique d'établissement α :

Pour estimer la valeur de cette probabilité, on a utilisé la règle de Williamson, qui prédise que parmi les espèces qui sont transportées dans un territoire non-natif, seules 10% s'y introduisent ; Les autres ne survivent pas à leur nouvel habitat. Parmi ces dernières, 10% s'y établissent : leur population reste à l'équilibre et localisée, et enfin 10% des espèces établies envahissent une vaste superficie, avec un impact plus ou moins important. (Nathalie, Becker, 2015). On a utilisé cette règle juste pour confirmer que les valeurs obtenues seront dans la gamme adopté par Williamson.

Ce dernier précise qu'à chaque étape pour les 1000 espèces qu'il a étudiées, les pourcentages ne sont pas strictement égaux à 10%, et se situent entre 5 et 20%. S'il y'a chacune des barrières :

- Importation/Introduction.
- Introduction/Etablissement.
- Etablissement/ Invasion.

Donc la probabilité pour chacune des espèces transportées de devenir invasives varie entre $(5\%)^3 = 1,25/10^4$ et $(20\%)^3 = 8/10^3$. Plus précisément selon (OMI, 1998), les études montrent que généralement, moins de **3 %** des espèces rejetées parviennent en fait à s'établir dans les nouvelles régions. Donc à partir de ces données on a adopté une valeur de $\alpha = 0,03$ pour que la probabilité d'établissement soit inférieure à 3% et qui va dépendre essentiellement de la similarité environnementale entre les régions.

2.3.2. Calcul de la distance environnementale :

Puisque la chance d'établissement d'une espèce étrangère est franchement liée à sa capacité de prospérer dans le nouvel écosystème, il est essentiel de comparer les conditions environnementales dans le port d'arrivée aux conditions dans les ports récemment visités

Nous avons choisi de modéliser la similarité environnementale basée sur la salinité et la température pour plusieurs raisons.

- D'abord, les tolérances de la salinité et la température sont connues à être les deux plus fortes causes déterminantes de la gamme de tolérance des espèces aquatiques.
- Les données de salinité et de température peuvent être facilement recueillies ou estimées pour tous les ports du globe.
- Finalement, Barry et al (2008) récemment ont estimé l'existence des outils pour calculer la similarité environnementale aquatique. Ils ont conclu que seulement les variables ambiantes connues pour être fortement associées à la survie de l'espèce doivent être employées, et suggèrent la température et la salinité en tant que les variables les plus appropriées.

Nous avons utilisé des valeurs mesurées ou estimées pour la salinité moyenne, la température moyenne pendant le mois le plus chaud, la température moyenne pendant le mois le plus froid et la température moyenne annuelle (tous de l'eau de surface).

Nous avons calculé l'écart type de la température du port d'Arzew à partir de la température de surface de la mer (TSM), (Bachari N.E.I., 2013).

Pour la salinité, on a calculé l'écart type à partir de la valeur maximale et minimale qui était de l'ordre de 36 à 38‰ psu (Bouras et al, 2007), ce qui correspond à $\sigma_s = 1$

Pour chacun des 75 ports étudiés. Les trois variables de la température ont été employées parce que en moyenne la température annuelle donne une bonne indication du climat général de la zone globale (par exemple, tempéré contre tropical).

Les températures maximum et minimum peuvent également être des fortes causes déterminantes l'étendu des espèces. Une simple valeur de la salinité a été employée pour chaque port parce que les plupart ont une salinité stable (marine ou d'eau douce) et parce qu'il n'était pas possible d'estimer la magnitude des fluctuations à ports d'estuaire, qui ont des fluctuations quotidiennes et saisonnières de salinité.

Ces paramètres sont utilisés pour calculer la distance Euclidienne par la formule suivante :

$$D = \sqrt{\left[\left(\frac{T_{i\text{moy}}-T_{j\text{moy}}}{\sigma_{T\text{moy}}}\right)^2 + \left(\frac{T_{i\text{max}}-T_{j\text{max}}}{\sigma_{T\text{max}}}\right)^2 + \left(\frac{T_{i\text{min}}-T_{j\text{min}}}{\sigma_{T\text{min}}}\right)^2 + \left(\frac{S_{i\text{moy}}-S_{j\text{moy}}}{\sigma_S}\right)^2\right]} \quad (7)$$

Où :

D : la distance Euclidienne.

- $T_{i\text{moy}}, T_{i\text{max}}, T_{i\text{min}}$: Sont respectivement les températures moyenne, maximal et minimale du port i
- $T_{j\text{moy}}, T_{j\text{max}}, T_{j\text{min}}$: Sont respectivement les températures moyenne, maximale et minimale du port j (Arzew)
- $\sigma_{T\text{moy}}, \sigma_{T\text{max}}, \sigma_{T\text{min}}$: Sont respectivement les écarts type de la température moyenne, maximale et minimale du port d'Arzew.
- $S_{i\text{moy}}$: La salinité moyenne du port i
- $S_{j\text{moy}}$: La salinité moyenne du port j (Arzew)
- σ_S : Ecart type de la salinité du port d'Arzew.

Pour les températures et la salinité de la surface de la mer du port d'Arzew, on a utilisé des mesures suivantes :

Tableau9 : Les valeurs de Température et Salinité du port d'Arzew en 2014. Source l'OMI.

	Max	Min	Moyenne
Température (C°)	23,4	14,5	19
Salinité (psu)	37,0	36,0	36

Pour la température et la salinité des autres ports voir **Annexe (3)**.

Bien que le modèle prend en compte les voies de navigation indirectes entre le port donneur et récepteur à travers les stop-over le long du trajet (on a estimé dans notre étude que les navires

font un seul itinéraire vers le port d'Arzew) en mer, il ne considère pas les invasions secondaires dues au processus de « *stepping-stone* » ni la diffusion supplémentaire de l'espèce après l'établissement, ni de leurs impacts sur les écosystèmes réceptifs.

2.4. La probabilité d'invasion :

Assumant que ces trois probabilités sont indépendantes, leur produit détermine la possibilité d'une nouvelle invasion par les eaux de ballast déchargé provenir d'un mouvement particulier r d'un navire.

Ici une invasion primaire se rapporte à l'établissement de nouvelles espèces introduites de leur gamme géographique indigène vers le port d'Arzew. Cette probabilité est estimée par la formule suivante :

$$P_{ij}(\text{Inv}) = 1 - \prod_{r_{ij}} [1 - P_{ij}(\text{Alien}) P_r(\text{Intro}) P_{ij}(\text{Estab})]. \quad (8)$$

Le risque total d'invasion $P_{ij}(\text{inv})$ du port i au port j (c.à.d. la probabilité d'observer finalement une invasion primaire durant la période d'étude) est le complément de la probabilité des espèces qui n'ont pas réussi à envahir le milieu sur toutes les routes r_{ij} qui relient les ports i et le port d'Arzew. Finalement un risque d'invasion peut être estimé pour le port d'Arzew.

2.5. Le risque de nouvelle invasion :

Le risque d'une nouvelle invasion au port d'Arzew est obtenu par agrégation des risques d'invasion de tous les ports donneurs.

$$P_j(\text{Inv}) = 1 - \prod_i [1 - P_{ij}(\text{Inv})]. \quad (9)$$

Les risques d'invasion agrégés peuvent être pareillement obtenus pour différents navires, type de navires, port, régions géographique ou écosystème.

Résultats de la modélisation

1. Données de mouvements des navires :

En 2014, le port d'Arzew a réceptionné 1206 navires venant de différentes régions du monde, la majorité de ces navires sont destinés au chargement des hydrocarbures.

1.1. Type de navires :

Le type de navire, sa grosseur et les modèles d'activités commerciales influent sur les risques d'envahissement associés à un navire en particulier. Les navires marchands tels que les vraquiers et les navires -citernes sont grandement susceptibles de propager des espèces non - indigènes par leur eau de ballast. (MPO. 2012).

Le port d'Arzew est fréquenté par des navires LPG, LNG, TANKER spécialisés principalement dans le transport des hydrocarbures (Figure 24) Dans ce cas précis, la quantité d'eau de ballast rejetée est plus importante que pour des bateaux transportant des produits chimiques ou des minerais.

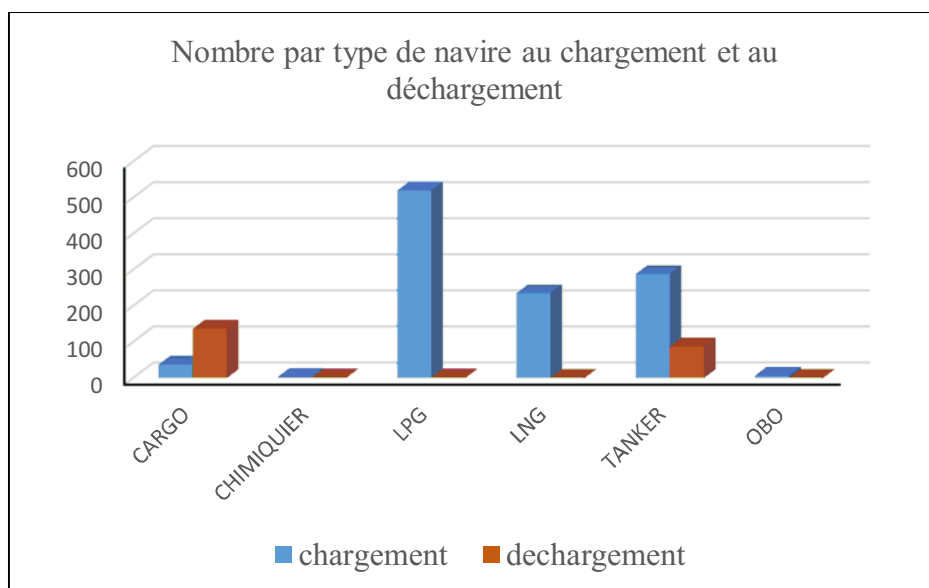


Figure24 : Nombre par type de navire au chargement et au déchargement

Une évaluation de risque par type de navire peut être appliquée aux navires LPG, qui sont les plus dominants dans le port d'Arzew. Cette évaluation peut aboutir à l'adoption des réglementations et des procédures de contrôle, qui sert à une gestion efficace des eaux de ballast de ces navires.

Les navires en état de chargement présentés principalement par les CARGOS et les TUNKERS ne possèdent pas un risque d'introduction des espèces exotique.

Ces navires ne transportent pas de l'eau dans leurs réservoirs des ballasts. Après déchargement de leur tonnage ils prennent l'eau de notre port comme ballast pour assurer l'équilibre à vide.

1.2 Nombre de voyages :

Des arrivées plus fréquentes des navires d'un port distributeur peuvent augmenter le risque des décharges d'eau de ballast de ce port en augmentant de ce fait la probabilité d'établissement d'espèce dans le port réceptif. (Gollasch, S et *al.* 2000).

Le nombre de voyages vers le port d'Arzew était différent d'un port à un autre, il est compris entre 1 et 95 voyages. (Figure25). Cependant, une arrivée de voyage peut déjà être suffisante pour introduire une espèce.

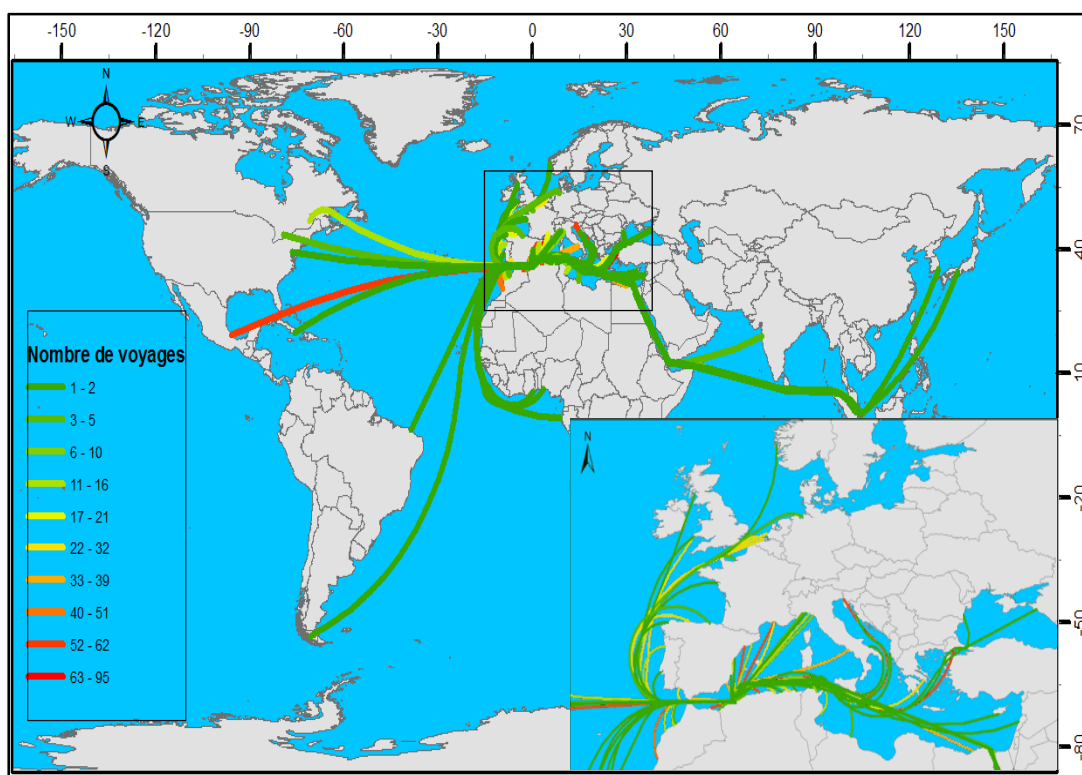


Figure25 : Nombre de voyages entre les ports donneurs d'eaux de ballast et le port d'Arzew

Le port de Fos, Tekirdag et Alger présentent un nombre de voyage qui dépasse 60 voyage/an vers le port d'Arzew. Cette pression d'arrivée des navires augmente la chance d'introduction des espèces indésirables. Cependant un nombre de voyages élevé ne signifie pas toujours une quantité de ballast importante. Une comparaison entre le port de Gibraltar et Nador favorise ce résultat. (Tableau 12).

Tableau11 : Comparaison entre le nombre des voyages et la quantité des eaux de ballast de deux ports distinctes

Port	Nombre de voyages	Quantité de ballast (m ³)
Gibraltar	46	1049120
Nador	59	94598

En dehors de la méditerranée un nombre de voyage faible est enregistré pour la majorité des ports donneurs, qui sont répartis sur différents biorégions.

1.3 Quantité et origine des eaux de ballast :

L’origine et la quantité des eaux de ballast sont des facteurs essentiels influençant le risque d’introduction des espèces exotiques. Nos résultats indiquent une large variance dans le nombre des déchargements et le volume annuel des eaux de ballast déchargées.

La quantité des eaux de ballast déchargées dans le port d’Arzew dans l’année 2014 est estimée au voisinage de 14983277 m³, elle varie d’un port a un autre (de 1466115 m³ pour le port de Tekirdag à 718 m³ pour le port de Bari).

Certains ports en dehors de la Méditerranée sont considérés présentant un risque d’introduction des espèces exotiques, en se référant à leurs quantités d’eaux de ballast rejetés dans le port d’Arzew. (Figure26).

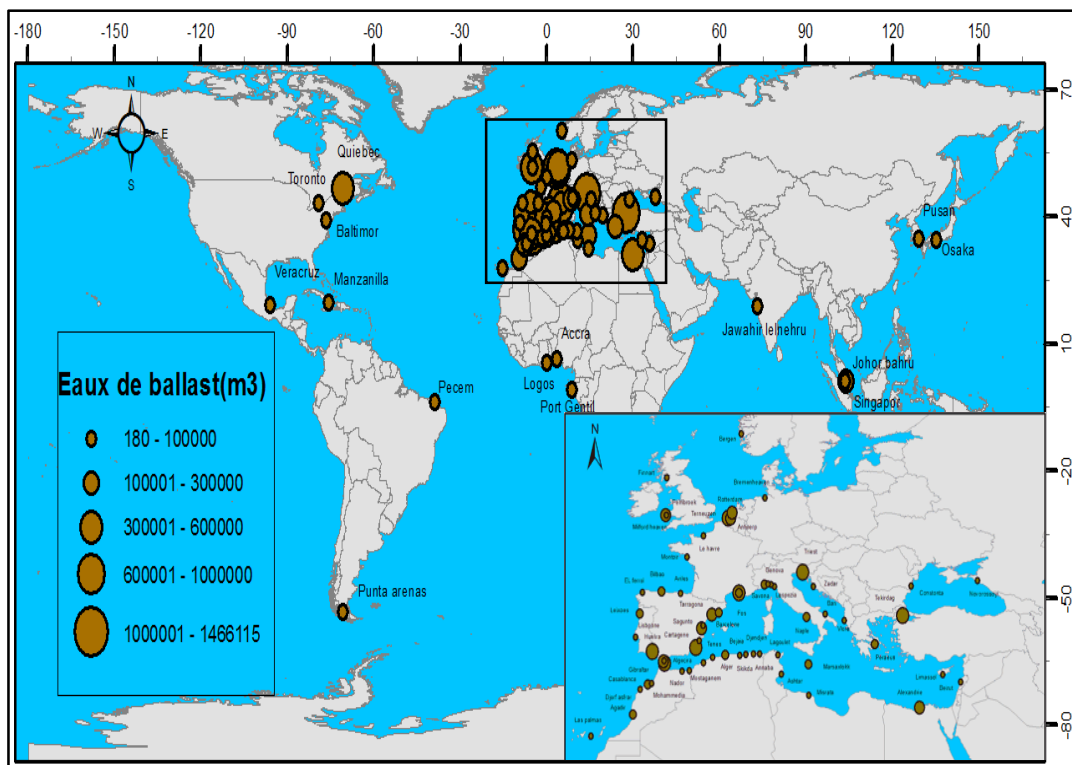


Figure26 : Les quantités des eaux de ballast par ports donneurs.

Dans la méditerranée, le port de Triest, Fos, Gibraltar et Cartagena sont des sources des quantités d’eaux de ballast importantes. Alors qu’en dehors de la méditerranée le port de Québec, Rotterdam, et Antwerp sont les ports donneurs de la majorité de quantités de ballast

Le classement des premiers Quinze ports donneurs par quantité de ballast déchargée au port d’Arzew en (%) a permis d’obtenir la figure suivante :

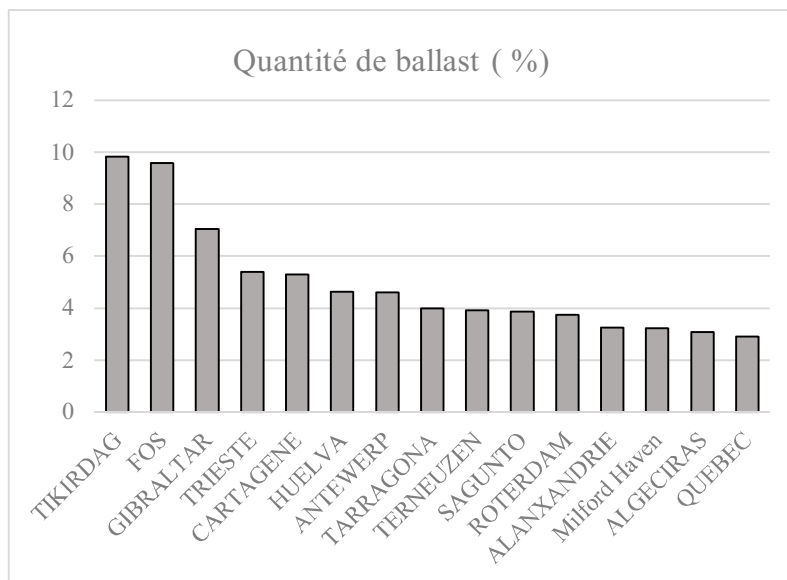


Figure27 : Les premiers quinze ports par quantité de ballast en (%)

Les premiers Quinze ports représentent une quantité des eaux de ballast de 11091547 m³, ce qui correspond à 74,37% de la quantité totale, parmi eux les ports de Fos et Tekirdag présentent chacun 10% des quantités d’eaux de ballast déchargées,

Le classement des ports sur une carte des biorégions marine a permis d’obtenir la quantité de ballast par chaque biorégion, les dix premières biorégions sont présentes dans la figure (28).

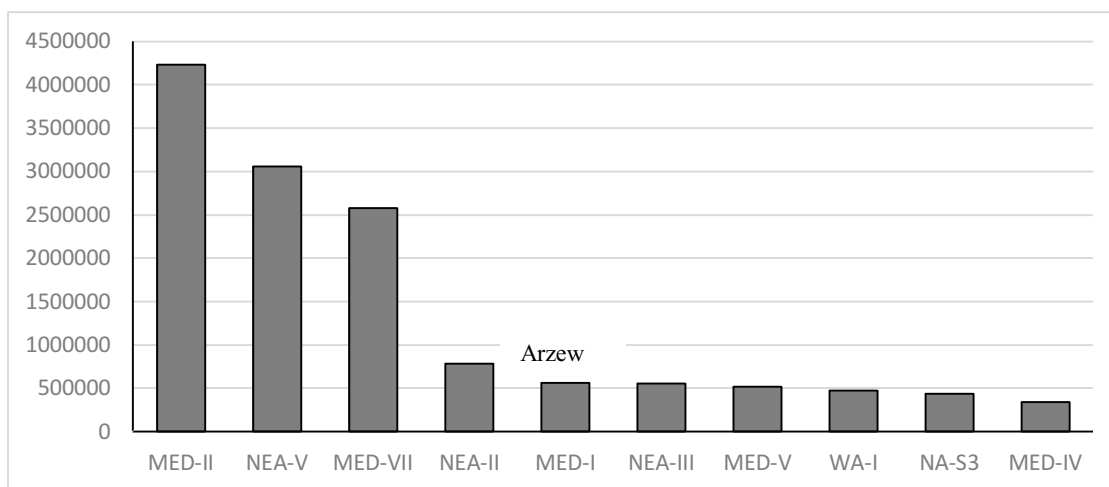


Figure28 : La quantité de ballast en (m³) par biorégion.

Les biorégions : MED-II, NEA-V et MED-VII, représentent la source de $\frac{3}{4}$ de la quantité des eaux de ballast déchargée dans le port d'Arzew, cela peut permettre d'estimer les caractéristiques qualitatives et quantitatives des espèces introduites, leurs niches écologiques, ainsi que les paramètres physico chimiques.

Une bioregion représente la similarité environnementale des aires géographiques. Ainsi si une espèce est trouvée établie dans une part d'un bioregion, il y a de fortes chances qu'elle peut écarter par l'intermédiaire des processus naturels ou humains à d'autres endroits dans le même bioregion. (Alexandrov, B et al, 2003). De ce fait plusieurs travaux récents prennent comme objet d'étude, l'invasion secondaire quand une espèce envahissante utilise le nouveau milieu comme « stepping stone » dans un ordre des invasions où elle va s'écarter de son secteur endémique vers d'autres régions qui deviennent l'origine pour d'autres diffusions.

2. Risque d'Alien :

La similarité en composition des espèces entre deux communautés diminue souvent quand la distance entre elles augmente. Tandis que ce phénomène de similarité qui diminue avec la distance est un modèle commun en biogéographie, le taux réel à laquelle la similarité diminue avec la distance est récemment adopté. (David W. Thieltges et al 2009).

Le choix de la valeur de γ est basé sur des études bibliographiques qui considèrent qu'à partir de 1000 Km la composition biogéographique des espèces change (Seebens et al., 2013).

On a constaté que γ varie d'un port à un autre, mais pour un port donné i , γ est constante.

La probabilité d'Alien diminue chaque fois γ augmente, et la pente des courbes décroissantes dépend de la distance entre les sites (figure29), où : d (km) est la distance géographique entre le port i et le port d'Arzew, γ en (km), $P_{ij}(\text{Alien})$ est la probabilité d'Alien.

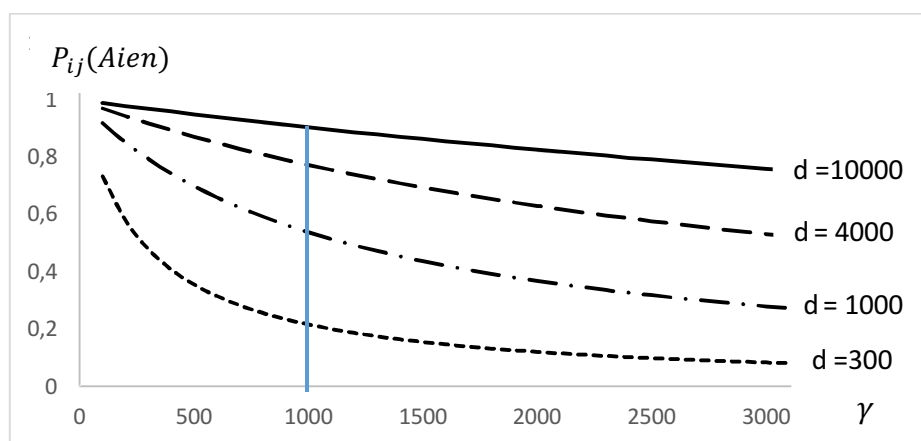


Figure29 : $P_{ij}(\text{Alien})$ en fonction de γ pour des différentes distances.

- Le paramètre de forme β est un nombre pur (sans unité), sa valeur est obtenue à partir des paramètres utilisés dans ce modèle. Le tableau12 représente la probabilité d'Alien en fonction de β .

Tableau12 : La probabilité d'Alien en fonction de β .

La valeur de β	$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta = 8$
La probabilité	[0,153 - 0,975]	[0,023 - 0,952]	[9 E-14 - 0,675]
La distance (km)	24 - 20051	24 - 20051	24 - 20051

P_{ij} (Alien) est inversement proportionnelle au paramètre β . La figure (29) présente le changement de la probabilité d'Alien en fonction de ce paramètre pour des différentes distances géographiques.

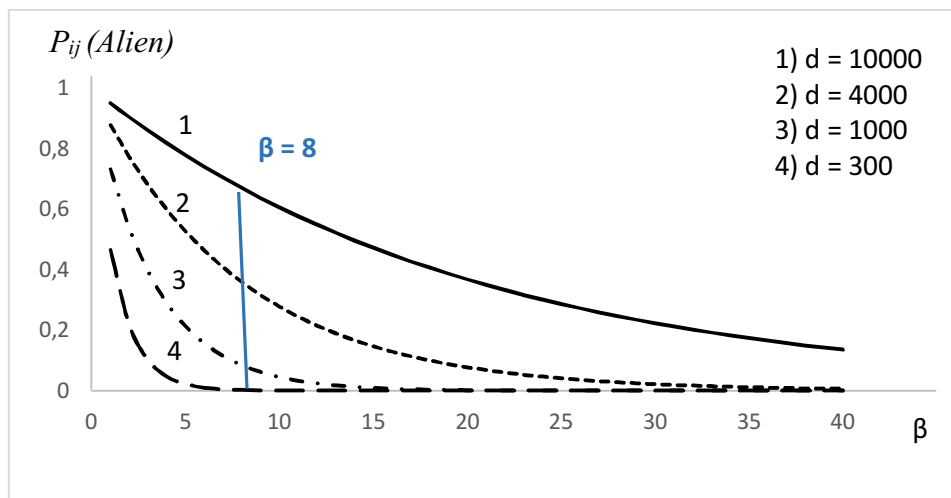


Figure30 : la probabilité d'Alien en fonction de β pour des différentes distances.

Les ports donneurs i ont des distances comprises entre 24 Km pour le port de Mostaganem et 20051 km pour le port d'Osaka au Japon. 57,46% de ces ports ont des distances intermédiaires entre 1059 – 4017 km. Le tableau (14) représente un classement de niveau de risque par intervalles de distance et probabilité d'Alien.

Tableau13 : Le niveau de risque d'Alien en fonction de la distance géographique.

La distance(Km)	Nombre de ports	Probabilité	Niveau de risque
24-1000	22	< 0,005	Bas risque
1000 - 4000	35	0,0051 - 0,168	Risque modéré
4001 - 20051	18	0,17 – 0,68	Haut risque

La probabilité d'Alien est en fonction de la distance entre les ports, les ports qui ont les plus grandes distances ont des probabilités importantes et vice-versa. Une évaluation du risque

d'Alien en fonction de la distance géographique a permis de présenter le niveau de risque pour chacun des ports donneurs *i*. (Figure31).

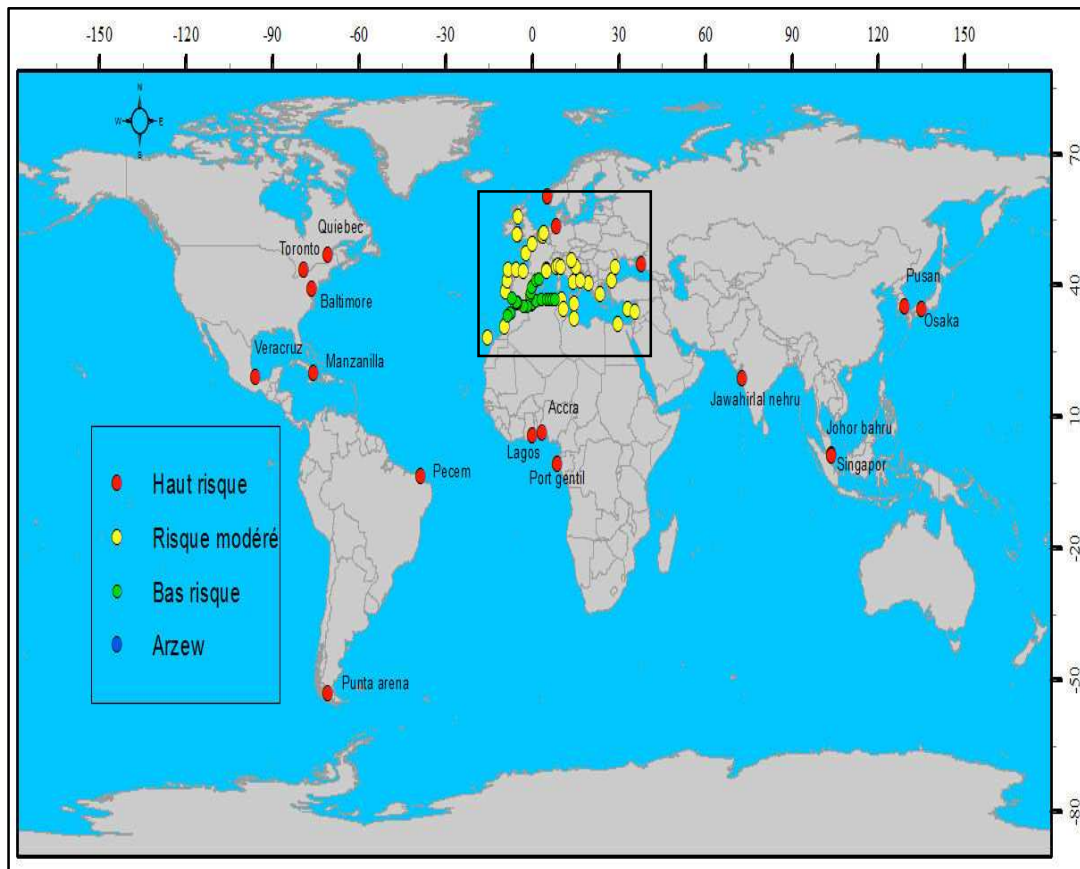


Figure 31 : Carte de la probabilité d'Alien.

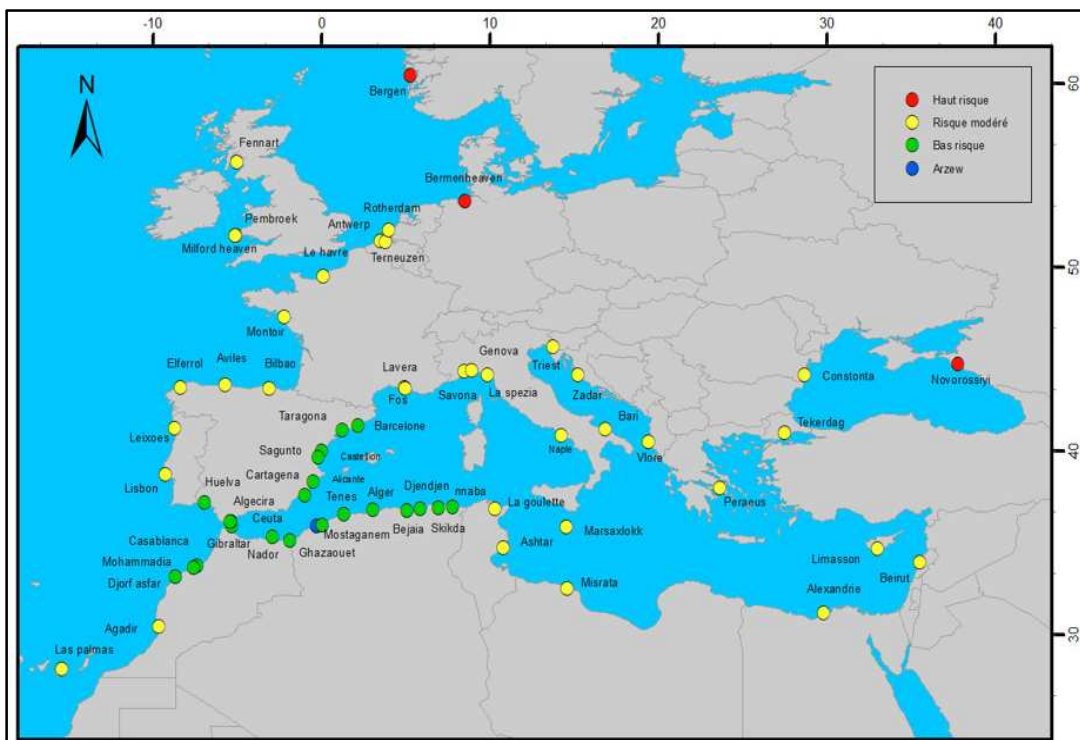


Figure32 : Carte de la probabilité d'Alien. (Zoom)

Les ports de la Méditerranée Ouest, qui s'éloignent moins de 1000 km du port d'Arzew présentent un risque d'Alien faible, qui désigne une similarité dans les caractéristiques biogéographiques des espèces et l'absence des barrières environnementales. (même biorégion).

Les ports de la Méditerranée Est et le Nord- Est de l'Atlantique ont des distances géographiques qui sont comprises entre 1000 et 4000 km. A partir de ces régions on peut considérer la présence des espèces Aliènes.

Les espèces vivantes dans les ports donneurs qui s'éloignent plus de 4000 km du port d'Arzew sont des espèces Aliènes, qui présentent des écarts important dans leurs compositions biogéographiques par rapport aux espèces indigènes dans le port d'Arzew. Leur présence dans le nouvel environnement ne peut pas être naturel (présence de barrières environnementales), mais à cause d'un vecteur d'introduction volontaire ou involontaire.

3. Risque d'introduction :

L'objectif de cette étape est d'évaluer le risque d'introduction des espèces exotiques par les eaux de ballast. Elle dépend de la durée des voyages, la quantité des eaux de ballast, le taux de mortalité des espèces transportées et le facteur de traitement de ces eaux.

La survie des espèces dans les ballasts des navires dépend essentiellement de la durée du traversé. Cette dernière qui varie entre 0,036 et 30,075 jour, joue un rôle important dans la détermination du risque d'introduction.

Parmi les 75 ports donneurs, 46,66% ont une durée des voyages inférieur à 3 jours, ce qui favorise le risque d'introduction, car il y'a un rapport inverse entre la durée de voyage et la survie des propagules, ainsi que le plancton peut survivre les conditions environnementales et peut résister à la prédation et à la concurrence à l'intérieur des ballasts dans une période plus courte (Gollasch. S et al., 2010).

Ces courtes durées de voyage influencent directement sur le taux de mortalité des espèces, en favorisant leur résistance aux conditions défavorables dans les eaux et les sédiments de ballast.

Inversement aux effets de la durée de voyage sur la survie des espèces, la probabilité d'introduction varie dans le même sens que le facteur de traitement ρ_r . En effet, la diminution de ce facteur réduit la densité des organismes et par conséquent réduit le risque d'introduction.

L'influence de chacun de ces paramètres tout seul ne peut pas être estimée. Une compilation des résultats de calcul de tous ces paramètres, Le classement des valeurs de cette probabilité par ordre décroissant a permis d'obtenir l'évaluation du risque suivante. (Figure33).

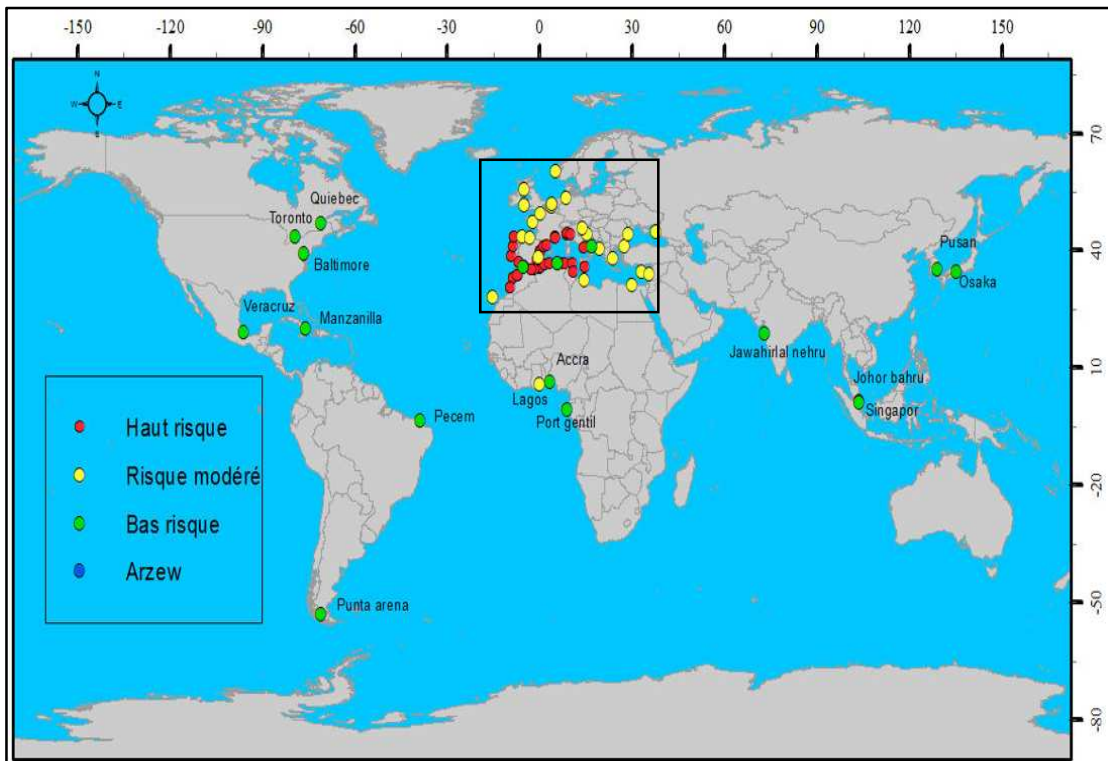


Figure33 : Carte du risque d'introduction.

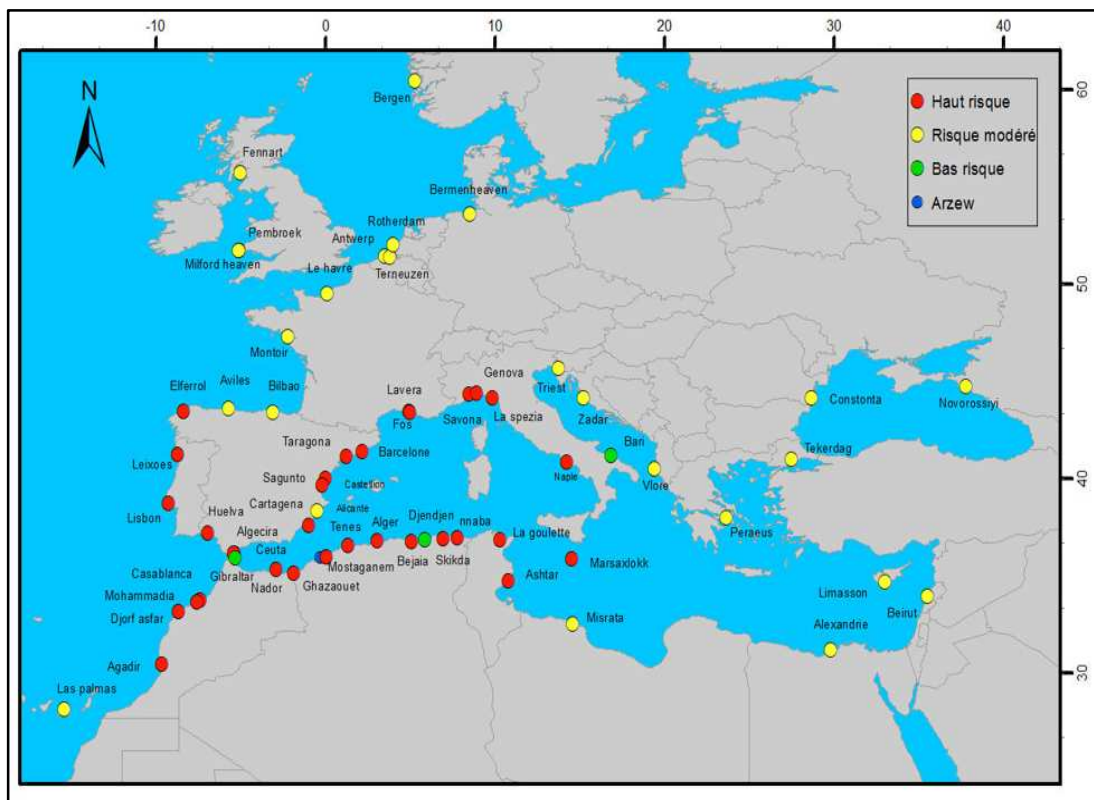


Figure 34 : Carte de risque d'introduction. (Zoom).

La majorité des ports donneurs dans l'Ouest de la méditerranée présentent un haut risque d'introduction, cela est logique vu les courtes durées de voyages et la pression des propagules (Quantité des eaux de ballast et nombre d'arrivée des navires). Alors que les ports de la mer Noire, l'Est de la méditerranée et Le nord-Est de l'Atlantique montrent généralement un risque moyen d'introduction.

Les autres ports à travers le globe présentent un faible risque d'introduction qui est dû essentiellement aux longues durées de voyage.

A partir de ces résultats, nous avons déduit que chacun des paramètres étudiés influe directement sur le risque d'introduction, mais la durée de voyage joue le rôle principal dans le calcul de la probabilité d'introduction.

Les ports intérieurs (Sauf le port de Djendjene) ont un risque d'introduction élevé, vu qu'ils possèdent des durées de voyages courtes et des quantités de ballast plus au moins importantes. (Figure36). Cela peut aboutir à une propagation secondaire des espèces déjà introduites dans ces ports à travers leur trafic maritime avec d'autres ports du globe.

3.1. La propagation secondaire :

Bien que la plupart des navires et les eaux de ballast déversées proviennent de ports étrangers, les ports intérieurs côtiers peuvent contribuer à un apport de propagules au port d'Arzew, à cause de la courte durée des transits, et la plus grande similarité entre les ports sources et le port récepteur. (Figure35).

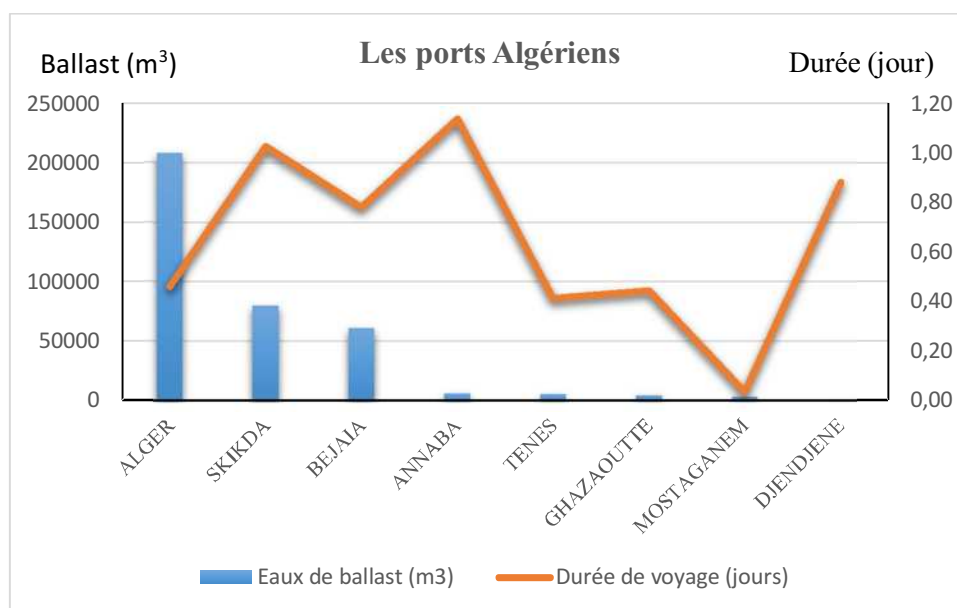


Figure35 : La quantité de ballast et la durée de voyage des ports intérieurs

Les ports d'Alger, Skikda et Bejaia sont des ports récepteurs/ sources des quantités de ballast importantes. Ces ports peuvent être une source des espèces envahissantes transportées vers le port d'Arzew par les eaux de ballast.

4. Risque d'établissement :

Le succès d'établissement dépend d'un grand nombre de paramètres biotiques et abiotiques. La pression de propagule, le « lien avec l'homme » et l'adéquation des conditions environnementales entre le port donneur et la zone d'introduction. (Christine, Lauzeral, 2012).

Cette probabilité est calculée à partir de la probabilité basique d'établissement représenté par α et la similarité environnementale représenté par la distance Euclidienne D.

4.1 Probabilité basique d'établissement :

Le taux de survie des espèces après déchargement dépend de la richesse biologique dans la zone réceptrice, l'implantation étant facilitée lorsque les conditions sont similaires en termes par exemple de qualité et densité des espèces.

Les études montrent que généralement, moins de 3 % des espèces rejetées parviennent en fait à s'établir dans les nouvelles régions. (OMI, 1998). Les valeurs de la probabilité d'établissement obtenues ne dépasse pas 0,03. Cela veut dire que le risque d'établissement est $< 3\%$ pour les ports qui représentent une similarité environnementale totale et qui diminue chaque fois la distance environnementale augmente.

4.2 La distance Euclidienne :

Le calcul de la distance Euclidienne dans un espace de quatre (4) dimensions (salinité plus les trois dimensions de la température), a permis de classer les 75 ports donneurs en quatre (4) classes différentes, où les valeurs les plus faible de la distance Euclidienne représente un très haut risque d'établissement vis-versa

Le calcul des écarts types a permet d'obtenir les valeurs suivantes :

- $\sigma_{T_{moy}} = 3,54$,
- $\sigma_{T_{max}} = \sigma_{T_{min}} = 2,32$
- $\sigma_S = 1$.

Un système de rang pour la similarité environnementale et les conséquences d'établissement des espèces non indigènes dans l'environnement récepteur, a permis d'obtenir un classement du niveau de risque en fonction de la distance Euclidienne. Le tableau 14 représente le niveau de risque d'établissement en fonction de la distance Euclidienne, ainsi que les résultats de $P_{ij}(\text{Estab})$ et le nombre de ports donneur correspond à cette probabilité.

Tableau 14 : Le niveau de risque d'établissement en fonction de la distance Euclidienne. (Farrah, T et al, 2013).

La distance Euclidienne	Nombre de ports	$P_{ij}(\text{Estab})$	Niveau de risque
0,00- 1,4	18	0,027- 0,014	Très haut risque
1,41- 2,80	15	0,013- 0,006	Haut risque
2,81- 4,20	7	0,0058-0,002	Risque modéré
> 4,21	35	<0,002	Bas risque

La validation de ces résultats de la similarité environnementale entre les ports donneurs et le port d'Arzew à long terme, dépend essentiellement des changements dans les paramètres physico-chimiques des ports donneurs parce que le port d'Arzew et Bethioua montre une stabilité de la masse d'eau d'un point de vue physico-chimique et qui présentent des faibles variations durant les différentes situations. (Grimes S., 2010), elle dépend aussi des paramètres biotiques, sachant que le golf d'Arzew présente une richesse spécifique restreinte (21,27 – 25,29 espèces/ 0,25m²). (Grimes S., 2010) et que c'est le potentiel biotique qui définit la capacité à envahir le milieu, capacité variable en fonction du milieu proprement dit, des phénomènes de compétition qui s'y déroulent et des prédateurs en place il n'intervient que plus tard, une fois la phase d'établissement accomplie. Par conséquent l'installation des espèces envahissantes dans le port d'Arzew est facilitée par une faible biodiversité indigène

La combinaison de ces résultats et l'adoption de ce classement ont permis de présenter le risque d'établissement des espèces pour chaque port donneur sur la carte suivante :

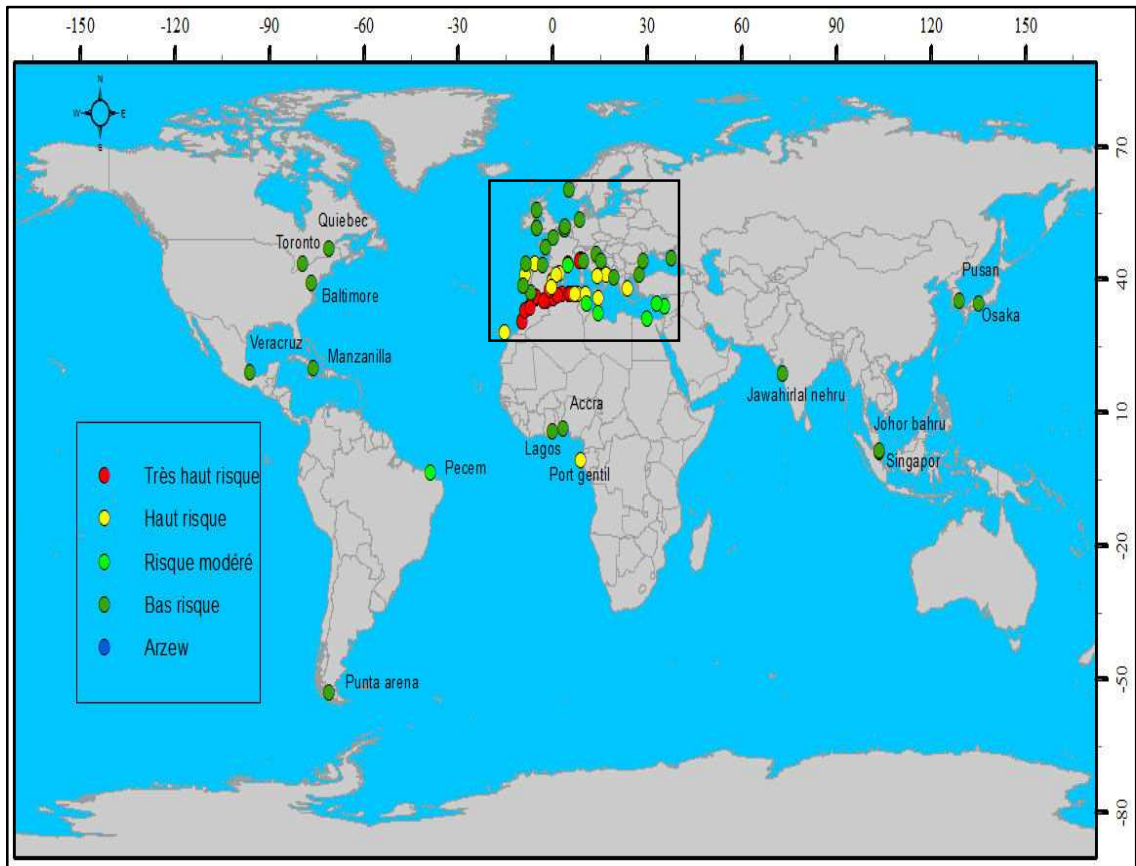


Figure36 : Carte présente le risque d'établissement

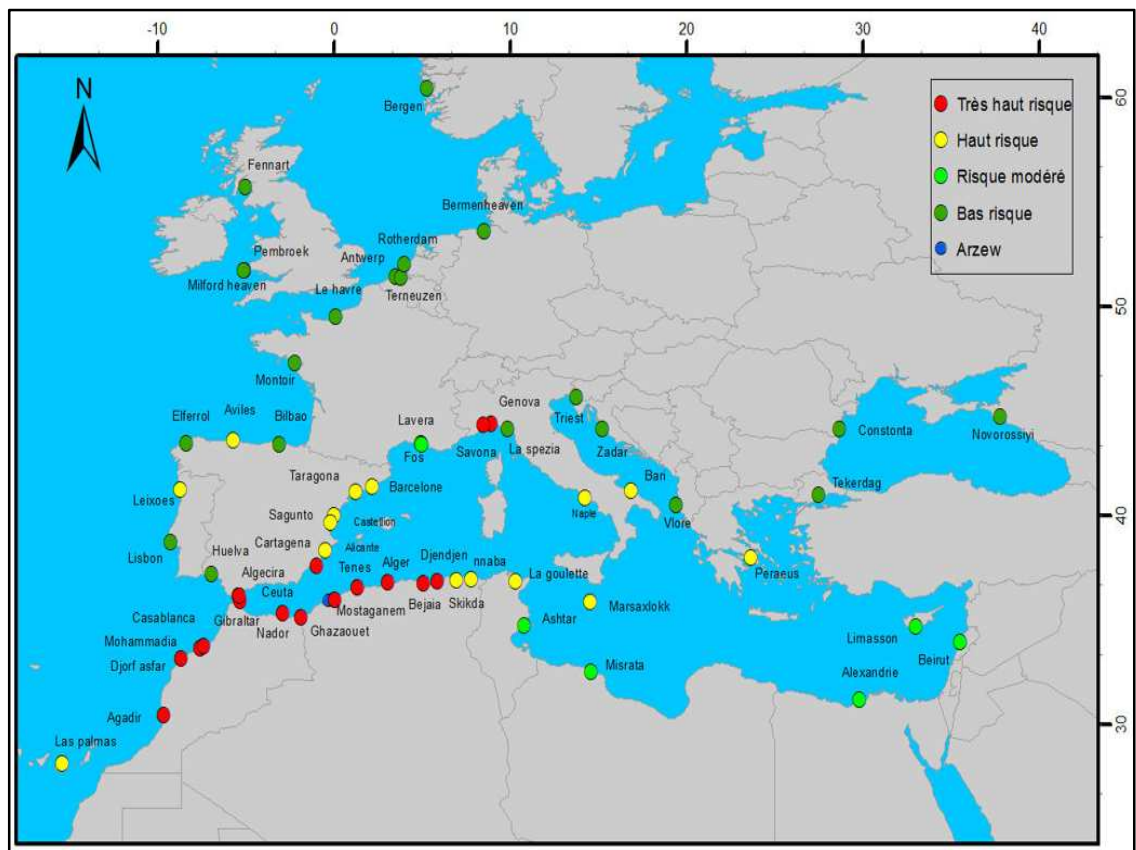


Figure 37 : Carte présente le risque d'établissement. (Zoom).

Les résultats obtenus montrent un risque d'établissement très élevé pour les ports de la côte-Ouest du Maroc, le détroit de Gibraltar et les ports intérieurs, qui est une conséquence évidente vu la similarité environnementale dans cette région.

Les ports de la mer Noire présentent un faible risque d'établissement, cela est expliqué par les écarts importants dans la salinité entre les deux environnements.

Les faibles valeurs de la température des ports de la mer du Nord, ainsi que la majorité des ports du Nord-Est de l'Atlantique sont un facteur inhibiteur de la survie des espèces de ces régions dans le port d'Arzew.

5. Risque d'invasion :

La probabilité d'Alien, d'introduction et d'établissement ont été combinées dans une probabilité finale d'invasion, cette probabilité est estimée pour chaque port donneur *i*.

Il faut néanmoins noter que toutes les espèces exotiques introduites ne franchissent pas l'ensemble de ces étapes, et que le phénomène d'invasion biologique peut être arrêté à chacune des étapes introduction, établissement ou propagation.

Les probabilités d'invasion calculées montrent une forte hétérogénéité géographique, où la majorité des ports donneurs sont peu susceptible d'être des sources de nouvelles introductions primaires par l'intermédiaire des eaux de ballast dans le port d'Arzew.

Le classement adopté est basé sur un ordre décroissant des probabilités obtenues. Par conséquent le risque d'invasion élevé est concentré sur un nombre restreint des ports donneurs (Figure38)

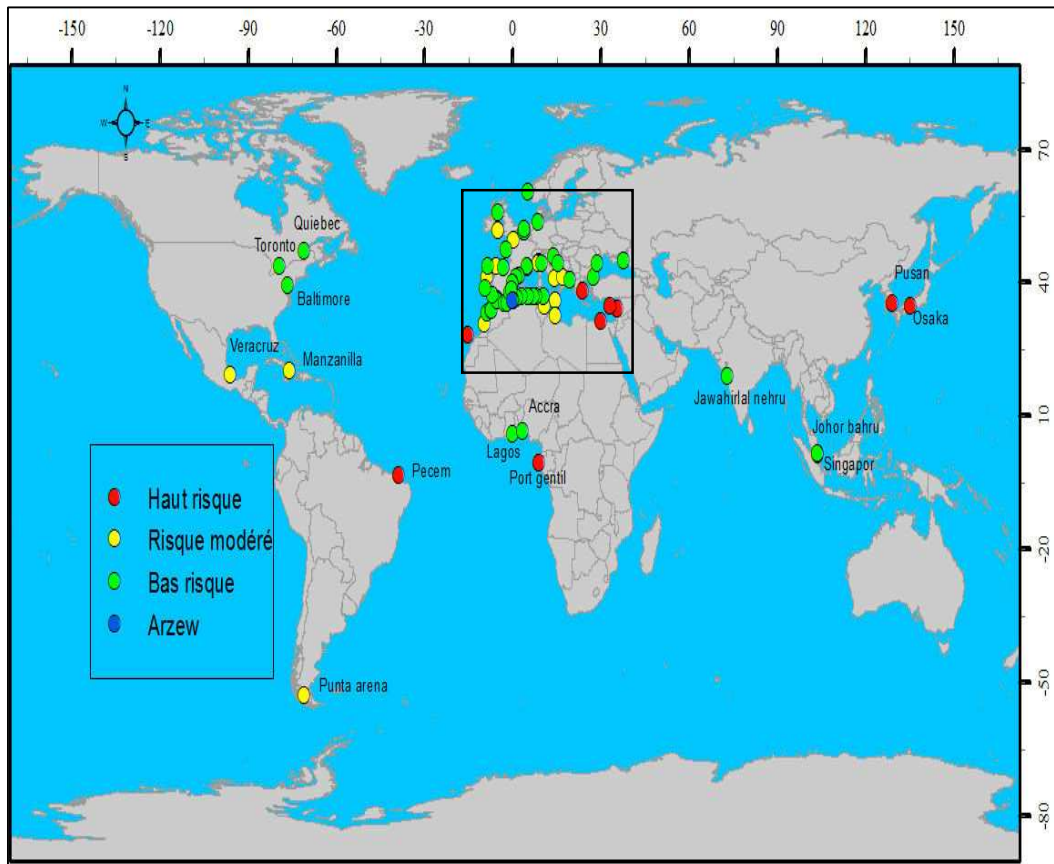


Figure38 : Carte présente le risque d'invasion

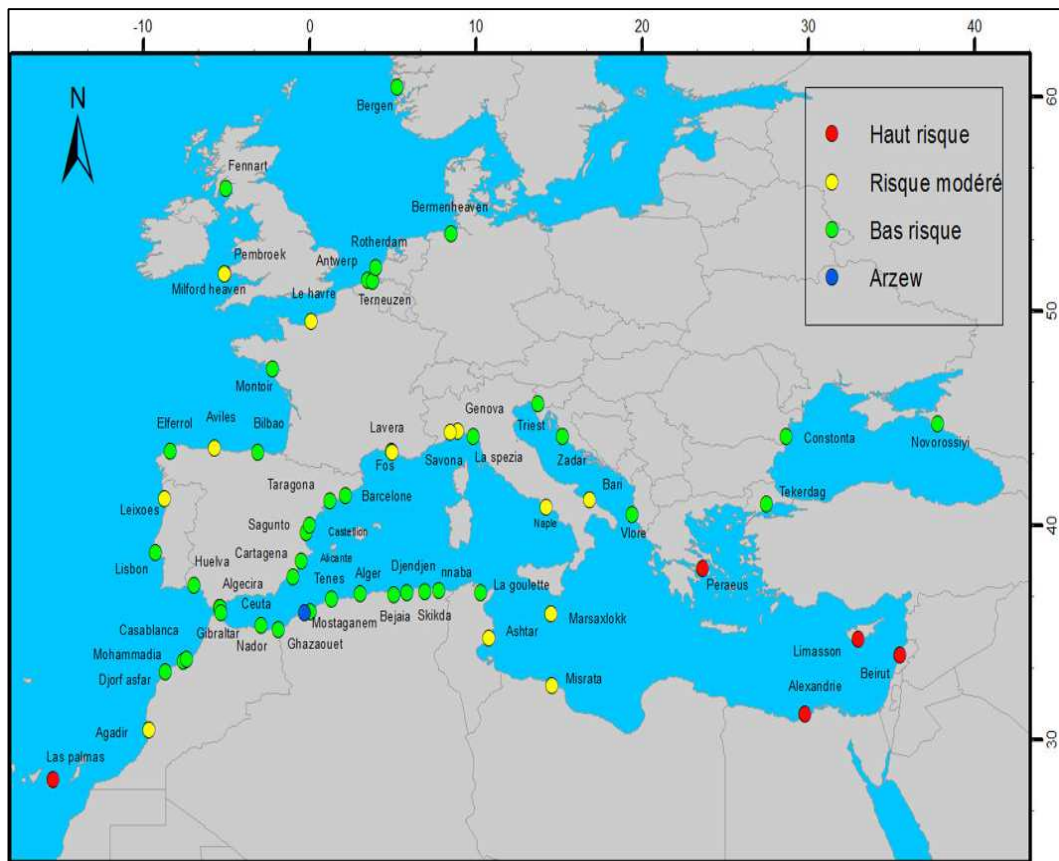


Figure39 : Carte présente le risque d'invasion.

Les ports sources des espèces invasives sont principalement situés au Sud-Est de l'Asie (2ports), La Méditerranée –Est (Canal de Suez 4 ports), l'Ouest de l'Afrique centrale, La côte-Ouest du Maroc et la côte – Est du Brésil.

Les résultats de la modélisation révèlent que le risque relatif d'invasion le long des voies de navigation variait de haut, modéré à faible risque en allant de l'Est vers l'Ouest à l'intérieur de la méditerranée.

Les ports de la Méditerranée Ouest présentent un faible risque d'invasion biologique. Ce résultat permis la validation de la probabilité d'Alien qui affirme que le caractère « Alien » est essentiel dans l'identification des espèces invasives.

La quantité d'eau de ballast semble être le facteur essentiel du taux des espèces introduites, mais à travers un processus complet de l'invasion biologique, nos résultats indiquent que ce paramètre influe dans seulement certaines étapes de ce processus.

Les ports sur les côtes de la Tunisie et la Libye sont des ports à risque modéré, d'un point de vue historique cette région a connu une invasion par l'algue *Caulerpa racimosa* qui était signalée dans Tripoli (Libya) les années quatre-vingts dix (J. Agardh, 1990), et dernièrement elle était signalé à Alger (Ould-Ahmed et Meinez. 2007) et à Arzew (Taleb et *al.* 2009)

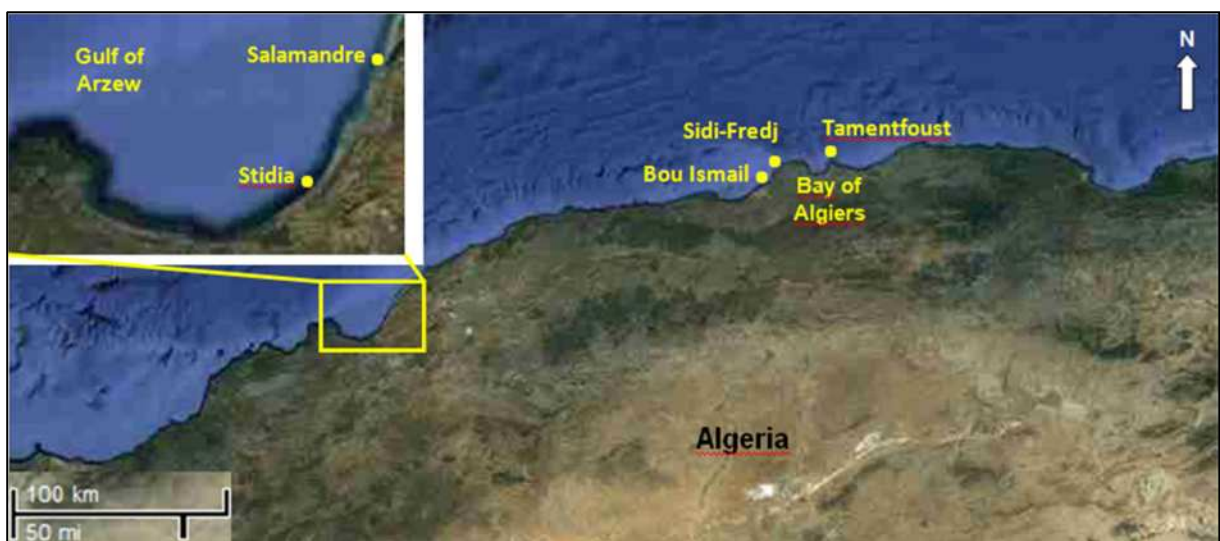


Figure40 : Positions géographique des records de *Caulerpa racemosa* en Algérie (Taleb et *al.* 2009 in Bouiadjra, B. Bachir et al., 2010)

D'autres ports donneurs à travers le monde présentent un risque élevé d'invasion biologique par les eaux de ballast. Ce risque exige des études approfondies sur la composition biologique de ces eaux de ballast (survie des espèces pour des longues durées).

5.1 Risque d'invasion par biorégion :

Un certain nombre de classifications de bioregion ont été identifiées dans les océans du monde, dont certaines à une balance qui peut être appropriée pour la gestion de l'eau de ballast. Il est important de noter que les frontières de bioregion existent à une variété de balances, pour une variété de raisons physiques et biologiques, et elles peuvent impliquer des interactions complexes entre l'océanographie physique, la tolérance physiologique d'un organisme, et la concurrence pour l'espace et les ressources. (Barry S.C et al, 2008).

L'estimation du risque d'invasion a permis d'avoir le même risque pour des ports donneurs qui sont géographiquement si proche. Cela nous a conduit à parler d'un risque à grande échelle, le risque par biorégion. (Figure41).

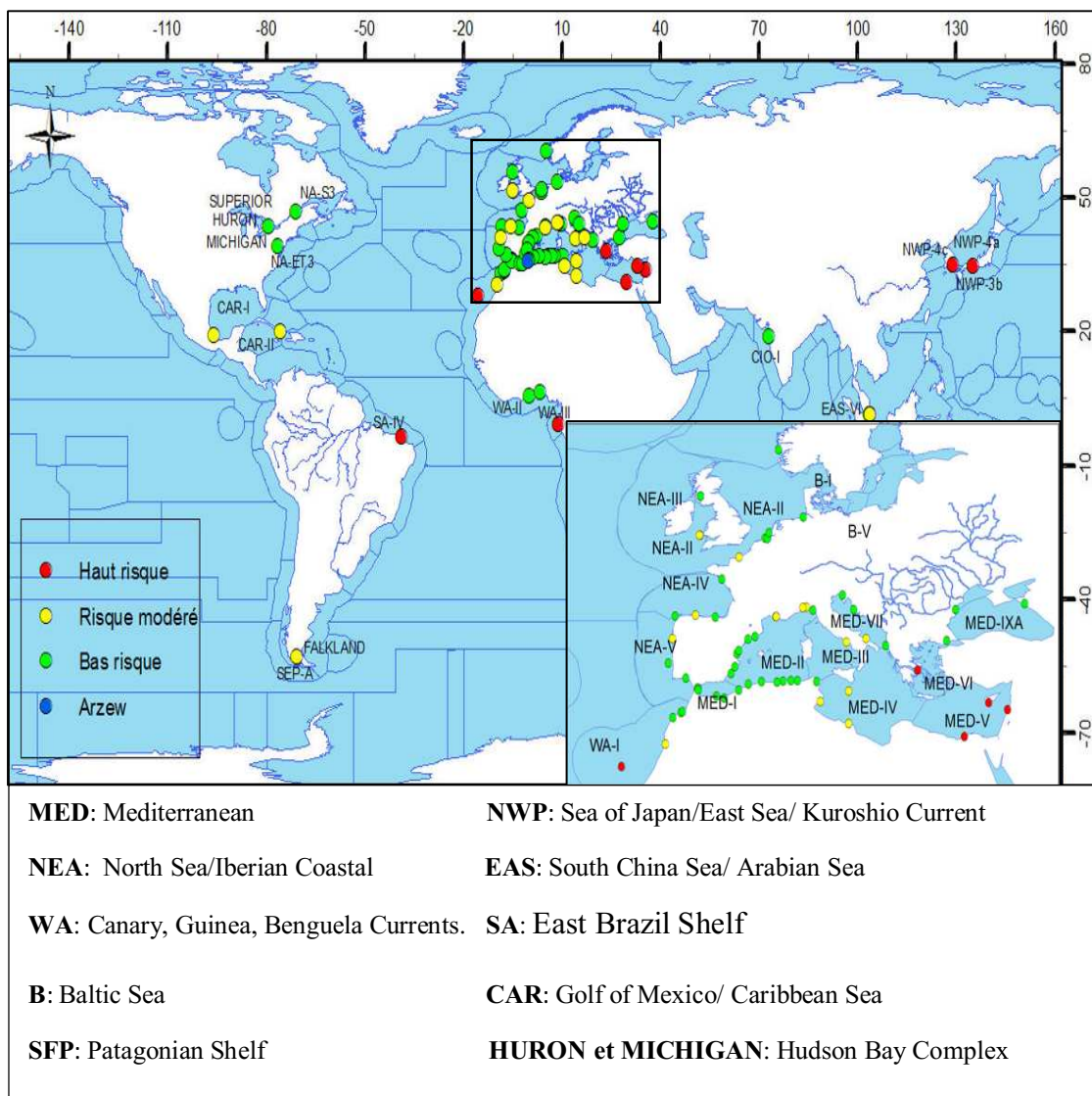


Figure42 : Carte présente le risque d'invasion biologique par biorégion marine.

Plusieurs biorégions marines sont des sources des espèces invasives pour le port d'Arzew. Parmi eux la biorégion dans l'extrême Est de la Méditerranée est un « Hot spot » des espèces invasives. Les études ont démontrées que Le canal de Suez, qui a mis en communication la mer Rouge et la Méditerranée depuis 1869 est responsable de l'invasion biologique marine la plus massive à l'échelle mondiale. (Dewarumez J. M et *al.*, 2011).

Des procédures de contrôles spéciaux peuvent être appliques aux navires venant de cette biorégion, ces procédures peuvent aller jusqu'à la possibilité d'empêcher toutes déchargements des eaux de ballast, même après l'échange en haute mer, particulièrement pour les navires à haut risque, ou refuser l'entrée des navire au port si on considère que leurs eaux de ballast posent un risque très grand.

Il est important de noté que ces résultats obtenus -dans leurs majorité- correspondent aux résultats de base de ce modèle.

5.2. Risque de nouvelle invasion :

Un risque d'une nouvelle invasion dans le port d'Arzew est obtenu à partir des probabilités d'invasion pour chaque port donneur :

$$P_j(inv) = 0,014$$

A partir de ce risque, on peut constater que le port d'Arzew n'est pas encore entré dans une situation avancée de recevoir une première invasion biologique par les eaux de ballast, mais cette valeur de risque peut indiquer que les eaux de ballast sont un vecteur important dans le transfert des espèces vers ce port.

En vue de l'intensification du trafic maritime dans le port d'Arzew, les quantités des eaux de ballasts importantes rejetées ainsi que le risque d'invasion obtenu dans ce travail, la gestion de ces eaux est une nécessité urgente car l'invasion biologique est un phénomène qui prend du temps, mais une fois il est installé, l'éradication sera très couteuse, délicate et l'impact sera irréversible et à long terme.

Cette compréhension du processus d'invasion favorise l'évaluation du risque et explique le rôle que peut jouer la modélisation dans l'estimation des risques sur les écosystèmes aquatiques et l'évaluation des défis économiques et environnementale.

Conclusion

Conclusion :

L'augmentation exponentielle du volume de commerce international a mené à une augmentation semblable de la diffusion des espèces envahissantes aquatiques.

Les pays maritimes en développement tels que l'Algérie présente des grands ports de commerce international, telle que le port d'Arzew qui reçoit annuellement des millions de tonnes d'eaux de ballast. Ce qui augmente le risque d'introduction des espèces indésirables.

L'évaluation du risque d'introduction de ces espèces par les eaux de ballast des navires est une étape avancée dans la prévention des nouvelles invasions biologique, par conséquent l'adoption des mesures de la future gestion est basée essentiellement sur l'évaluation de risque des rejets des eaux de ballast.

Pour cette raison, on a mesuré les paramètres physico-chimiques des eaux de ballast *in situ* et on a adopté une méthodologie d'évaluation du risque d'introduction et d'établissement des espèces invasive dans ce port.

Pour confirmer les résultats obtenus on a adopté un modèle d'invasion biologique par les eaux de ballast, et a partir des données de navigation à Arzew dans l'année 2014, afin d'estimer le risque d'invasion biologique.

Les résultats obtenus durant la sortie, montre que le port d'Arzew reçoit des quantités importantes des eaux de ballast des navires, par des sources géographiquement différentes.

Les paramètres physico-chimiques de ces eaux étaient différents d'un port à un autre, mais à partir du risque évalué, la majorité présente un faible risque de survie des espèces introduites dans l'environnement du port d'Arzew.

Un risque d'introduction était évalué à partir de la durée des voyages, et qui montre en générale des risques faibles à modérés d'introduction des espèces par les eaux de ballast.

En combinant ces résultats obtenus, il n'y a pas de grand risque par les espèces introduites au port d'Arzew. De ce fait une étude plus détaillée par la modélisation du risque d'invasion biologique à partir des données de navigation a été adopté.

Les résultats de la modélisation révèlent un risque d'introduction élevé des espèces Aliènes par différentes régions du monde, un risque d'établissement variable d'un port à un autre, qui dépend essentiellement de la similarité environnementale, pour cela la négligence de ce paramètre change le risque d'établissement et par conséquent le risque d'invasion.

Conclusion

Les résultats finals sont des cartes de risque des ports par rapport à Arzew. Ces cartes sont le résultat du modèle développé et des données réelles. L'outil de cartographie est le SIG ARCGIS. Une classification des sources de pollution biologique est développée selon les différents critères. Nous concluons les facteurs principaux sont :

- La pression des propagules
- La durée de voyage qui est un facteur liée à la mortalité des espèces dans le navire
- La similarité environnementales des lieux sources et lieux de réception.

Pour notre travail nous avons trouvé :

- Neuf ports qui présentent un risque majeur répartis sur tous le globe.
- Le Canal de suez pratiquement on peut le considérer comme la source principale cela est logique vu la similarité et la distance.

A partir de risque de nouvelle invasion obtenu, on peut constater que le port d'Arzew, n'est pas encore entré dans une situation avancée de recevoir une première invasion biologique par les eaux de ballast, mais cette valeur de risque peut indiquer que les eaux de ballast sont un vecteur important dans le transfert des espèces vers notre ce port.

Ces résultats fournissent les premières indications pour la gestion des risques de bioinvasion. Cependant, à la lumière du risque obtenue on devrait maintenant pouvoir développer des modèles de dynamique de population générale comprenant l'établissement et la prolifération des espèces dans les ports de l'Algérie. En plus, on peut examiner les effets du traitement et d'échange des eaux de ballast en plus détail et intégrer des conditions environnementales spécifiques de nos régions.

Cette étude m'a permis la compréhension du phénomène de l'invasion biologique, de maîtrisé la méthodologie d'étude de risque en écologie marine, la représentation des données numériques sur Arc Gis, ainsi que les calculs sur Excel.

Ce travail est pratiquement le premier travail dans ce domaine dont je reconnais la collaboration de mon Promoteur BOUDA. A.

Recommandations :

En plus du fait qu'il convient de poursuivre les études scientifiques et techniques sur ce sujet, des mesures doivent être prises rapidement avant qu'un pathogène majeur ou une espèce envahissante nous cause des dégâts à l'économie côtière ou à la santé publique

- Recueillir des données fiables relatives au trafic maritime, à la prise et aux déchargements des eaux de ballast des navires.
- Réaliser des enquêtes de base sur les biotes des espèces exotiques et des organismes et pathogènes aquatiques nuisibles dans les grands ports (Skikda, Bejaia, Alger...) au moyen de méthodologies harmonisées.
- Compiler des informations pour l'identification de zones d'Echange des eaux de ballasts en Méditerranée, en tenant compte des directives pertinentes de l'OMI.
- Réaliser des études d'évaluation des risques harmonisées pour tous nos ports au moyen de méthodologies appropriées, en tenant compte des directives pertinentes de l'OMI.
- Evaluer les risques provoqués par la circulation des navires dans et depuis nos ports.
- Réaliser une évaluation des risques axée sur les vecteurs, une évaluation des risques axée sur les espèces parallèlement à une évaluation des risques axée sur les voies de passage.
- Mettre en place un centre d'échange' d'informations national et régional commun en reliant les données obtenues à partir des études sur le trafic et les eaux de ballast, des études d'évaluation des risques des ports et des enquêtes sur les biotes, et créer un système d'alerte précoce signalant les apparitions d'organismes et pathogènes aquatiques nuisibles.
- Nous avons une compréhension limitée des espèces qui se retrouvent dans les eaux de ballast des navires qui circulent dans nos ports, de leurs interactions avec la faune indigène, de leur capacité à s'établir et de leurs impacts. D'où l'obligation de faire des études biologiques au bord des navires au cours des voyages transocéanique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- **ALEXANDROV, B. et al. (2004).** Ballast Water Risk Assessment, Port of Odessa, Ukraine. Rapport finale. GloBallast Monograph Series No. 10. London. IMO, 135p.
- **AMERAOUI, S. et KHALFALLAH, H. (2010).** Contribution à l'étude de l'expertise du brise-lames du port de Bethioua en vue de son confortement. Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL, 112p.
- **BACHARI, N.E.I. (2013).** Apport des images MODIS pour observer le fonctionnement du milieu marin le long de la côte Algérienne. Publication, 30, 50 pp.
- **BAPTISTE, Marteau. (2013).** Invasions biologiques en milieux aquatiques : Modèles prévisionnels de dispersion. Rapport de projet personnel Master2. IMACOF, 57p.
- **BARRY, S.C. et al. (2008).** Ballast water risk assessment: principles, processes, and methods. ICES. Journal of Marine Science, 65: 121–131, 11p.
- **BECHETARZI, R. et REBZANI ZEHAFF, C. (2015).** Les espèces exotiques envahissantes en Méditerranée, Littoral algérien. USTHB.
- **BECKER, Nathalie. (2015).** Les espèces invasives -insectes et milieu insulaire. Université de la REUNION. Version.2. Module IBAR, 47p.
- **BENJAMIN, Hornoy. (2012).** Processus évolutifs contribuant au succès envahissant de l'ajonc d'Europe, *Ulex europaeus*. Environmental Sciences. Université Rennes1, 217p.
- **BENOIT, Simon-Bouhet. (2006).** Expansion d'aire et processus d'introductions biologiques en milieu marin : le cas de *Cyclope neritea* (Nassariidae) sur les côtes françaises. Thèse doctorat. Université de La Rochelle, 280p.
- **BOUCHENTOUF, S. et al. (2013).** Mercury pollution in beachrocks from the Arzew gulf (West of Algeria). Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, Série Zoologie. n°49, 1-5, 5p.
- **BOUDOURESQUE, C.F. (2012).** Les invasions et transferts biologiques, avec une attention spéciale au milieu marin. GIS Posidonie publ, Marseille, 248p.
- **BOUIADJRA, B. Bachir et al. (2010).** First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Gulf of Arzew (western Algeria). Volume 5, Supplément 1: S97-S101, 5p.

- **BWM. (2015).** Recueil des engagements du Canada aux accords internationaux sur l'environnement. Document de recherche. BWM, 16p.
- **CARNEY, K.J. (2011).** Marine bioinvasion prevention: understanding ballast water transportation conditions and the development of effective treatment systems. Thèse de doctorat, Université de Newcastle, 239p.
- **CASAS MONROY, Oscar Gabriel. (2012).** Introduction de dinoflagellés non indigènes dans les écosystèmes aquatiques canadiens *via* les réservoirs de ballast des navires. Thèse. Doctorat en Océanographie, Université du Québec à Rimouski, 225p.
- **CHANCELLERIE FEDERALE SUISSE. (2012).** Convention internationale de 2004 pour le contrôle et la gestion des eaux de ballast et les sédiments des navires. FF 8111, 40p.
- **CHRISTINE Lauzeral. (2012).** Prédiction du potentiel d'invasion des espèces non natives par des modèles de niche : approches méthodologiques et applications aux poissons d'eau douce sur le territoire français. Thèse. Université de Toulouse 3, 234.
- **DAVID, W. Thieltges et al. (2009).** Distance decay of similarity among parasite communities of three marine invertebrate hosts. Original Paper. Community of Ecology, 1p.
- **DECAESTEKE. (2008).** Les échos du pôle. Lettre d'information du pôle mer Bretagne, n°24, 32p
- **DEVIN, Simon. (2003).** Les invasions biologiques des milieux d'eau douce : Analyse du rôle des traits biologiques et écologiques d'un nouvel envahisseur (*Dikerogammarus villosus*, Gammaridae, Crustacea) dans le processus invasif. Thèse de doctorat. Université de Metz, 220p.
- **DEWARUMEZ, J.M., GEVAERT, F., MASSE, C., FOVEAU, A., GRULOIS, D. (2011).** Les espèces marines animales et végétales introduites dans le bassin Artois-Picardie. UMR CNRS 8187 LOG et Agence de l'Eau Artois-Picardie, 132p.
- **DFO-MPO. (2010).** Examen de zones alternatives d'échange des eaux de ballast pour le trafic maritime faisant route vers terre-neuve et le LABRADOR ainsi que dans l'arctique canadien. Avis scientifique 2010/026, 7p.
- **DUPONT, L. (2004).** Invasion des côtes françaises par le mollusque exotique *Crepidula fornicata* : Contribution de la dispersion larvaire et du système de reproduction au succès de la colonisation. Thèse de doctorat. Université ParisVI. 213p
- **E.P.A. (2000).** Le port d'Arzew et Bethioua. Entreprise portuaire d'Arzew, 7p

- **FARRAH, T. et al. (2013).** Relative risk assessment for ballast-mediated invasions at Canadian Arctic ports. Document de recherche, 14p.
- **FOUCHE, D. et MASSON, D. (1999).** Evaluation du risque d'introduction des espèces indésirables par l'intermédiaire des eaux de ballast des navires. IFREMER, 106p.
- **GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships and IUCN. (2010).** Evaluation économique de la gestion des eaux de ballast: Une directive. GloBallast Monographie No. 19, 61p.
- **GLOBALLAST. (2010).** Evaluation économique de la gestion des eaux de ballast : une Directive No. 19. Globallast, 23p.
- **GOLLASCH, S. et al. (2000).** Survival of tropical ballast water organisms during a cruise from the Indian Ocean to the North Sea. *Journal of Plankton Research* Vol 22 no 51, 5p
- **GOLLASCH, S. et al. (2011).** Pilot risk assessments of alien species transfer on intra-Baltic ship voyages. Final Report. Version 1.3, 98p.
- **GRIMES, S. (2010).** Peuplements benthiques des substrats meubles de la cote Algérienne : Taxonomie, structure et statut écologique. Thèse. Université d'Oran, 362p.
- **H, Modrzejewska et al. (2011).** Alien Species Introduction Risk Assessment on the Basis of Quality of Ballast Water Discharged at the Port of Gdynia. Rapport technique, RS -11/T -001, 74p.
- **LEPPÄKOSKI, E. et GOLLASCH, S. (2006).** Risk Assessment of Ballast Water Mediated Species Introductions – a Baltic Sea Approach. Université Åbo Académie, Turquie/Åbo, Finlande, 112p.
- **MAJ, D.P. (2009).** Menace en mer : les espèces exotiques envahissantes dans l'environnement marin. document de recherche. UICN, 31p.
- **MARIE, V. (2007).** Les processus d'invasions biologiques en milieu côtier marin : le cas de l'algue brune *Undaria pinnatifida*, cultivée et introduite à l'échelle mondiale. Ecosystèmes, Paris 6, 302p.
- **MASSON, D. et al. (2000).** Etude des eaux de ballast de navires faisant escale dans les ports français. rapport. IFREMER, 22p

Références bibliographiques

- **MPO. (2012).** Avis scientifique découlant de l'évaluation du risque d'introduction, par les navires, d'espèces aquatiques non indigènes dans l'Arctique canadien. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/067, 164p.
- **OMI. (1998)** Passagers clandestins des eaux de ballast : halte aux envahisseurs. Document de recherche. Reflets de l'OMI, 23p.
- **OULD AHMED, N. et MEINESZ, A. (2007).** First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* on the coast of Algeria. Cryptogamie. Algologie, Vol. 28, n° 3, 303- 306p.
- **SEEBENS, H. et al. (2013).** The risque of marine bioinvasion caused by global shipping. LETTER. Ecology letters, 9p.
- **THOMAS, A. et al. (2006).** Probabilité d'invasion biologique et environnement local, Question 3. IRD, 31p.
- **TIPHANIE et PIRON. (2013).** La gestion des eaux de ballast. Document de recherche. Armateurs de France, 12p.
- **UICN. (2003).** Les invasions biologiques marine : un défi pour la Méditerranée une coopération essentielle. Document d'information. UICN, 2p.
- **VALOR, I.G. (2008).** Les eaux de ballast de navires menace sur les écosystèmes. IFREMER, 13p.
- **Weitzmann, B., García M. et Casanovas R. (2013).** Etude des espèces marine invasives dans le parc naturel de Montgri, les illes Medes et la baie Ter. Département d'agriculture, 68p.
- **WONHAM, J. et al. (2005).** Minimising invasion risk by reducing propagule pressure: a model for ballast water- exchange. Research communications.3p
- **ZOUANE, A. et MOKRANE, K. (2014).** Analyse des risques et modélisation des conséquences d'explosion d'une sphère GPL. Mémoire de Master. Chapitre VI : Analyse des conséquences, 107p.

Annexes

Annexe (1) : Résultats des mesures des paramètres physico-chimiques des eaux de ballast et eau marine dans le port d'Arzew (Février, 2015).

Navires/ Données	Date	Time	Port D'escale	Temp [°C]	pH	[pH] mV	ORP [mV]	EC [µS/cm]
Rhaoud El Adra	10/02/2015	15 :23 :18	Taragona	14,22	14	-600	218,5	46500
Olib	10/02/2015	17 :12 :43	Bilbao	15,29	14	-600	176,2	45420
Golar Maria	11/02/2015	11 :43 :59	Incheon	21,07	14	-527,2	-261,3	46390
Fritzi N	11/02/2015	12 :39 :24	Dortoyl	14,66	14	-600	-195,76	60523,33
Navigator Gusto	11/02/2015	14 :23 :04	Ambes	15,17	14	-600	-128,4	385
Cheikh El Mokrani	11/02/2015	17 :10 :05	Fos	17,47	14	-600	474,275	61895
Simano	12/02/2015	09 :57 :21	Alcanar	20,5575	14	-600	-125,75	48707,5
Alpha Britannia	12/02/2015	15 :08 :47	Tetney	14,9	14	-600	-161	46403,33
Seasong	13/02/2015	14 :52 :49	Malte	15,46	14,00	-600,00	-110,83	52436,67
Rhoud Enouss	13/02/2015	17 :42 :51	Cartagena	14,88	14	-600	-26,7	61313,33
chihani	2015/02/14	13 :02 :34	Iskendrun	11,59	14	-600	-63,97	43943,33
Eau D'Arzew	10/02.2015	15 :28 :56	Arzew	14,62	14	-600	-88,57	53946,67

Port d'escale	EC Abs. [µS/cm]	RES [Ohm.cm]	TDS [ppm]	Sal.[psu]	Sigma T	Press.[psi]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
Taragona	36965	21,5	23250	30,249	22,47	14,8265	496,1	45,005
Bilbao	37046,67	22	22706,6	29,487	21,66	14,82	417,866	34,276
INCHEON	42926,67	22	23193,3	30,18	20,81	14,808	127,43	9,43
Dortoyl	48633,33	16,67	30260	40,649	30,41	14,845	278,53	20,77
Ambes	313	2597,33	192,67	0,185	0	14,863	402,3	40,58
FOS	53037,5	16	30942,5	41,739	30,58	14,78875	351,1	25,8075
ALCANAR	44597,5	20,75	24350	31,87	22,23	14,80625	213,875	15,7575
TETNEY	37493,33	21,66	23200	30,2	22,29	14,801	241,66	19,476
MALTE	42933,33	19,00	26216,6	34,61	25,57	14,89	316,03	24,54
Cartagena	49520	16	30653,3	41,24	30,82	14,881	292,56	21,68
Iskendrun	32750	23	21970	28,34	21,49	14,86	365,16	31,35
Eau Du Port	43310	19	26970	35,7	26,6	14,916	500	41,05

Annexe (2) : Les directions du vent observées à la région d'Arzew en 2013.

Nord	148 jours
Nord Est	57 jours
Est	06 jours
Sud/Est	05 jours
Sud	08 jours
Sud/Ouest	53 jours
Ouest	74 jours
Nord-Ouest	13 jours
Calme plat	1

Tableau : La vitesse des vents.

Direction des vents	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
7h	22	21	15	14	60	66	34	12
13h	48	57	6	5	8	53	74	13
18h	59	71	16	3	3	58	68	32
moyenne	43	49,6	12,3	7,3	23,6	59	58,6	19

Annexe (3). Les spécifications de la sonde Multiparamètres:

Spécifications		HI 9828
pH	Gamme	0.00 à 14.00 pH
	Résolution	0.01 pH
	Exactitude	±0,02 pH
pH en mv	Gamme	±600,0 mV
	Résolution	0,1 mV
	Exactitude	±0,5 mV
Rédox	Gamme	±2000,0 mV
	Résolution	0,1 mV
	Exactitude	±1,0 mV
Oxygène dissous	Gamme	0,0 à 500,0% / 0,00 à 50,00 mg/L
	Résolution	0,1% / 0,01 mg/L
	Exactitude	0,0 à 300,0% : ±1,5% de la lecture ou ±1,0%.
Conductivité	Gamme	0,000 à 200,000 mS/cm (sans correction de température jusqu'à 400 mS/cm)
	Résolution	Manuelle : 1 µS/cm ; 0,001 mS/cm ; 0,01 mS/cm ; 0,1 mS/cm ; 1 mS/cm ;
	Exactitude	±1% de la lecture ou ±1 µS/cm le plus grand
Résistivité	Gamme	0 à 999999 Ω•cm ; 0 à 1000,0 kΩ•cm ; 0 à 1,0000 MΩ.
	Résolution	Selon la lecture
	Exactitude	±1% de la lecture ou ±1 mg/L (ppm) le plus grand
TDS	Gamme	0 à 400000 mg/L ou ppm (la valeur maximale dépend du facteur TDS)
	Résolution	Manuelle : 1 mg/L (ppm) ; 0,001 g/L (ppt) ; 0,01 g/L (ppt) ; 0,1 g/L (ppt) ; 1 g/L (ppt)
	Exactitude	±1% de la lecture ou ±1 mg/L (ppm) le plus grand
Salinité	Gamme	0,00 à 70,00 PSU (échelle de salinité pratique - 1 PSU = 1 mg/L)
	Résolution	0,01 PSU
	Exactitude	±2% de la lecture ou ±0,01 PSU le plus grand
Gravité spécifique (eau de mer)	Gamme	0,0 à 50,0 σt, σ0, σ15
	Résolution	0,1 σt, σ0, σ15
	Exactitude	±1 σt, σ0, σ15
Pression atmosphérique	Gamme	450 à 850 mmHg ; 17,72 à 33,46 inHg ; 600,0 à 1133, 2mb
	Résolution	0,1 mmHg ; 0,01InHg ; 0,1mbar ; 0,001 psI ; 0,0001atm ; 0,001kPa
	Exactitude	+3mmHg si ΔT° de mesure - T° d'étalonnage <15 C°
Température	Gamme	- 5 à 55,00C°
	Résolution	0,01 °C
	Exactitude	±0,15 °C

Annexe (4) : Données de navigation et caractéristiques des ports en 2014.

Nom du port	LAT	LONG	Ballast (m3)	Nbr de voyages	Durée (jours)
Tikirdag/marmara	40,974361	27,519629	1466115	89	5,144444444
Fos	43,426669	4,938672	1429886	95	1,755555556
Gibraltar	36,140608	-5,364384	1049121	46	0,763888889
Trieste	45,620761	13,745613	804702	57	4,425
Cartagene	37,58188	-0,982695	791509	34	0,416666667
Huelva	37,163064	-6,943714	689976	32	1,158333333
Antwerp	51,419764	3,496399	686939	27	5,091666667
Tarragona	41,119035	1,245228	595077	57	0,991666667
Terneuzen	51,344234	3,817022	582696	28	5,091666667
Sagunto	39,630549	-0,207025	575649	39	0,838888889
Rotterdam/hollande	51,985308	4,020143	558494	31	5,344444444
Alaxandrie/egypte	31,168168	29,824799	486556	36	5,172222222
Milford haven/uk	51,714319	-5,04271	481847	18	4,238888889
Algeciras	36,117632	-5,426731	459057	28	0,780555556
Quebec	46,890237	-70,960698	433923	15	14,28055556
Leixoes/portugal	41,182785	-8,703063	288400	15	2,288888889
Djorf asfar	33,120884	-8,639512	278281	51	1,355555556
Piraeus/GRECE	37,934653	23,662276	269098	18	3,902777778
Aviles	43,5667	-5,6833	243096	18	3,077777778
Marsaxlokk/MALTA	35,814201	14,548395	240972	14	2,461111111
Alger	36,77136	3,074302	208504	62	0,461111111
Naple	40,830372	14,260383	182989	36	2,572222222
Lavera/france	43,391705	4,983419	178346	19	2,327777778
Barcelone	41,350532	2,18062	150070	13	1,097222222
Mohammadia	33,727203	-7,379044	145528	15	1,272222222
Savona	44,3166	8,4833	113187	3	2,030555556
Singapore	1,260582	103,744758	100442	7	20,69166667
Nador	35,289351	-2,907775	94598	59	0,530555556
La spezia	44,092517	9,841347	89401	10	2,236111111
Le havre	49,485303	0,090167	81593	5	4,633333333
Skikda	36,88568	6,943549	80184	21	1,027777778
Pembroke/UK	51,692352	-5,127697	75125	2	4,238888889
Lisbone	38,678006	-9,260788	72341	1	1,741666667
Bejaia	36,745768	5,08968	60787	30	0,780555556
Jawaharlal Nehru	18,942092	72,939734	55098	3	14,66666667
Ashtart /TUNISIE	34,726946	10,7933	50071	13	2,322222222
Misrata	32,500243	14,570628	49101	4	3,013888889
Baltimore/usa	39,25512	-76,61582	45740	4	10,90277778
Bergen/NORNEGE	60,398339	5,290003	43828	1	6,763888889
Osaka/japon	34,643942	135,196037	41436	2	30,075
Zadar/croatie	44,119203	15,218875	39631	1	4,033333333
Punta arenas/chilie	-53,16948	-70,905602	39598	2	22,575

Annexes

Ports	Lat	Long	Ballast (m3)	Nbre de voyage	Durée (jours)
Finnart	55,689972	-4,996033	39567	1	5,061111111
Pusan/sud korea	35,087748	129,111929	36480	2	29,50555556
Veracruz/mexique	19,20216	-96,121488	33549	57	16,39722222
Genova	44,381539	8,940296	30550	2	2,163888889
Constanta/ROUMANIE	44,134421	28,690968	30125	1	5,730555556
Accra/GHANA	5,631575	0,019065	28818	1	9,658333333
Bremerhaven/Allemagne	53,563408	8,548673	28777	3	6,025
Castellone	39,955017	0,022659	28202	2	0,838888889
Montoire	47,252203	-2,193832	27167	2	4,047222222
Pecem/bresil	-3,535695	-38,807638	24759	2	11,75277778
Agadir	30,416556	-9,636298	22849	15	2,052777778
Johor bahru:malaisie	1,372816	103,642788	20230	1	14,66666667
El ferrol	43,444444	-8,352013	18688	1	2,819444444
Las palmas	28,122255	-15,414677	18455	1	3,013888889
Beirut/liban	33,911668	35,520387	18251	1	5,438888889
Limassol/CHYPRE	34,663287	33,039751	13793	1	4,986111111
Bilbao	43,378602	-3,07291	13722	3	3,458333333
Novorossiysk	44,724906	37,794256	12820	1	6,8
Lagoulette	36,805988	10,315134	10257	6	1,588888889
Lagos/NIGERIA	41,327326	2,175035	10086	1	10,24444444
Casablanca	33,621482	-7,585374	6835	3	1,355555556
Annaba	36,896371	7,781625	5825	2	1,138888889
Tenes	36,527574	1,31553	5510	5	0,413888889
Manzanillo/CUBA	19,966895	-75,874307	4418	1	21,38333333
Ghazaouet	35,103548	-1,868576	4405	4	0,444444444
Mostaghanem	35,931039	0,067806	3363	3	0,036111111
Port-gentil/gabon	-0,726494	8,797023	1743	1	11,26666667
Toronto	43,627129	-79,360085	1637	1	19,425
Vlore/ALBANIE	40,468107	19,44196	1625	1	3,375
Alicante	38,322804	-0,481682	898	1	0,444444444
Ceuta	35,89948	-5,312619	750	1	0,755555556
Djendjen	36,827424	5,889702	664	1	0,883333333
Bari	41,143372	16,845388	180	1	3,386111111

Annexes

Nom_ports	LAT	LONG	T°max	T°min	T°moy	Sal_min	Sal_max	Sal_moy
Accra/GHANA	5,631575	0,019065	29,1	23,0	26,1	15,0	34,0	24,5
Agadir	30,41656	-9,636298	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Alanxandrie/egypte	31,16817	29,824799	29,7	13,5	21,6	37,5	39,0	38,3
Algeciras	36,11763	-5,426731	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Alger	36,77136	3,074302	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Alicante	38,3228	-0,481682	24,5	9,5	17,0	37,0	37,6	37,3
Annaba	36,89637	7,781625	26,0	16,0	21,0	38,0	39,1	38,6
Antwerp	51,41976	3,496399	20,0	0,0	10,0	34,0	34,0	34,0
Asstart /TUNISIE	34,72695	10,7933	29,7	13,5	21,6	37,5	39,0	38,3
Aviles	43,5667	-5,6833	20,0	11,0	15,5	34,5	35,6	35,1
Baltimore/usa	39,25512	-76,61582	25,7	9,5	17,6	18,0	29,0	23,5
Barcelone	41,35053	2,18062	24,5	11,5	18,0	36,5	38,0	37,3
Bari	41,14337	16,845388	27,0	14,0	20,5	37,0	38,5	37,8
Beirut/liban	33,91167	35,520387	29,7	13,5	21,6	37,5	39,0	38,3
Bejaia	36,74577	5,08968	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Bergen/NORNEGE	60,39834	5,290003	16,5	4,5	10,5	27,0	34,0	30,5
Bilbao	43,3786	-3,07291	22,0	11,0	16,5	25,0	35,5	30,3
Bremerhaven	53,56341	8,548673	16,5	3,0	9,8	11,0	30,0	20,5
Cartagene	37,58188	-0,982695	22,0	14,5	18,3	35,0	36,5	35,8
Casablanca	33,62148	-7,585374	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Castellone	39,95502	0,022659	27,0	12,0	19,5	37,0	38,0	37,5
Ceuta	35,89948	-5,312619	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Constanta/ROUMANIE	44,13442	28,690968	24,0	0,5	12,3	15,0	17,8	16,4
Djendjen	36,82742	5,889702	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Djorf asfar	33,12088	-8,639512	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
El ferrol	43,44444	-8,352013	22,0	11,0	16,5	25,0	35,5	30,3
Finnart	55,68997	-4,996033	16,5	4,5	10,5	27,0	34,0	30,5
Fos	43,42667	4,938672	24,5	12,5	18,5	31,0	36,0	33,5
Genova	44,38154	8,940296	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Ghazaouet	35,10355	-1,868576	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Gibraltar	36,14061	-5,364384	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Huelva	37,16306	-6,943714	23,0	8,0	15,5	30,0	34,0	32,0
Jawaharlal Nehru	18,94209	72,939734	28,5	18,1	23,3	10,0	34,0	22,0
Johor bahru:malaisie	1,372816	103,642788	31,0	25,0	28,0	26,0	23,4	24,7
La spezia	44,09252	9,841347	26,0	8,0	17,0	22,0	36,0	29,0
Lagos/NIGERIA	41,32733	2,175035	30,0	22,5	26,3	10,0	33,0	21,5
Lagoulette	36,80599	10,315134	26,0	16,0	21,0	38,0	39,1	38,6
Las palmas	28,12226	-15,414677	24,0	17,5	20,8	36,4	36,8	36,6
Lavera/france	43,39171	4,983419	24,5	12,5	18,5	31,0	36,0	33,5
Le havre	49,4853	0,090167	20,0	7,0	13,5	30,0	34,5	32,3
Leixoes/portugal	41,18279	-8,703063	19,5	12,5	16,0	35,4	36,0	35,7
Limassol/CHYPRE	34,66329	33,039751	29,7	13,5	21,6	37,5	39,0	38,3
Lisbone	38,67801	-9,260788	34,0	13,0	23,5	15,0	36,0	25,5
Manzanillo/CUBA	19,9669	-75,874307	32,5	28,5	30,5	33,6	38,1	35,9

Annexes

Marsaxlokk/MALTA	35,8142	14,548395	26,0	15,0	20,5	37,0	38,5	37,8
Milford haven/uk	51,71432	-5,04271	19,0	6,0	12,5	30,0	34,0	32,0
Misrata	32,50024	14,570628	29,7	13,5	21,6	37,5	39,0	38,3
Mohammadia	33,7272	-7,379044	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Montoire	47,2522	-2,193832	17,0	-1,0	8,0	31,0	32,5	31,8
Mostaghanem	35,93104	0,067806	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Nador	35,28935	-2,907775	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Naple	40,83037	14,260383	27,0	14,0	20,5	37,0	38,5	37,8
Novorossiysk	44,72491	37,794256	26,2	0,5	13,4	9,6	18,8	14,2
Osaka/japon	34,64394	135,196037	23,0	7,0	15,0	30,0	34,5	32,3
Pecem/bresil	-3,5357	-38,807638	30,2	19,5	24,9	35,0	39,0	37,0
Pembroke/UK	51,69235	-5,127697	19,0	6,0	12,5	30,0	34,0	32,0
Piraeus/GRECE	37,93465	23,662276	26,0	16,0	21,0	38,0	39,1	38,6
Port-gentil/gabon	-0,72649	8,797023	24,6	17,6	21,1	33,6	38,1	35,9
Punta arenas/chilie	-53,1695	-70,905602	21,0	2,0	11,5	32,2	36,6	34,4
Pusan/sud korea	35,08775	129,111929	24,5	6,0	15,3	31,0	34,0	32,5
Quebec	46,89024	-70,960698	13,0	-6,0	3,5	5,6	5,6	5,6
Rotterdam/hollande	51,98531	4,020143	20,0	2,0	11,0	0,0	15,0	7,5
Sagunto	39,63055	-0,207025	27,0	12,0	19,5	37,0	38,0	37,5
Savona	44,3166	8,4833	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Singapore	1,260582	103,744758	31,0	25,0	28,0	28,5	31,5	30,0
Skikda	36,88568	6,943549	26,0	16,0	21,0	38,0	39,1	38,6
Tarragona	41,11904	1,245228	27,0	11,5	19,3	36,5	38,0	37,3
Tenes	36,52757	1,31553	23,4	14,5	19,0	36,0	37,0	36,5
Terneuzen	51,34423	3,817022	20,0	0,0	10,0	34,0	34,0	34,0
Tikirdag/marmara	40,97436	27,519629	27,0	5,0	16,0	16,3	18,3	17,3
Toronto	43,62713	-79,360085	13,0	-6,0	3,5	5,6	5,6	5,6
Trieste	45,62076	13,745613	26,0	8,0	17,0	22,0	36,0	29,0
Veracruz/mexique	19,20216	-96,121488	33,0	24,9	29,0	28,5	32,4	30,4
Vlore/ALBANIE	40,46811	19,44196	24,5	11,5	18,0	27,5	24,8	26,2
Zadar/croatie	44,1192	15,218875	26,2	0,5	13,4	9,6	18,8	14,2
Nom_ports	LAT	LONG	Tmax	Tmin		Smin	Smax	
Arzew	35,87000	-0,27000	23,4	14,5		36,0	37,0	

Annexe (5) : Valeurs moyennes de la TSM (température de surface de la mer) au niveau de la côte algérienne (2013).

	Moyenne							
Regions	Ghazaouet	Oran	Mosta	Tenes	Alger	Bejaia	Skikda	Annaba
distance	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km
Janvier	14.75	14.48	15.57	15.28	14.30	14.08	14.60	14.02
Fevrier	14.32	13.96	14.85	14.20	13.77	13.84	14.10	13.71
Mars	14.79	14.26	15.06	15.57	14.31	14.09	14.61	14.20
Avril	15.37	15.55	16.86	16.60	15.59	15.93	18.03	17.20
Mai	16.91	17.43	18.82	19.01	17.24	18.19	19.55	18.49
Juin	19.84	19.86	21.01	21.39	19.61	22.22	22.32	21.13
Juillet	22.83	22.11	22.65	23.06	22.53	24.01	24.69	24.59
Août	23.63	23.14	24.29	23.84	24.38	26.21	26.10	25.23
Septembre	22.12	22.93	23.43	22.29	23.04	25.05	25.01	24.52
Octobre	20.83	21.20	22.92	22.66	21.44	21.91	23.19	22.51
Novembre	18.44	18.53	18.18	16.94	18.85	19.70	19.56	18.98
Décembre	14.86	15.27	15.10	15.04	15.46	16.03	16.24	15.89

Valeurs minimales de la TSM au niveau de la côte algérienne.

	Min							
Regions	Ghazaouet	Oran	Mosta	Tenes	Alger	Bejaia	Skikda	Annaba
distance	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km
Janvier	13.07	12.65	13.48	12.97	11.99	12.44	12.49	12.07
Fevrier	11.99	11.22	13.19	12.31	11.02	11.73	12.16	11.47
Mars	11.51	10.37	13.85	13.20	8.26	8.54	9.75	8.80
Avril	10.72	13.02	14.86	13.64	9.06	13.05	13.48	10.45
Mai	14.27	15.02	16.13	16.55	15.52	15.02	16.25	15.58
Juin	16.65	17.23	15.49	16.29	15.03	17.87	16.32	12.51
Juillet	18.95	19.83	11.47	10.06	12.38	17.13	17.24	16.87
Août	19.58	19.26	19.09	18.95	21.15	23.27	18.10	16.05
Septembre	19.75	19.08	18.10	17.33	21.29	22.74	18.76	18.53
Octobre	18.55	19.12	19.24	20.25	18.62	15.92	19.98	20.16
Novembre	15.39	15.68	15.01	15.03	15.05	16.83	16.51	15.88
Décembre	13.16	13.52	13.19	13.83	13.03	13.18	13.98	14.48

