

Programme Scientifique Seine Aval 4 – Juillet 2009

Effets possibles du changement climatique sur les écosystèmes estuariens

Jean-Paul Ducrotoy

Version 090801

Résumé

Ce rapport fait le bilan de données bibliographiques portant sur l'influence du changement climatique sur les écosystèmes estuariens tidaux et applique cette revue de la littérature au cas des estuaires macro- et méga-tidaux (dans lesquels l'amplitude de la marée dépasse 4 m). La partie sud de la Mer du Nord et la Manche se caractérisent par la présence de nombreux estuaires soumis à l'influence de la marée. Certains de ces estuaires mégatidaux abritent des installations portuaires importantes (Seine, Tamise par exemple). Leurs caractéristiques écologiques sont bien connues, tant du point de vue de la faune et de la flore que de l'impact des différentes activités humaines qui s'y déroulent. Afin de prévoir comment ils seront affectés par le changement climatique global dans l'avenir, des données portant sur l'impact observé ou prédit de celui-ci, tant sur les biocénoses que sur les biotopes des estuaires du monde entier, sont ici soumises à un examen particulier : évolutions observées, biodiversité, caractéristiques physico-chimiques du substrat et géomorphologie des estuaires. Ces informations écologiques sont confrontées à une possible élévation du niveau de la mer et son influence sur le régime des marées, les vagues et l'hydrodynamisme. Les aspects climatiques abordés portent sur les radiations solaires, le régime des précipitations, les gaz à effet de serre et leur influence sur les cycles biogéochimiques.

Sommaire

1. INTRODUCTION	4
2. LA REPONSE COMPLEXE DES ESTUAIRES	7
TEMPÉRATURE	9
<i>Phénologie.....</i>	<i>10</i>
<i>Biogéographie</i>	<i>11</i>
<i>Acclimatation.....</i>	<i>12</i>
PRÉCIPITATIONS ET RESSOURCE EN EAU	12
RADIATIONS SOLAIRES	14
<i>Interférence des composants atmosphériques (gaz, vapeur...) et dispersion et</i>	
<i>absorption des radiations par les particules</i>	<i>14</i>
<i>La matière organique dissoute colorée (CDOM).....</i>	<i>15</i>
<i>Types d'effets biologiques à rechercher</i>	<i>17</i>
a. Fécondité, croissance et développement	17
b. Survie / Effets létaux	18
c. Mobilité - Inhibition des réponses phototactiques et photophobiques	18
d. Auto-thérapeutique	19
e. Changement de la composition spécifique – structure des populations	20
RÉPONSES DES ORGANISMES ET DES ÉCOSYSTÈMES A L'ÉLEVATION DU	
NIVEAU DE LA MER	21
<i>Accroissement de la hauteur des vagues</i>	<i>22</i>
<i>Diminution de la rugosité ; Accroissement des vitesses ; Hauts niveaux d'énergie</i>	
<i>dans les zones externes</i>	<i>23</i>
<i>Élargissement des chenaux - Accroissement des salinités dans l'estuaire interne du au</i>	
<i>surcreusement des chenaux</i>	<i>24</i>
<i>Cas particulier des deltas submersibles</i>	<i>25</i>
<i>Dynamique du bouchon vaseux</i>	<i>26</i>
<i>Erosion des vasières / Migration amont des vasières</i>	<i>26</i>

<i>Réduction ou progression des prés salés - Installation théorique de prés salés en amont – devenir des prairies halophiles, etc.</i>	28
<i>Dimension temporelle</i>	29
EFFETS DE L'ACCROISSEMENT DU CO₂	30
<i>Acidification du milieu - Hypercapnie animale</i>	30
<i>Effet sur la photosynthèse (fixation du carbone) - Augmentation de la production primaire</i>	31
<i>Equilibre osmotique des plantes halophiles</i>	32
3. SYNERGIE ENTRE FACTEURS	33
STRATIFICATION DES EAUX	33
PHYSIOLOGIE ANIMALE	33
CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT	34
ENRICHISSEMENT EN MATIERES NUTRITIVES ET EUTROPHISATION.....	34
DYNAMIQUE DES SUBSTANCES TOXIQUES.....	36
BIODIVERSITE ET SYNERGIES ENTRE FACTEURS	37
VARIABILITE NATURELLE ET GESTION DES ECOSYSTEMES ESTUARIENS	38
4. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RESTAURATION ECOLOGIQUE DES HABITATS ET DES FONCTIONNALITES ESTUARIENNES	39
5. CONCLUSIONS	42
6. RECOMMANDATIONS	45
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52

1. INTRODUCTION

Au cours des ères géologiques, la stabilité des conditions environnementales s'est souvent installée entre des accidents climatiques brutaux. C'est ainsi que succédant à une période d'instabilité des facteurs au cours des deux derniers millions d'années, les dix milles ans de civilisation humaine qui nous ont précédés ont bénéficié de conditions climatiques exceptionnellement stables. Durant ces quelques millénaires, pendant lesquels les conditions climatiques se montrèrent relativement plus clémentes et stables, les communautés humaines ont exploité le littoral d'une façon assidue. Cette période, qu'il a été suggéré de nommer l'Anthropocène, s'affiche comme une ère écologique nouvelle où l'humanité se trouve capable d'influencer le devenir de la biosphère (Crossland, Bairn, and Ducrotoy, 2005). Cependant, avec le développement de l'industrie, la variabilité des conditions naturelles tend à s'accroître et le climat mondial se réchauffe de façon inéluctable. L'effet de serre, tenu responsable des transformations contemporaines du climat, avait été découvert par Fourier en 1824, mais c'est seulement récemment qu'on a pu lire son histoire, à l'échelle des temps géologiques, grâce aux carottages de la glace antarctique réalisés à Vostock par une équipe de chercheurs russes et analysés en France dans les années 90 (Jouzel, Petit, and Raynaud, 1990). Se pose alors la question de l'intégration de l'aménagement et de la gestion des milieux dits "naturels" dans une approche mondiale de l'environnement et dans le cadre d'un accroissement de la variabilité naturelle des conditions environnementales? Les estuaires fournissent un cas d'étude extrêmement intéressant, le but de ce travail étant de les replacer (leur littoral, bassin versant, etc.) dans le nouveau contexte planétaire. En effet, bien qu'il soit possible de définir les caractéristiques d'un changement "global" de notre climat terrien, ce sont les conditions écologiques locales qui en détermineront l'ampleur et en influenceront les conséquences.

C'est à partir de l'exemple estuariens tidaux (soumis à l'influence de la marée) du monde entier que ce va-et-vient est illustré ici. Dans le sud de la Mer du Nord et dans la Manche, ces embouchures de fleuves (Seine, Somme, Tamise par exemple) abritent des installations portuaires importantes. La Manche et la mer du Nord communiquent par le détroit du Pas-

de-Calais qui représente un élément très dynamique dans une mer bordière épi-continentale, relativement peu profonde. Le gradient de profondeurs décroissantes, de l'entrée de la Manche au large de la Bretagne jusqu'au détroit du Pas-de-Calais, ainsi qu'un rétrécissement progressif, donnent à la Manche une forme d'entonnoir. L'onde de marée y acquiert une vitesse et une amplitude croissantes, en particulier dans les baies telles que la baie du Mont-Saint-Michel ou les baies picardes où elle atteint 9,80 m, ce qui permet de les qualifier de méga-tidaux. De grands ports se sont installés dans les grands estuaires (Seine, Solent). Les fleuves drainent d'importants sites industriels ou agricoles, ce qui contribue directement à la contamination du milieu marin. Resitué dans le cadre du programme LOICZ (Land Ocean Interaction in the Coastal Zone), la Somme, par exemple, apparaît comme un minuscule fleuve côtier face à des géants tels que le Nil ou le Mississippi (Ducrotoy, 2004). Cela ne veut pourtant pas dire que l'impact de l'utilisation des ressources naturelles de la multitude de petites rivières du nord-Ouest Européen reste négligeable. Au contraire, la Manche concentre de nombreuses activités et les influences anthropiques y sont marquées.

Les changements globaux et, en particulier, leurs conséquences sur la biologie et la physiologie des organismes, aussi bien que sur les habitats et les peuplements, sont souvent négligés dans les projets d'aménagement des estuaires et dans leur gestion. Les conséquences de variations importantes du niveau de la mer et d'une élévation inéluctable de la température sont pourtant à prendre en compte de façon prioritaire dans toute prospective concernant les estuaires. Typiquement, aucune action de restauration ne peut être envisagée sans prendre en compte les facteurs du milieu qui évoluent. A moyen terme et à long terme il n'est pas raisonnable de proposer la reconquête des milieux concernés sans les remettre dans le contexte global. Il faut d'ailleurs aller plus loin que la simple prise en compte de scénarios possibles de changements potentiels. L'objectif principal poursuivi par le Groupe de Travail 'Restauration des habitats en estuaire de Seine' (GTR) du Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, était de parvenir à une restauration progressive des fonctionnalités écologiques estuariennes aboutissant sur le long terme (50 ans) au rétablissement de communautés typiques de ces milieux. Il a fallu abandonner une attitude réactive vis-à-vis des possibles nouveaux aménagements pour promouvoir une force de proposition qui nécessite l'acquisition et la synthèse des connaissances scientifiques sur les biotopes existants en estuaire de Seine et leurs potentialités écologiques dans le contexte du changement climatique (Ducrotoy, 2004 ; 2009). Dans ce cadre, la restauration doit

devenir un outil de la gestion intégrée des zones côtières en réponse aux pressions climatiques. Que ce soit dans le cas du repli stratégique ou du réalignement du trait de côte, on se doit de tenir compte des tendances enregistrées par la climatologie et la météorologie pour aménager tout estuaire.

Les travaux suivis du Groupe d'Experts International sur le Climat (GIEC) depuis le début des années 1990 convergent vers une confirmation d'un changement climatique global. Bien que les scénarios d'évolution de certains paramètres proposés par ces experts s'affinent au fur et à mesure des travaux et des publications, l'étendue des valeurs données reste importante. A l'avenir, il faudra donc prendre en compte les différents scénarios (notamment d'élévation du niveau de la mer) et l'augmentation d'événements paroxysmiques (fortes tempêtes, surcotes...) pour adapter les travaux de conservation et de restauration aux évolutions possibles du climat. Conscients que l'élévation de la température n'en est qu'un aspect particulier, dans ce rapport nous nous arrêterons aussi bien sur les fluctuations du niveau de la mer et ses conséquences hydrodynamiques que sur les conséquences biologiques des altérations des radiations solaires elles-mêmes et des teneurs en gaz de l'air. Les cycles biogéochimiques étant aussi touchés, on pourra s'attendre à une réponse biologique donnée à ces perturbations.

2. LA RÉPONSE COMPLEXE DES ESTUAIRES

Afin de mieux comprendre le rôle des facteurs anthropiques sur l'évolution des systèmes benthiques côtiers et littoraux, la Coopération Scientifique et Technique COST 647 « Ecologie Benthique Côtière » de la Communauté Economique Européenne avait, dès 1982, mis l'accent sur le bien-fondé de l'interprétation des variations saisonnières climatiques locales dans le contexte global, alors dit « océanique » (Elliott and Ducrotoy, 1991). Elle mit en évidence la nécessité de comprendre les phénomènes biologiques qui sous-tendent l'évolution des systèmes benthiques sur le long-terme. En particulier, la thématique « sédiments meubles estuariens » compara la dynamique de populations macrozoobenthiques dans différents estuaires européens au cours de cycles pluriannuels. Ainsi, fut mis en avant le rôle du forçage hydrodynamique (marée, débits, bouchon vaseux, etc.) et des phénomènes sédimentaires menant au comblement naturel des embouchures des fleuves concernés. Depuis, certaines évolutions à long-terme ont été reliées au changement climatique global comme par exemple la géomorphologie de la Mersey (Blott et al. 2006), la physiographie estuariens chinois (Wellner et Bartek 2003), ou encore la qualité des sédiments dans la région de Marennes – Oléron en France (Billeaud et al. 2005). Les conséquences pour l'hydrologie des estuaires a, quant à elle, été étudiée aux USA (Knowles et Cayan 2002) et dans la Mer des Wadden (de Jonge et de Jong 2002). Cependant, à l'heure actuelle où les changements s'accélèrent, il y a de plus en plus de difficultés à établir des références historiques par rapport auxquelles les écosystèmes divergeraient. Sur le long-terme, on peut s'interroger sur la signification d'une évolution qu'on ne saurait comparer à une ligne de base constituant un objectif pour la restauration éventuelle des fonctions écologiques dégradées ou perdues. Face au besoin d'interpréter cette évolution dans un contexte très dynamique, une hiérarchisation des facteurs s'impose au moins par rapport au contexte local. A savoir, comment nos estuaires répondront-ils aux perturbations complexes à venir du court au long-terme ? Il est certain que l'élévation du niveau d'eau ne soit pas le seul sujet d'inquiétude dans les estuaires considérés. Il est donc nécessaire d'envisager tous les effets biologiques possibles, prenant leur origine dans des modifications complexes des cycles biogéochimiques, du global au local.

Il est intéressant de constater que certaines recherches ont tenté récemment d'approfondir les informations scientifiques données par le GIEC (Bates BC et al., 2008). Miller et Douglas (2006) avaient, par exemple, cherché à expliciter les causes de l'élévation du niveau de la mer observée au cours de tout le vingtième siècle. Ils ont mis en évidence le rôle important de la température dans la dilatation de la masse d'eau océanique et donc de l'élévation de son niveau général. En fait, on constate une accélération constante du phénomène au cours du temps, qui donne actuellement une moyenne d'élévation de 3,2 mm par an (Gehrelset al. 2005). La glace ne concentrant pas le sel, la fonte de la banquise entraînera une diminution de la salinité globale, alors que l'eau salée originelle aura tendance à s'enfoncer vers le fond. Les transports d'énergie seront alors recanalisés à l'échelle planétaire et une nouvelle circulation thermo-haline s'installera. Cela aura un rôle essentiel dans la régulation du climat. Ces aspects sont illustrés par le phénomène d'oscillation climatique qui s'est installé récemment dans l'Atlantique nord. La cause en serait des pressions atmosphériques amplifiées au niveau des Açores et de l'Islande où l'anticyclone (au sud) regagne de vigueur, alors qu'au nord, la dépression s'accroît. Le moteur en serait un affaiblissement de la Dérive Atlantique, le Gulf Stream ne trouvant plus assez d'énergie à cause d'un fléchissement de l'effet de pompage des glaces du Labrador qui disparaissent progressivement. La conséquence pourrait bien en être les tempêtes plus violentes qui affectent nos régions, s'accompagnant d'un excès de sécheresse dans le sud, notamment en Méditerranée.

Bien que quelques doutes subsistent sur la valeur des résultats acquis (Woodworth 2006), certains chercheurs ont tenté de mesurer les conséquences du phénomène au niveau national (Paskoff 2004). En ce qui concerne les estuaires de la façade atlantique et de la Manche, ce dernier auteur prévoit une inondation possible des terrains poldérisés, surtout ceux gagnés sur la mer au 20^{ème} siècle. Localement, les effets de ces perturbations affectent la force des vents, par exemple, dont les extrêmes tendent à augmenter en Mer du Nord. A cause de la fonte des glaces de la banquise, les mouvements eustatiques de la mer sont amplifiés dans l'ouest de l'Europe par les mouvements isostatiques de la masse continentale, alors que c'est l'inverse en Europe du Nord.

Quelles seront les réponses possibles des organismes, populations, communautés et écosystèmes aux nouvelles conditions écologiques imposées par les changements climatiques à venir (température, niveau des eaux, etc.) ? Afin de pouvoir orienter au mieux les recherches scientifiques futures sur les estuaires mégatidaux du Nord-Ouest

Européen et en particulier sur l'estuaire de la Seine, il est urgent de passer en revue les réponses éventuelles des écosystèmes estuariens et péri-estuariens vis-à-vis des évolutions plausibles du climat futur. Se focalisant sur l'écologie de ces milieux estuariens et littoraux, l'inventaire bibliographique qui suit a porté notamment sur :

- Les changements causés par des modifications physiques de la température, de la pluviométrie /hydrologie, du niveau de la mer, etc.
- Leurs conséquences respectives sur la biologie et la physiologie des organismes, sur les habitats, sur les communautés et peuplements (disparition d'espèces, colonisation par des espèces thermophiles, perturbation de la phénologie des organismes, etc.)

Ces travaux d'écologie compléteront les recherches bibliographiques en hydro-climatologie, géomorphologie et en sédimentologie envisagées par des collègues de Seine Aval, mais avant tout il serviront à préparer et à appuyer les travaux réalisés par Sami Souissi en écologie estuarienne.

TEMPÉRATURE

La température de l'eau règle le fonctionnement des écosystème estuariens et littoraux par ses effets directs sur la physiologies sur les organismes qui y vivent, et indirectement, par suite de la perte possible d'habitat. Dans la zone intertidale, exposée régulièrement aux conditions atmosphériques, la température du sédiment représente un facteur primordial dans la définition des niches écologiques des êtres vivants qui s'y installent. Bien que les organismes aquatiques ne puissent survivre qu'à une température ambiante particulière, le réchauffement peut favoriser certaines espèces. Par exemple, un accroissement pondéré des températures de l'eau en estuaire peut encourager certaines bactéries, qu'elles soient pathogènes ou non ou recherchées telles que les coliformes fécaux (Chigbu et al. 2004). Si la température monte au-dessus ou descend au-dessous de la gamme de tolérance pour une certaine espèce, sa capacité à survivre peut être compromise. La photosynthèse et la respiration aérobie sont affectées par tout changement de la température ambiante, avec des répercussions sur la croissance, la reproduction, le métabolisme et la mobilité des organismes. Les taux de réactions biochimiques doublent habituellement quand la température augmente de 10°C mais périclitent au-delà de la tolérance de l'organisme considéré. Cette règle s'applique également aux processus microbiens tels que la fixation de l'azote, la nitrification et la dénitrification et nous verrons plus loin comment les

facteurs environnementaux agissent de concert sur ces phénomènes. Pour l'instant, nous envisagerons les effets des changements thermiques sous l'aspect du synchronisme du développement saisonnier des organismes, leur impact sur la distribution de ceux-ci dans divers estuaires et enfin comment ils peuvent s'adapter aux variations climatiques par acclimatation.

Phénologie

Les réponses au changement thermique, particulières à chaque espèce, peuvent affecter la structure et le fonctionnement de certaines communautés estuariennes au travers de la perturbation de leur phénologie, c'est-à-dire de la répartition dans le temps des phénomènes périodiques caractéristiques du cycle vital de ces organismes. Ce cycle est le plus souvent annuel. Il est bien connu pour de nombreuses plantes cultivées mais les données scientifiques portant sur les organismes estuariens sont peu abondantes. Des travaux récents dans ce domaine laissent entrevoir une meilleure compréhension des conséquences de ces transformations des cycles biologiques. Utilisant des données de séries chronologiques de Narragansett Bay (un estuaire américain de l'Atlantique du nord-ouest), Costello et al. (2006) ont montré que la phénologie d'un prédateur supérieur de zooplancton, le cténophore *Mnemiopsis leidyi*, s'est décalée en réponse au réchauffement du climat. Auparavant, le copépode *Acartia tonsa* était le producteur secondaire dominant dans l'estuaire et sa période principale de production se produisait avant celle de son prédateur *M. leidyi*. Depuis 2000, les abondances maximales saisonnières des deux espèces se sont confondues, intensifiant le rapport entre le prédateur et sa proie et ayant pour résultat l'éradication possible du copépode, autrefois abondant dans l'estuaire. Il est fort possible que les mécanismes physiques conduisant aux différentes réponses phénologiques des deux espèces découlent du réchauffement hivernal, pendant les stades de résistance des organismes. La température affecterait différemment chacune des deux espèces, *M. leidyi* hibernant dans les zones peu profondes de l'estuaire, l'excystement saisonnier des oeufs de *A. tonsa* (situés dans les régions plus profondes de l'écosystème) se déroulant au même moment. C'est ainsi que des changements climatiques à grande échelle s'expriment localement, produisant une dynamique originale de croissance démographique d'espèces particulières et, finalement, par effet boomerang, de toute la communauté planctonique.

La migration du flet *Platichthys flesus* (L.) se déroule plus tôt dans le sud-ouest de l'Angleterre que dans le reste du pays. La phénologie de la migration de ce poisson semble

être sous l'influence de changements à court terme des conditions thermiques de leur habitat d'hivernage (Marshall and Elliott, 2004). La synchronisation des mouvements vers les zones d'estivage repose sur la différence entre la température des eaux estuariennes et celle des eaux côtières adjacentes. La migration se déclenche quand l'amplitude est maximale, en relation avec les phases froides et négatives de l'oscillation de l'Atlantique Nord (NAO). Ceci suggère que les fluctuations du climat caractérisant la NAO puissent exercer des effets significatifs sur la synchronisation de l'abondance maximale des populations de poissons, ce qui pourrait avoir des implications sur la gestion de la pêche.

Biogéographie

Les augmentations de la température de l'océan sont susceptibles de provoquer une migration des espèces méridionales vers le nord. Leurs effets sur les systèmes biologiques ont été étudiés à différents niveaux des réseaux alimentaires. Tout d'abord, il a été montré que certaines espèces invasives planctoniques (en l'occurrence des rotifères) peuvent bénéficier de nouvelles conditions plus favorables et s'installer dans des eaux tempérées, par exemple dans l'Escaut où elles n'étaient pas connues auparavant (Azemar et al. 2007).

Plusieurs programmes de recherche européens se sont intéressés à la biogéographie d'espèces d'invertébrés benthiques en réponse aux changements climatiques. De 1982 à 1993, le COST 647 « Ecologie benthique » s'est efforcé de comprendre les facteurs gouvernant la dynamique du zoobenthos, notamment à la limite des aires de répartition des espèces (Ducrotoy et Desprez 1986, Ducrotoy 1989, 1992). Plus tard, c'est le programme BIOMARE qui s'est intéressé à la constitution d'un réseau de stations de suivi du nord de la Norvège aux Açores (Ducrotoy 2002, 2003a, 2003b). Les efforts avaient alors porté principalement sur les bivalves *Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*. Dans les deux cas, ces programmes ont montré une adaptation de la dynamique de populations de ces bivalves en limite de leur aire de répartition, notamment vers le sud. D'ailleurs, le tellinidé *Macoma balthica* a fait l'objet d'une reconstitution historique de son recul dans la limite sud de son aire de répartition (Espagne) en liaison avec le réchauffement observé (Jansen, 2007).

Les oiseaux, surtout les limicoles, sont mieux connus dans ce domaine et la réponse des populations aux variations climatiques bénéficie de bases de données sur le long-terme (Norris 2004). Durell et al. (2006) ont d'ailleurs modélisés les fluctuations observées au Royaume Uni (à Pool) et ont émis des hypothèses prospectives sur leur devenir.

Acclimatation

Certaines conditions d'habitat peuvent empêcher ou limiter le mouvement de certaines espèces, exigeant qu'elles s'adaptent aux températures plus élevées et ainsi s'acclimatent. Dès 1972, Colton (1972) avait mis en évidence ce phénomène d'adaptation pour les poissons côtiers de la côte est nord-américaine. Cependant, croissance, survie, et reproduction ne peuvent se dérouler que dans un préférendum de températures (Brander 1995 ; Jobling 1996 ; Cox et Hinch 1997 ; Marshall et Frank 1999). En dehors de celui-ci, les coûts énergétiques risquent de devenir trop élevés ayant comme conséquence la perte de populations régionales.

Quand des seuils de la température sont dépassés, le système immunitaire des individus soumis à une contrainte thermique peut être affaibli, menant à des pathologies (Harvell et al., 1999). Par exemple, Scheibling et Stephenson (1984) ont étudié un oursin *Strongylocentrotus droebachiensis* sur la côte est du Canada. Les effets mis en évidence sur l'échinoderme se sont répercutés par effet de cascade sur les algues benthiques. Toujours en Amérique du nord, la pathologie de certaines espèces d'huîtres a pu également être reliée aux températures accrues (Harvell et al., 1999). De même, dans le Pacifique, des blooms phytoplanctoniques d'algues nocives ont été associés à des événements ENSO (El Niño) perturbant les extrêmes de température de l'eau (Hallegraeff, 1993).

PRÉCIPITATIONS ET RESSOURCE EN EAU

Le déroulement du cycle hydrologique dans toute son ampleur est essentiel à comprendre car il gouverne la quantité, le synchronisme, et le volume de l'eau douce qui parvient aux écosystèmes côtiers, notamment par les estuaires. Ce cycle est susceptible de changer sous un climat évoluant rapidement. Considérons tout d'abord le régime des précipitations. Elles ont un effet direct sur les débits de fleuves qui alimentent les estuaires. La dilution de l'eau marine par les eaux douces en période de crue du fleuve aura, quant à lui, un effet certain sur la salinité qui va décroître, or les scénarios concernant le changement climatique au Royaume-Uni, par exemple, prévoient une fréquence et une intensité accrues des débits des principales rivières (Scavia, 2002). Cependant, l'incertitude demeure en ce qui concerne le régime futur des précipitations et leur ruissellement. De nombreux modèles prévoient qu'il y aura une augmentation des événements extrêmes, affectant ainsi le régime des apports atmosphériques, pouvant augmenter de manière significative la charge des

eaux estuariennes en produits chimiques et en sédiment atteignant le littoral (Karl et al., 1995).

Les effets de telles perturbations du cycle hydrologique sur les systèmes biologiques se produisent à différents niveaux trophiques. Récemment, Marques et al. (2007) ont montré les effets négatifs de la variabilité du régime des précipitations (en particulier des phases de sécheresse) sur les communautés planctoniques côtières.

L'effet des précipitations en zone intertidale a été examiné par Ford et al. (2007) en suivant sur trois ans le déroulement des phases pluvieuses et la réponse des invertébrés. Les mollusques, en particulier, ont fait l'objet de recherches. Une population d'huîtres a ainsi vu sa dynamique modélisée par rapport aux changements climatiques enregistrés (Dekshenieks et al. 2000). La réduction du renouvellement des populations de bivalves est à relier à une réduction de la salinité, réputée influencer plusieurs paramètres métaboliques et physiologiques de ces animaux. Chez la moule *Mytilus edulis*, la fréquence cardiaque, la respiration, l'acquisition d'énergie et le taux de croissance sont affectés, menant à des complications potentiellement handicapantes pour la santé des animaux. Sur le long terme, un tel effet chronique est susceptible d'affecter l'état de santé immunologique des bivalves et d'augmenter également leur susceptibilité à d'autres effets, avec des réactions en chaîne sur la croissance, l'abondance et la distribution de l'espèce. L'évolution des variables immunologiques en réponse à la salinité réduite pourrait être une conséquence de processus impliquant une activité réduite des hématocytes dus à une perturbation osmotique entraînant à son tour une infiltration accrue des hématocytes dans le tissu conjonctif de divers organes. Alternativement, face à une salinité réduite, les moules montrent une réponse d'isolement en fermant leurs valves, ce qui s'ajoute au coût énergétique et peut provoquer une augmentation de l'autophagie. En association avec ce phénomène, Gagnaire et al. (2006) ont constaté une diminution de 70% de la phagocytose.

Les bivalves comme la moule *Mytilus edulis* (ou encore la coque *Cerastoderma edule*) sont des espèces clefs de voûte. L'impact potentiel sur leur fonction immunitaire et donc sur la santé des populations dans les estuaires internes pourrait avoir des effets significatifs sur les écosystèmes estuariens dans leur totalité. De tels effets pourraient affecter le recyclage des sels nutritifs, la biodiversité et la production aquacole. Par exemple, une diminution des abondances et une modification de la distribution des bivalves pourraient avoir comme conséquence des changements cruciaux dans la biodiversité des communautés dans leur ensemble et dans la complexité des écosystèmes.

RADIATIONS SOLAIRES

L'effet combiné du changement climatique et de l'appauvrissement de couche d'ozone exposera simultanément des organismes à des conditions de plus en plus stressantes en ce qui concerne les radiations solaires. En conséquence de l'altération de la qualité de l'atmosphère, elles subiront des modifications tant quantitatives que qualitatives. Les ultra-violets, qui nous intéressent ici en premier chef, sont constitués de radiations électromagnétiques de longueur d'onde de 100 à 400 nm, à savoir :

- UV-C : 100 – 280 nm
- UV-B : 280 – 315 nm
- UV-A : 315 – 400 nm.

Ce sont principalement les UV-B qui ont un effet nocif sur la physiologie des organismes. L'interférence des composants atmosphériques (gaz, vapeur...) et la dispersion et l'absorption par les particules risque de créer un appauvrissement du spectre original à la faveur des UV-B, les plus actifs d'un point de vue biologique. Dans les eaux côtières, on s'attendra à peu d'effets, à cause de la concentration en matière en suspension de couleur jaune, la transmission de l'UV-B étant limitée à $< 0.5 - 1$ m de profondeur. Par contre, sur les vasières, les effets sur les plantes et les animaux (dus à l'émersion et aux faibles profondeurs en immersion) risquent de s'avérer importants.

L'accent sera donc mis sur cette gamme d'ondes pour comprendre comment un accroissement des radiations solaires aura un effet sur les écosystèmes estuariens et littoraux. Nous nous intéresserons principalement aux stades de développement primaires des organismes marins, en particulier aux spores, oeufs et larves, qui sont considérées les plus vulnérables aux extrêmes environnementaux.

Interférence des composants atmosphériques (gaz, vapeur...) et dispersion et absorption des radiations par les particules

L'éclairement de la colonne d'eau est contrôlé par différentes composantes du milieu, par l'eau elle-même et par les substances dissoutes et particulaires qu'elle contient (Sathyendranath et al., 2000). Dans les systèmes côtiers et estuariens, les caractéristiques optiques sont principalement contrôlées par la présence des apports terrestres en matière particulaire et dissoute, ainsi que par l'intensité du mélange généré, principalement, par la circulation côtière et les effets des marées (Vincent et al., 1994). Ces composantes

absorbent l'éclairement subaquatique (280-800 nm) selon des spectres d'absorptions spécifiques. En général, les spectres d'absorption présentent une tendance exponentielle croissante ou décroissante avec l'augmentation des longueurs d'ondes (Kirk, 1994). L'eau augmente son absorption jusqu'à son maximum, entre 700-800 nm (rouge et infrarouge).

Peu de travaux existent sur les conséquences potentielles de ces variations sur la production primaire et plus spécifiquement sur le couplage spectral et sur l'efficacité photosynthétique du phytoplancton. Le phytoplancton doit gérer la capture des photons disponibles en s'adaptant à différents spectres d'absorption selon les quantités présentes et la qualité des composantes optiques. Certaines espèces combinent donc plusieurs pigments pour obtenir efficacement le plus d'énergie apte à la photosynthèse à partir de l'éclairement disponible (Trees et al., 2000; Barlow et al., 2002; Bricaud et al., 2004).

La matière organique dissoute colorée (CDOM)

La CDOM est la composante chromatique de la matière organique dissoute. Elle exerce un rôle optique important de par son spectre d'absorption maximal dans l'intervalle de la radiation ultraviolette (RUV), en absorbant les ondes hautement énergétiques de cette bande spectral, protégeant ainsi les organismes des milieux aquatiques d'une photo-dégradation causée par l'excès d'énergie solaire (Whitehead et al., 2000; Vasseur et al., 2003). On s'inquiètera des conséquences d'une augmentation de la CDOM allochtone sur la disponibilité de l'éclairement apte à la photosynthèse (PAR) et au changement spectral de cet éclairement sur la photosynthèse (Häder et al., 2003).

La CDOM peut se classer selon son origine ou selon ses propriétés chimiques : la CDOM autochtone provient de la dégradation de la matière organique produite *in situ* par les organismes autotrophes ainsi qu'hétérotrophes, tandis que la CDOM allochtone a comme origine la dégradation de la végétation terrestre et de la matière organique des sols du bassin versant. La division chimique se base sur sa solubilité en milieu aquatique. Les acides fulviques sont solubles sous tous les pH et les acides humiques précipitent à un pH inférieur à 2. Les acides humiques sont d'origine ligneuse et se composent de plusieurs anneaux aromatiques de groupe carboxyle qui ne contiennent pas d'azote (McKnight & Aiken 1998). Leur poids moléculaire est environ 200 fois plus élevé que celui des acides fulviques, ce qui permet de les différencier par des méthodes de spectrofluorométrie, de spectrométrie de masse et de chromatographie (Abbt-Braun et al. 2004). Les acides fulviques composent plus de 40% de la CDOM dans les systèmes aquatiques (McKnight &

Aiken 1998). Ces acides sont composés de carbone aliphatique rapidement minéralisé par les bactéries et autres hétérotrophes aquatiques, libérant ainsi des nutriments inorganiques utilisables par les autres membres du réseau microbien (Wetzel, 2001).

La CDOM autochtone est donc composée principalement d'acides fulviques, mais aussi des composés terrestres qui ont déjà amorcé leur dégradation photochimique ou physicochimique. La matière organique labile est donc essentiellement constituée d'acides fulviques de moyen et de bas poids moléculaire et d'une durée de vie très courte dans les écosystèmes estuariens (Hullar et al., 1996).

Par ailleurs, la CDOM allochtone est constitué d'un mélange complexe de composés de haut poids moléculaire qui lui octroient parfois un statut réfractaire à la biodégradation (Tranvik, 1998). Les études ne sont pas unanimes quant à la préférence de la taille des molécules de matière organique lors de la dégradation par les bactéries et les archéobactéries. Elles divergent principalement sur la qualité de la MOD et les conditions environnementales dans lesquelles la dégradation a lieu (Amon & Benner, 1996; Boyd et al., 2002; Kirchman, 2002; Garneau et al., 2006). Pour ce qui est de la photodégradation, celle-ci dépend du dosage à l'exposition aux radiations ultraviolettes (Moran et al. 2000). Dans les systèmes estuariens, la MOD de chaque couche haline est différente. En effet, les eaux superficielles d'origine fluviale contiennent davantage de MOD que la couche inférieure saline. Cette barrière physico-chimique concentre la matière organique proche de la surface, l'exposant à la photochimie. Il existe donc une dynamique interne dans la couche superficielle de MOD dégradée photochimiquement (Moran et al. 2000), jusqu'à ce que l'épanchement se mélange par turbulence estuarienne ou convection contribuant ainsi à l'augmentation de la MOD dans les couches inférieures

La turbidité des systèmes estuariens provoque une diffusion des radiations solaires réduisant la quantité de l'éclairement disponible. La CDOM, pour sa part, présente un maximum dans l'intervalle de l'ultraviolet (280-400 nm) et décroît son absorption dans l'intervalle du PAR (400-700 nm), se partageant ainsi l'intervalle du visible avec la matière particulaire inorganique. Plusieurs auteurs mentionnent que les qualités optiques de la CDOM varient selon leurs sources (Williamson et al., 1999; Moran et al., 2000; Osburn et al., 2001). La CDOM d'origine terrestre, par sa composition complexe d'acides humiques et fulviques hautement colorés, agit non seulement sur la qualité spectrale mais également sur la quantité de l'éclairement disponible (Kirk 1994).

Types d'effets biologiques à rechercher

Les types d'effets biologiques recherchés sont variés et comprennent : fécondité diminuée, croissance et développement ralentis, inhibition possible de la photosynthèse.

La gamme des effets va en fait depuis les stratégies de survie qui seraient affectées jusqu'à des effets létaux : mobilité réduite, inhibition des réponses phototactiques et photophobiques, capacités photoréparatrices insuffisantes...

a. Fécondité, croissance et développement

Les UV-B, fortement énergétiques, possèdent un grand potentiel pour endommager les cellules vivantes, cela au travers d'effets directs sur l'ADN et les protéines cellulaires et d'effets indirects par la production de radicaux réactifs à l'oxygène. L'excès d'UV-B a des effets connus étendus sur la reproduction végétale ayant pour résultat la perte de productivité du phytoplancton et des macroalgues. Cependant, relativement peu d'informations sont disponibles sur les conditions de rayonnement déclenchant ou inhibant la reproduction de ces organismes. La répartition cosmopolite des espèces du genre *Ulva*, due à sa grande capacité reproductrice, constitue un matériel de choix pour ce genre d'étude. C'est ainsi que Han et al. (2003) ont étudié l'effet de l'irradiance de photons, de la photopériode, et des qualités spectrales de la lumière sur la croissance et la reproduction d'*Ulva pertusa*. Dans un premier temps, ils ont montré qu'une forte irradiance UV était susceptible de produire une inhibition de la sporulation et de la croissance des algues. Ces recherches qui ont été menées en Corée sur le terrain, ont ensuite démontré l'importance de la profondeur des sites de reproduction : le temps requis pour réaliser l'inhibition de 50% des plantes serait plus long de 13 h aux profondeurs supérieures à 1 m en eaux côtières. Ils ont aussi observé une disparition rapide de la longueur d'onde bleue à cause de l'ombre provoquée par les thalles sus-jacents. Ces différentes stratégies photoadaptives pour la reproduction peuvent en partie expliquer le grand succès écologique d'*U. pertusa*. (Han et al., 2003).

La sensibilité relative des cellules reproductrices de l'algue *Enteromorpha intestinalis* aux UV-B a été évaluée en mesurant la fluorescence in vivo de la chlorophylle, le succès de la germination et le taux de croissance (Cordi et al., 2001). Les zoospores (les cellules reproductrices asexuées) exhibent une sensibilité aux UV-B jusqu'à 6 fois plus élevée que celle des thalles mûrs. Des différences similaires dans les taux de croissance ont été également trouvées (Cordi et al., 2001). Le succès variable de la germination et les taux de

croissance, indiquent une plus grande sensibilité de la phase reproductrice sexuée du cycle de vie en comparaison avec la phase asexuée. Notons que les dommages aux cellules reproductrices s'avèrent irréversibles (Cordi, Donkin, Peloquin, Price, and Depledge, 2001).

Les conséquences de toute perte de productivité primaire sont à mettre en relation directe avec une réduction de la capacité de ces organismes à fournir des puits de carbone (Sinha, Singh, and Hader, 2008) pour le CO₂ atmosphérique.

Les effets sur les invertébrés benthiques sont probablement minimes en relation avec leur mode de vie enfoui. Cependant, l'effet des radiations accrues sur la reproduction des organismes pélagiques (crustacés, poissons...) et surtout les oiseaux constitue un champ d'investigation à défricher.

b. Survie / Effets létaux

Przeslawski et al. (2005) ont exposé des embryons encapsulés de trois espèces de gastéropodes des rivages rocheux aux combinaisons simultanées de niveaux écologiquement réalistes de rayonnement ultraviolet. Ils ont ensuite relié leurs observations à la température de l'eau, à la salinité dans le but d'identifier des interactions potentielles et des impacts associés dus au changement climatique. Des augmentations de la mortalité (jusqu'à douze fois la mortalité naturelle) et un retard dans le développement des animaux ont été observés en liaison avec les conditions les plus stressantes (Przeslawski, Davis, and Benkendorff, 2005).

c. Mobilité - Inhibition des réponses phototactiques et photophobiques

Le phototactisme constitue une composante essentielle du comportement des invertébrés et des vertébrés aquatiques. Par exemple, le cycle de marée et le ruissellement d'eau douce vers l'estuaire du Saint-Laurent (Canada) modulent les mécanismes de dispersion ou d'agrégation du krill. Cette dynamique d'agrégation du krill liée au phototactisme du plancton. Elle est d'une importance primordiale pour les prédateurs tels que baleines et certains poissons (Cotte and Simard, 2005; Lavoie, Simard, and Saucier, 2000). En ce qui concerne le méroplancton, les larves du buccin *Buccinum spirata* (animal benthique) font preuve d'un phototactisme positif lié à la phase planctonique des jeunes stades (Kannapiran and Edward, 1996). Chez l'esturgeon de Sibérie *Acipenser baeri*, l'évolution de la plus ou moins grande attirance pour la lumière est fondamentale au cours de

l'ontogénie. L'animal développe tout d'abord un phototactisme positif progressif, permettant aux juvéniles de conquérir des fonds sableux de couleur claire. Plus tard, vers 20 jours, en liaison avec un assombrissement de la couleur du poisson, les fonds sombres seront recherchés (Gisbert, Williot, and Castello-Orvay, 1999).

On peut se poser la question de savoir comment certains comportements pourront être affectés par une variation quantitative et qualitative du rayonnement solaire, en particulier dans l'intertidal. *Monodonta lineata* (gastéropode, Trochidae) est présent seulement aux hauts niveaux de la zone intertidale. Si, de façon expérimentale, on le déplace vers les bas niveaux, il rampe vers le haut, vers sa position caractéristique. (Defossez, 1995) a suggéré que le pH, la pression de CO₂ et les concentrations en HCO³⁻ de l'hémolymphe pourraient être employés comme signaux internes par l'animal afin de sélectionner le niveau optimal. En effet, d'une part, l'acidose et l'alcalose extracellulaire relatives sont induites par l'émersion / immersion. D'autre part, la gamme de ces perturbations induites est influencée par le pourcentage de l'exposition à l'air (POIS) imposé aux animaux : un haut POIS (typique des niveaux élevés) induirait des perturbations inférieures à celles d'un POIS bas (typique des bas niveaux). Les conditions défavorables de pression de CO₂ contraindraient ainsi l'animal à migrer vers le haut ou les conditions lui conviennent mieux (Defossez, 1995). Les animaux benthiques qui migrent de cette façon à la surface du sédiment (comme ce gastéropode mais aussi certains bivalves, tels que *Cerastoderma edule*, par exemple) seraient exposés à des radiations de plus en plus agressives en liaison avec le changement climatique.

d. Auto-thérapeutique

Un certain nombre d'espèces a développé diverses stratégies d'adaptation pour contrecarrer ces effets préjudiciables des UV-B. Ces stratégies incluent la migration verticale dans la colonne d'eau, la réparation des dommages causés à l'ADN et la production de mycosporine et autres acides aminés servant au criblage du rayonnement nocif (Sinha, Singh, and Hader, 2008).

Les effets négatifs des rayonnement UV sur les organismes aquatiques sont diminués par différents mécanismes photo-protecteurs tels que l'accumulation de substances absorbantes UV (photo-protecteurs) et l'activation de systèmes antioxydants. La mycosporine associée à d'autres acides aminés est un des photo-protecteurs les plus connus. On sait qu'elle agit en tant qu'écran passif absorbant l'énergie des UV qu'elle absorbe sous forme thermique.

Son accumulation est induite par les rayonnements UV (UV-A et UV-B) et par la lumière bleue dans la partie active photosynthétique du spectre. Les fonctions physiologiques de cette substance ont été décrites comme ayant une activité antioxydante, avec une influence sur la régulation de la pression osmotique et de la reproduction. Il reste à évaluer, jusqu'à quel point ces mécanismes seront efficaces en situation réelle dans le futur, dans le cadre d'une augmentation des radiations solaires (en liaison avec l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique).

Une fois des dommages causés aux organismes, leur aptitude à réagir aux dégâts occasionnés passe par la production physiologique de photo-réparateurs. Ces adaptations potentielles dépendent de comportements comme la migration. En tout état de cause, le changement environnemental à venir aura la faculté d'augmenter la vulnérabilité des espèces aquatiques aux produits chimiques toxiques en affectant la capacité de ces espèces à s'adapter à de nouvelles conditions, sans oublier d'autres agents perturbateurs tels que microbes pathogènes ou l'augmentation de la température (Couillard, Courtenay, and Macdonald, 2008).

e. Changement de la composition spécifique – structure des populations

Toute atteinte de l'intégrité individuelle des organismes peut mener à un changement de la composition spécifique résultant en une chute de la diversité biologique. Plus généralement, la croissance et la survie étant touchées, on assisterait à un accroissement de la tolérance de certains groupes génétiques dont les conséquences sont difficiles à prévoir. Les macroalgues marines sont des producteurs primaires très importants dans les écosystèmes côtiers, servant de nourriture aux herbivores et procurent un habitat à de nombreux organismes. La recherche des effets du rayonnement ultraviolet sur celles-ci s'est concentrée sur des effets physiologiques au niveau individuel, alors que l'impact du rayonnement sur les assemblages reste mal connu. Il en est de même des effets sur les autres membres de la communauté, en particulier les consommateurs. Les expériences de terrain dans ce domaine sur le macrobenthos sont rares. On peut signaler des mesures réalisées sur *Monostroma hariotii* et une communauté algale de l'Antarctique, ou des manipulations de consommateurs ont été effectuées alors que les jeunes algues étaient soumises à des doses variables de radiations artificielles (Zacher et al., 2007). Les rayonnements UV-A et UV-B ont négativement affecté la succession macroalgale. (Zacher, Wulff, Molis, Hanelt, and Wiencke, 2007) et après 106 jours d'expérience, la

diversité était sensiblement réduite dans les assemblages exposés. Les consommateurs, en particulier les gastéropodes, peuvent s'adapter aux effets négatifs des UV sur la richesse et la diversité alagale jusqu'à un certain niveau. Il n'en demeure pas moins que le rayonnement UV-B a le potentiel d'affecter la zonation, la composition et la diversité des algues intertidales antarctiques affectant les interactions trophiques dans ce système. D'autres effets négatifs, qui en découleraient, ont été aussi constatés sur la stabilité des écosystèmes, d'autres interactions trophiques et finalement les cycles biogéochimiques (Zacher, Wulff, Molis, Hanelt, and Wiencke, 2007).

RÉPONSES DES ORGANISMES ET DES ÉCOSYSTÈMES A L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER

Les processus hydrauliques ne cessent de modeler plages, cordons littoraux, baies, et la morphologie des estuaires. Les fleuves apportent des sédiments à la côte. Les vents déplacent les sédiments non consolidés sur les estrans, remodelent les paysages dunaires tout au long du rivage, et produisent les vagues qui se brisent à la côte. L'angle entre la ligne de rivage et la direction des vagues crée des courants côtiers qui transportent les sédiments le long du rivage. Toute évolution de la bathymétrie (liée à l'élévation du niveau de la mer mais aussi à l'évolution temporelle du débit des fleuves, des courants côtiers, et à l'intensité et à la durée des tempêtes) est susceptible de produire des changements importants dans les modèles de dépôt de sédiment et d'érosion côtière. Par exemple, en milieu ouvert, les modèles de réfraction des vagues se décaleront perpendiculairement au rivage au fur et à mesure que le niveau de la mer montera. (Pethick, 2001).

Des travaux intéressants ont récemment été réalisés à Arcachon par Chaumillon et al. (2004) qui ont étudié les grands corps sableux enfouis sous les vases estuariennes actuelles. Ces accumulations sableuses se sont mises en place au cours du dernier millénaire et procure une transition sédimentaire révélatrice des évolutions qu'a subi le bassin. Ce passage du sable à la vase s'est déroulé en synchronisme avec les activités humaines qui lui sont contemporaines et en relation avec les changements climatiques qui l'ont accompagnés (Chaumillon et al., 2004), les perturbations anthropogènes constituant le facteur le plus important. Elles consistent principalement en la continentalisation de terrains à caractéristiques estuariennes et sont responsables du remplissage rapide de la zone relictuelle soumise à la marée, de diminutions d'énergie dans le prisme de marée et

des courants associés et du dépôt de sédiments vaseux (Chaumillon, Tessier, Weber, Tesson, and Bertin, 2004)

Dans le cas des fleuves très aménagés (dans lesquels les sédiments circulent peu et mal), la perte de sédiments fournis à la côte pourra accélérer l'érosion de rivage. L'élévation du niveau de la mer sera responsable d'une redistribution de l'énergie hydraulique, produisant des accidents dans la migration des sédiments à l'échelle locale de l'estuaire et régionale sur le littoral adjacent, transformant ainsi la morphologie du rivage (Pethick, 2001).

Adoptant une approche historique, la description de l'évolution géomorphologique des sites servira de tremplin à la compréhension des conditions écologiques contemporaines. L'approche est d'abord historique - la futurologie repose sur l'étude du passé - autour des cartes anciennes de la région et à partir des données écologiques existantes acquises plus récemment. Examinons tout d'abord le type de réponses physiques qu'un environnement côtier pourra opposer à l'élévation du niveau de la mer.

Accroissement de la hauteur des vagues

La fréquence et la taille des vagues augmenteront en conjonction avec l'élévation relative du niveau de la marée haute. Si la côte est limitée par une falaise, une érosion active s'installera ; alors que dans le cas d'un rivage plat, l'estran pourra s'étaler vers le haut. Dans tous les cas de rigidification du trait de côte par une digue ou autre construction, le domaine intertidal verra sa pente augmenter.

L'accroissement de la dynamique aura un impact sur la période planctonique des invertébrés marins benthiques qui pourra de manière significative affecter la distribution des juvéniles benthiques. Clancy and Cobb (1997) ont étudié le rapport entre l'advection et l'abondance de megalopes planctoniques du crabe *Cancer irroratus* dans le détroit de l'île de Block, Île de Rhode (Etats-Unis), sur une période de 8 années. Aux petites échelles (distance de plusieurs mètres avec des échantillons prélevés simultanément), il ne se produit pas de changement détectable dans la répartition des mégaloques ; à plus grande échelle spatio-temporelle (quelques minutes sur des centaines de mètres) les résultats sont variables. Les chercheurs ont cependant détecté un rapport significatif entre la direction des vagues et la distribution des animaux. Nous arguons du fait que les mégaloques de crabe de roche. En relation avec les phénomènes d'advection, les larves peuvent être transportées sur des dizaines de kilomètres sur de brèves durées et se concentrent sur certains rivages (Clancy and Cobb, 1997).

Dans l'estuaire externe, l'eau plus profonde mène à une augmentation des vagues se propageant depuis la mer ouverte. Celles-ci érodent alors les sédiments intertidaux, provoquant un recul de la limite haute-slikke / schorre. Les sédiments érodés sont déplacés en direction de l'estuaire intérieur, où ils ont tendance à se redéposer sur la zone intertidale supérieure, participant à une élévation bathymétrique des vasières et du schorre. La micro-falaise entre le marais et la haute slikke de ces secteurs estuarien intérieurs continue à s'éroder en fonction de la force des vagues en relation avec la vitesse de l'élévation du niveau de la mer. Cette érosion, combinée avec la migration possible des prés salés s'accompagne d'une réorganisation de la chenalisation, à un rythme correspondant au niveau d'énergie que le système peut absorber (Pethick, 2001).

Diminution de la rugosité ; Accroissement des vitesses ; Hauts niveaux d'énergie dans les zones externes

Les caractéristiques de la marée dépendent principalement de son amplitude mais la morphologie conditionne la quantité d'énergie libérée en estuaire, le volume oscillant, la disponibilité en sédiments et la direction et les taux de transport de ces derniers. En conséquence de l'élévation du niveau de la mer, la rugosité sera diminuée avec des vitesses accrues et l'apparition de hauts niveaux d'énergie dans les zones externes de l'estuaire, en relation directe avec l'évolution du volume oscillant. Le calcul des taux de transgression dans un estuaire en réponse à l'élévation de niveau de la mer a été réalisé par Pethick (2001) sur la Humber (Angleterre) en utilisant un modèle dans lequel la marée dans une section transversale estuarienne donnée est liée au seuil d'érosion du sédiment formant le lit et les rives de cette section. Il a été montré que l'élévation du niveau de la mer dans une section transversale trapézoïdale typique mène à des volumes de marée accrus et, ainsi, à un effet de cisaillement accru du lit.

Dans l'estuaire de la Blyth (Angleterre), French et al. (2008) ont montré l'importance de la remise en suspension des sédiments des vasières par les vents forts et provoquant l'exportation épisodique de sédiments depuis l'estuaire. L'équilibre sédimentaire dépend potentiellement de la fréquence des événements de vent fort, puisque les exportations atteignent des quantités beaucoup plus grandes que l'importation moyenne dans des conditions calmes. Le forçage météorologique intermittent peut exercer ainsi une contrainte importante sur l'équilibre sédimentaire des systèmes estuarien autrement dominés par la marée (French, Burningham, and Benson, 2008). Ducrotoy et Ibanez (2002)

ont montré l'importance primordiale de ce facteur environnementale dans la dynamique des populations macrozoobenthiques de la Baie de Somme, l'apport de sédiments marins ayant la faculté d'oblitérer les vasières et d'en transformer les peuplements.

Au contraire, travaillant sur le long-terme dans la région de Marennes-Oleron, Bertin et al. (2005) ont montré comment le transit sédimentaire a évolué à la baisse depuis 1824. Depuis cette époque, le volume d'eau entrant a diminué de 20%, en relation avec une pression anthropique très élevée, principalement liée à la culture d'huîtres. Ainsi, les processus océaniques et connexes liés aux activités humaines semblent appropriés pour expliquer des taux de sédimentation élevés. La diminution du volume oscillant peut s'expliquer par une augmentation de la résistance de friction lors de la propagation de l'onde de marée, due au shoaling général accru par la présence de structures aquacoles (Bertin et al., 2005).

Élargissement des chenaux - Accroissement des salinités dans l'estuaire interne du au surcreusement des chenaux

Dans la réponse de l'estuaire à l'accroissement d'énergie interne, la section transversale s'élargit, réduisant les vitesses des courants et faisant passer le cisaillement au-dessous de seuils critiques. Ce processus se répète sur toute la longueur de l'estuaire malgré la diminution progressive des volumes poussés par la marée (Pethick, 2001). En conséquences, la salinité et les valeurs de Eh sont affectées. Or ce sont des facteurs déterminants dans la structure des communautés et dans la zonation des espèces végétales dans les marais salés. Plusieurs auteurs ont confirmé que ces facteurs liés aux temps d'inondation peuvent avoir un impact considérable sur les plantes du schorre.

En ce qui concerne les estuaires macro et méga-tidaux des plaines maritimes, Prandle (2004) a examiné 24 estuaires britanniques, à savoir comment les marées et les débits des fleuves avaient pu en déterminer la taille et la morphologie actuelle. Il a établi des scénarios traduisant l'ajustement bathymétrique qui pourra se produire dans chacun d'eux suite à l'accélération de l'élévation du niveau de la mer. Son but était de déterminer si la bathymétrie actuelle reflète ou non les forces mises en jeu actuellement et comment les changements à venir pourraient se répercuter sur ces estuaires. Considérant des estuaires synchrones ou non, il a pu montrer qu'il existe toute une gamme de mise en phase avec les nouvelles données océanographiques régionales. La temporalité de ces phénomènes s'établit d'une décennie pour les estuaires les plus courts et les moins profonds au millénaire pour

les estuaires les plus longs, plus profonds avec de faibles amplitudes de marée (Prandle, 2004). Les conséquences sur les peuplements végétaux et animaux serait donc ainsi variable suivant le cas de figure.

L'évolution concomitante d'autres facteurs de l'environnement est à prendre en compte. Ainsi, les changements les plus rapides dans la courantologie estuarienne, s'accompagneront-ils d'une élévation de la salinité. Nous avons vu précédemment que c'est un facteur environnemental important dans la physiologie de la moule *Mytilus edulis*. En l'occurrence, l'efficacité des globules sanguins du bivalve (haématocytes), chargés de la défense immunitaire principalement par phagocytose, est conditionnée par tout changements important de salinité. On a pu démontrer que tout accroissement de ce paramètre pouvait empêcher la circulation des hématocytes et entraver leur locomotion.

Cas particulier des deltas submersibles

La débit qui se produit à marée basse depuis un estuaire macro-tidal (et a fortiori méga-tidal) dans le milieu côtier aval représente une barrière potentielle au mouvement de sédiment le long de la côte. Une telle barrière peut s'établir sous forme d'un relief deltaïque intertidale ou/et subtidal complexe comme on peut le voir à grande échelle en Baie de Somme (Ducrotoy, 1992). Ces deltas submersibles entraînent une déviation du transport sédimentaire marin et assurent une protection effective aux littoraux adjacents (Dyer and Huntley, 1999). Les deltas de marée se composent de deux composantes principales, un delta d'inondation situé dans l'embouchure et un delta de reflux vers le large habituellement localisé vers l'aval dans l'infra-tidal. Ce dernier constitue généralement un rempart de forme triangulaire alimenté par le mouvement de sédiment parallèle à la côte, habituellement sous forme de dunes hydrauliques qui ont tendance à migrer vers l'aval de l'embouchure. Elles peuvent alors être capturées par le drift et accomplir un transfert de sédiment de côtier au travers de la bouche de l'estuaire (Fitzgerald et Penland, 1987). Les dunes hydrauliques qui caractérisent ces systèmes de delta brisent les vagues et réduisent, ainsi, l'énergie qui se diffuse le long du rivage adjacent. La taille et l'ampleur des deltas de reflux dépendent du volume oscillant et de la force du transport côtier, lui-même dépendant de l'énergie locale disponible (Walton et Goodall, 1972). Les peuplements benthique qui s'y installent sont caractéristiques des conditions hautement énergétiques qui y règnent (James and Ducrotoy, 1999; Ducrotoy, Rauss, and Sylvand, 2005)

Dynamique du bouchon vaseux

Les caractéristiques de l'eau au maximum de turbidité déterminent la disponibilité de sédiments en suspension dans le fleuve dans la zone d'eau douce au contact de la marée (Darke and Megonigal, 2003). La dynamique sédimentaire y est fortement variable et aura des répercussions sur les vasières et les schorres. Dans ces derniers, le dépôt de sédiment peut être jusqu'à 10 fois supérieur pendant la période de végétation, la densité et la taille de plantes étant fortement corrélées aux taux de dépôt. L'altitude, la bathymétrie locale, et la durée d'inondation ont été corrélées avec les taux de dépôt mais de façon saisonnière. Ces données recueillies par Darke et Megonigal (2003) suggèrent que la végétation est essentielle pour fixer les dépôts de sédiment, en particulier quand la quantité de sédiment en suspension n'est pas limitante. Une plus longue durée d'inondation peut participer à une augmentation du dépôt de sédiment, mais s'avère secondaire (Darke and Megonigal, 2003).

A partir de recherches menées en Zélande et dans la Mer des Wadden aux Pays-Bas, Norkko et al. (2002) ont démontré que les effets de dépôts terrigènes brutaux, liés à la dynamique du bouchon vaseux, pouvaient s'avérer catastrophiques pour les communautés macrobenthiques estuariennes. Dans les deux régions étudiées, le dépôt d'argile provoque une réduction du nombre d'individus de plus de 50% après 3 jours et de plus de 90% après 10 jours, indépendamment de l'épaisseur d'argile qui s'est déposée. Le crabe *Helice crassa* reste le seul animal à pouvoir survivre, car capable de remonter à la surface du dépôt. Les densités en restent aussi élevées sous conditions expérimentales au laboratoire. Après dispersion des dépôts argileux (suite à une tempête, par exemple), la recolonisation des sédiments superficiels est rapide. Cependant, les animaux benthiques tels que les grands bivalves ne récupèrent pas les niveaux observés sur le terrain à la fin de l'expérience. Dans l'estuaire, les sables colmatés sont les plus longs à recouvrer leur état antérieur à l'envasement. Les résultats soulignent aussi le rôle du vent, la perturbation et le transport des sédiments et de la macrofaune avec le substrat et l'importance de la bioturbation par les crabes comme facilitant le rétablissement des autres espèces macrobenthiques après la perturbation (Norkko et al., 2002).

Erosion des vasières / Migration amont des vasières

Si le rythme de progression le permet, la dynamique sédimentaire peut s'accompagner d'une érosion des vasières avalées et d'une migration des vasières de haut niveau vers

l'amont. La prévision de la distance de migration, utilisant un modèle en deux dimensions, a été effectuée dans l'estuaire de Humber en Angleterre (Environnement Agency, 1999). Dans cet estuaire, le taux de migration linéaire moyen des vasières de l'estuaire dans son ensemble a été calculé comme atteignant 1,3 m pour une élévation de 1 millimètre du niveau de la mer ou de 8 m/an assumant une élévation de 6 mm/an du niveau de la mer. Le taux de migration envisagé est semblable au taux d'érosion horizontale observé de la limite du schorre dans l'estuaire externe qui s'est retiré par 1 à 2 m/an en moyenne au cours des vingt dernières années, avec une élévation concomitante de 1,4 mm/an du niveau de la mer (Shennan et Woodworth, 1992) – voir plus loin les travaux de Pethick sur ce sujet.

Afin de préciser les modalités de migration des vasières, Reenve et Karunarathna (2009) ont pris en compte trois types estuariens : une vallée glaciaire inondée, une ria (lit majeur ennoyé) et une plaine côtière inondée. Ces types estuarien sont différents dans leur origine et ont également différentes caractéristiques dues aux éléments géomorphologiques actuels qui leur sont propres. L'interférence humaine, sous forme de construction de digues et de dragage, a été également considérée. Une analyse des différents systèmes a permis de prouver que la nature de la réponse morphodynamique à long terme à l'élévation de niveau de la mer dépend du type estuarien et de la disponibilité du sédiment externe pour satisfaire la demande croissante de sédiment dans le système (Reeve and Karunarathna, 2009). Si l'estuaire a un afflux abondant de sédiment externe de façon continue, alors l'estuaire peut maintenir sa géomorphologie et atteindre un état stable. En l'absence d'approvisionnement proportionné en sédiment externe, certaines structures morphologiques telles que des marais salés et les cordons littoraux sont susceptibles de reculer ou de disparaître tout à fait pendant le processus de l'évolution morphologique synchrone de l'élévation du niveau de la mer. Ce genre d'analyse suggère également qu'une interférence humaine modérée sous forme de dragage et de constructions structurales adaptées n'a pas d'impact significatif sur la géomorphologie globale des estuaires sur le long terme. Cependant, l'équilibre est fragile et il est souvent difficile de réduire les activités à un niveau compatible avec le maintien d'un équilibre dynamique (Reeve and Karunarathna, 2009).

Dans beaucoup estuariens européens ayant subi des aménagements contraignants, les habitats intertidaux pourraient disparaître à l'avenir en raison de l'élévation du niveau de la mer qui risque d'enserrer les estrans contre les protections côtières existantes. La pente du secteur intertidal résultant est susceptible de devenir plus raide avec un sédiment plus grossier. L'eau de mer pourrait dominer ces estrans en liaison avec une intrusion marine

facilitée par une profondeur accrue et des apports d'énergie en hausse. Fujii et Raffaelli (2008) ont étudié les impacts de telles transformations sur la macrofaune benthique dans un habitat intertidal de l'estuaire de Humber (Angleterre) en 2003-2004. Ils ont examiné la répartition spatiale de la biomasse benthique le long du gradient longitudinal de l'estuaire et de la largeur des zones intertidales de part et d'autre du chenal principal (Fujii and Raffaelli, 2008). Une analyse en régression multiple a indiqué que plus 80 % de la variation observée dans la biomasse des bivalves *Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*, et la totalité de la biomasse pour les autres espèces pouvaient être expliquées par les variables environnementales principales telles que la salinité, les caractéristiques du sédiment et les paramètres morphologiques. Les données physiques pour l'estuaire de la Humber ont été projetées dans l'avenir en réponse à l'élévation probable du niveau de la mer. Les simulations des modèles ont prouvé qu'une élévation de niveau de la mer de 0.3 m aurait comme conséquence une perte de 63 % des secteurs intertidaux mais seulement de 6.9 % de la biomasse macrobenthique totale. L'intrusion saline pourrait en partie compenser une telle perte de biomasse. Cependant, les changements environnementaux associés, tels que l'augmentation de pente de plage et les décalages sédimentaires, pourraient avoir des impacts avec une perte potentielle de biomasse jusqu'à de 22.8 %, selon l'ampleur des changements environnementaux (Fujii and Raffaelli, 2008; Fujii, 2007).

Réduction ou progression des prés salés - Installation théorique de prés salés en amont – devenir des prairies halophiles, etc.

Les prés salés sont réputés répondre directement aux perturbations entraînées par des niveaux marins fluctuants - élévation du substrat, accrétion... (Simas 2001, (Ducrotoy and Elkaïm, 1992) Adam 2002, Dyer 2002, Watson 2004). French (2006) a modélisé la dynamique sédimentaire de tels prés salés dans des conditions évolutives. Le taux d'évolution du marais et l'importance du changement enregistré dépendent du taux local d'élévation du niveau de la mer, des caractéristiques physiques spécifiques du marais, de la pente à l'interface slikke-schorre et de la proximité du marais avec des criques tidales. Les taux verticaux d'augmentation qui suivent l'élévation de niveau de la mer ont contribué aux changements des facteurs abiotiques pendant les 50 dernières années.

D'après Pethick (2001), la migration amont des marais salés dépend avant tout de la pente de l'arrière-pays qui reste accessible et surtout de la présence ou non de digues limitant l'estuaire. Pour une élévation de 1 mm/an du niveau de la mer, sur des marais salés dont la

pente est inférieure ou égale à 0,1%, on aurait une migration amont de leur limite estuarienne de 1 m/an, comme cela a été proposé pour la Humber (Pethick, 2001). Cependant, les mesures réalisées dans l'estuaire de la Blackwater (Pethick, 1997) ont montré que l'augmentation de l'altitude des schorres pouvait atteindre 8 à 10 mm/an, nettement en excès par rapport aux taux actuel d'élévation du niveau de la mer moyen de 1,4 mm/an. Si ces taux d'augmentation sont indicatifs d'une réponse générale des marais à l'élévation de niveau de la mer, alors des taux d'atterrissement semblables à ceux prévus pour la Humber pourraient être atteints sur des pentes de 1%. Des pentes plus raides que celles-ci limiteraient la migration amont des prés salés qui risqueraient de subir une forme de compression (English Nature, 1992) comme la haute slikke et le pré-schorre continueraient à s'éroder (Ducrotoy and Elkaïm, 1992).

Du point de vue biotique, la distribution zonale des plantes phanérogames dans les marais salé a été étudiée intensivement pendant plus d'un siècle. Cependant, les mécanismes de ségrégation des espèces restent mal compris. La majeure partie du travail essayant d'expliquer la distribution verticale des espèces s'est concentrée sur le rôle des facteurs abiotiques. Généralement la salinité et l'inondation sont considérées comme les facteurs environnementaux principaux régissant la zonation (Billeaud et al., 2007; Morris, 2006).

Les interactions concurrentielles parmi les espèces sont atténuées par l'influence de la végétation sur le captage de sédiment et les modifications relatives de l'altitude du marais. Un modèle utilisé par Billeaud et al. (2007) démontre qu'il existe des rétroactions entre les processus physiques comme l'augmentation de sédiment et les processus biologiques de ce type qui déterminent la zonation, en rapport avec l'évolution géomorphologique locale, la productivité primaire et la distribution spatiale des espèces. Certaines espèces dominantes et envahissantes comme la spartine (*Spartina sp*) (Triplet et al., 2008) peuvent modifier leur environnement et ainsi exclure des espèces moins compétitives (Billeaud, Tessier, Lesueur, and Caline, 2007; Morris, 2006). Comme nous le verrons ci-dessous, la dimension temporelle doit être prise en compte pour envisager la recolonisation progressive des sédiments par les phanérogames du schorre.

Dimension temporelle

L'étude écologique du macrozoobenthos intertidal et des facteurs environnementaux de la Baie de Somme a servi, depuis 1981, de support à l'auteur dans ses investigations sur l'estuaire picard. Du côté marin, un accroissement des vitesses des courants de marée

entraîne une élévation de l'hydrodynamisme avec un accroissement des salinités dans l'estuaire interne, aboutissant à un élargissement du chenal. Ces transformations revêtent des aspects tant spatiaux que temporels. Vis-à-vis de la dimension spatiale, dans le cas d'un estuaire ouvert sur le continent, on s'attendrait à une migration amont des vasières et une réduction des prés sales. En fait, parce que la baie de Somme est entièrement figée par des digues (les digues de renclôture), on assiste à une migration aval des schorres et des slikkes, mais pour combien de temps encore ? Du point de vue temporel, de nouveaux habitats à haut niveau d'énergie s'installent dans les zones externes. Les tendances peuvent se résumer comme suit :

- le pré-schorre double sa surface d'installation tous les 10 ans,
- les faciès estuariens (vasières, bancs de coques *Cerastoderma edule*) se trouvent, globalement, réduits dans leur implantation,
- les faciès sous influence marine, subissant un fort hydrodynamisme, s'accroissent de façon saisonnière dans les parties externes et au centre de l'estuaire.

Il en résulte un phénomène de tenaille de la part des communautés de transition (pré-schorre et intrusion marine), soit depuis le milieu terrestre, soit depuis le milieu marin, qui enserre les communautés estuariennes.

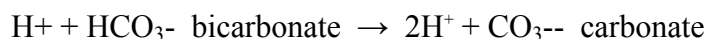
EFFETS DE L'ACCROISSEMENT DU CO₂

L'accroissement de la concentration en CO₂ de l'atmosphère n'a pas pour seule conséquence l'effet de serre. Il a un impact sur la photosynthèse et sur la respiration végétale et animale, mais aussi sur les conditions chimiques de l'eau. Ainsi, le CO₂ s'accumulant actuellement dans l'atmosphère se trouve-t-il absorbé dans les couches supérieures de l'océan, où il peut avoir des effets biochimiques sur les animaux marins et les plantes en plus des effets provoqués par le réchauffement global.

Acidification du milieu - Hypercapnie animale

Les effets positifs du CO₂ sur la photosynthèse (fixation du carbone) laissent entrevoir une augmentation de la production primaire en même temps qu'un effet sur l'albédo, entraînant une augmentation du métabolisme du plancton.

D'autre part, le CO₂ atmosphérique est lié de façon dynamique à l'océan à leur interface par des réactions chimiques bien connues :



équations dont la direction dépend de la concentration des réactifs, en liaison avec le pH. On pourra donc s'attendre à une dissolution des coquilles calcaires en milieu plus acide qui entraînera une indisponibilité des ions métalliques essentiels qui jouent un rôle dans la croissance et le développement des organismes tant animaux que végétaux. Cela pourra poser des problèmes de rétention en eau pour certaines plantes des prés salés et avoir des conséquences sur la distribution des plantes.

Les pressions partielles élevées de CO_2 , accompagnant un pH plus acide (hypercapnie) affecteront la physiologie des animaux. Nos connaissances actuelles des effets du CO_2 comme substance chimique s'étendent des effets de l'hypercapnie sur la régulation acide-base du milieu intérieur, la calcification et la croissance, la respiration, et le métabolisme en général. Portner et al. (2004) ont tenté d'évaluer les processus critiques et les seuils au delà desquels ces effets peuvent devenir nuisibles. Le CO_2 provoque non seulement l'acidification de l'eau, mais également l'acidose des tissus et liquides corporels. Grâce à l'accumulation compensatoire de bicarbonate et un rééquilibrage ionique, une nouvelle dynamique interne peut s'établir mais avec des effets possibles à long terme sur les fonctions métaboliques (Portner, Langenbuch, and Reipschlager, 2004). Quoique de tels processus puissent ne pas porter préjudice à l'animal, on s'attend à ce qu'ils affectent sa croissance et la reproduction à long terme.

Effet sur la photosynthèse (fixation du carbone) - Augmentation de la production primaire

Un accroissement du CO_2 atmosphérique pourra participer à une augmentation de la production primaire en synergie avec d'autres facteurs climatiques seulement et seulement si les nutriments et un affaiblissement des précipitations ne limitent pas la croissance des plantes. Curtis et al. (1989) ont ainsi prouvé que la productivité primaire du roseau *Schoenoplectus americanus* (autrefois *Scirpus olneyi*) a augmenté avec un accroissement du CO_2 et Rozema et al. (1990, 1991) ont montré sa tolérance accrue au sel avec une teneur plus élevée en CO_2 dans l'atmosphère.

Il existe peu de travaux sur les estuaires tempérés mais dans la mangrove, il a été montré que l'accroissement de CO_2 atmosphérique avait eu un effet positif sur le taux de croissance des palétuviers, leur taux d'assimilation, leur biomasse, la surface de feuille et la longueur des tiges (Farnsworth et al., 1996 ; Ball et al., 1997). En tout état de cause, les recherches

portant sur les effets du CO₂ atmosphérique sur les agrosystèmes, la forêt et les systèmes herbacés suggèrent une augmentation de la croissance avec un impact à long terme sur la productivité et sur les processus de recyclage des nutriments.

Les changements climatiques risquent de renforcer les effets de certaines pollutions et perturbations. Le risque d'eutrophisation permet d'illustrer ce propos. Elle prend son origine dans un enrichissement anthropique du milieu estuarien en substances nutritives. Elle se manifeste sous forme de floraisons algales et planctoniques inhabituelles pouvant aboutir à une asphyxie du milieu. La température et l'hydrodynamisme gouvernant directement ou indirectement certains de ces phénomènes (écume, mortalité des coques *Cerastoderma edule*) (Desprez et al., 1992), on peut penser à la possibilité d'un étalement des conditions favorables à l'eutrophisation dû à un échelonnement des "blooms", par exemple.

Equilibre osmotique des plantes halophiles

(Ador I., Rio, and Cabral, 2007) ont montré que dans les marais salés les plus anciens de l'estuaire du Tage (Portugal), notamment dans les zones riches en azote du sol, la succession des plantes était plus rapide que dans des marais plus récents avec des concentrations inférieures en azote. Dans les secteurs riches en azote, les plantes qui peuvent le mieux résister aux variations de pression osmotique contiennent plus de régulateurs de l'azote, tels que la proline et la bétaine. Elles dominent alors la communauté végétale, ce qui peut causer une réduction de la richesse spécifique. C'est le cas de *Halimione portulacoides* qui accumule l'ammonium quaternaire méthylé pour l'osmorégulation. Une espèce comme *Juncus gerardi* (Loisel, 1869), n'accumule pas ce type de composés azotés pour l'osmorégulation et, en conséquence, ne peut entrer en concurrence avec les plantes décrites précédemment.

3. SYNERGIE ENTRE FACTEURS

Stratification des eaux

Se surajoutant aux effets des évolutions de la température sur les écosystèmes estuariens et littoraux, des changements dans la dynamique atmosphérique (température de l'air, force du vent, et écoulement des eaux douces) contribueront à une restructuration de la courantologie côtière et en particulier à une réorganisation de la stratification de la colonne d'eau. Une stratification plus nette, causée par des températures plus élevées de surface et un accroissement de l'écoulement de l'eau douce augmentera l'énergie requise pour le mélange vertical de l'eau, résultant dans une couche intermédiaire océanique, se mélangeant moins bien à l'eau plus profonde. En conséquence, les organismes benthiques risquent d'être privés des nutriments d'origine continentale contenu dans cette strate (Polovina et al. 1995). Dans la colonne d'eau, Freeland et al. (1997), ont trouvé un doublement de la biomasse du zooplancton dans le Pacifique entre les années 50 et les années 80 (Brodeur et al., 1992) mais un déclin de 70% dans le courant côtier de Californie au cours de la même période (Roemmich et McGowan 1995). McGowan et al. (1998) ont attribué ce déclin à long terme aux températures de l'eau en hausse ayant pour résultat une intensification de la stratification et un abaissement global de la régénération nutritive dans la colonne d'eau. Il sera intéressant de montrer comment ce phénomène pourra affecter les milieux côtiers et en particulier son incidence sur la dynamique des estuaires.

Physiologie animale

Les tendances actuelles dans le climat global affectent les animaux ectothermes marins non seulement à cause de l'augmentation de la température ambiante, mais aussi à cause des effets synergiques des concentrations en dioxyde de carbone. Les effets combinés du réchauffement et des teneurs élevées en CO₂ ont été examinés chez le crabe comestible (*Cancer pagurus*) (Metzger et al., 2007). La tension superficielle de l'oxygène (PaO₂) dans l'hémolymphe a été enregistrée pour des gammes de température de 10 à 22°C. En conditions d'hypercapnie (1% CO₂), une réduction significative de la pression d'oxygène partielle a été observée. Ainsi, l'hypercapnie a-t-elle pu participer à une réduction de la

fenêtre de tolérance thermique de l'animal (Metzger, Sartoris, Langenbuch, and Portner, 2007). De telles interactions entre la température ambiante et les augmentations anthropogéniques du CO₂ devront être considérées lors d'investigations futures sur les effets du changement climatique sur les écosystèmes.

Croissance et développement

Les effets d'une élévation de la température peuvent se combiner avec l'accroissement des radiations solaires et l'allongement éventuel de la photopériode. On est alors confronté à l'appréciation du synchronisme des conditions écologiques, dans l'apparition des juvéniles, par exemple, ainsi que leur tolérance en fonction de l'âge ou du stade de développement.

Lionard et al. (2005) ont pu mettre en évidence le rôle combiné de la salinité et de l'intensité lumineuse sur la croissance de certaines communautés planctoniques. Ces phénomènes se surajoutent parfois à un enrichissement en sels nutritifs et accentuent les manifestations de l'eutrophisation (Jassby et al. 2002).

En plus des invertébrés, les poissons ont retenu l'attention de certains scientifiques, dans le Rhône en particulier (Daufresne 2004). Henderson (2007) s'est, pour sa part, intéressé à toute la communauté piscicole du Canal de Bristol et à sa réponse aux changements de climat. En Australie, des travaux comparables ont été réalisés dans le Queensland (Meynecke 2006). Les saumons restent des espèces bien étudiées, avec l'accent sur la bioénergétique (Rand 2006, Solomon et Sambrook 2004).

Enfin, dans une revue bibliographique sur l'écologie estuarienne, on ne peut passer sous silence les effets changeants de la pollution, qu'elle soit chimique ou organique. C'est à la fois dans le temps et dans l'espace que Braune et al. (2005) ont envisagé les tendances de polluants organiques persistants et de mercure dans la matière vivante dans le cadre du changement climatique (Whitehead et al., 2009).

Enrichissement en matières nutritives et eutrophisation.

Les zones marines côtières sont typiquement soumises à une gamme des facteurs environnementaux, mais elles font face maintenant au changement climatique, qui se manifeste, entre autres, par une plus grande intensité et fréquence accrue d'événements météorologiques extrêmes. Les modèles globaux de changement climatique prévoient en l'occurrence des effets sur le régime hydrologique des fleuves côtiers en Europe dans les décennies à venir. Or, les phénomènes d'eutrophisation résultent de la combinaison de

facteurs climatiques (chaleur, eaux tranquilles...) occasionnant une manifestation de l'enrichissement en matières nutritives du milieu marin sous formes de blooms phytoplanctoniques ou autres phénomènes provoquant une asphyxie du milieu. Ainsi, dans l'estuaire de Mondego (Portugal) l'enrichissement en matière organique provoquant une eutrophisation s'est potentiellement aggravé à cause d'événements extrêmes (inondations, sécheresses et vagues de chaleur) (Cardoso, Raffaelli, and Pardal, 2008). L'impact des interactions de ces différents facteurs sur l'écologie du système a été envisagé, à deux niveaux trophiques-clés, le végétal *Zostera noltii* et le gastéropode *Hydrobia ulvae*. Les événements extrêmes décrits précédemment ont affecté différemment l'écosystème estuarien suivant le niveau considéré : les producteurs primaires et la macrofaune. Tandis que les inondations ont un effet direct sur *H. ulvae*, en éliminant une partie de sa population, elles n'ont pas affecté la biomasse de *Z. noltii*. En revanche, la sécheresse, par ses effets sur la salinité, ont directement affecté la biomasse du *Zostera*, avec une réaction en chaîne sur la dynamique d'*H. ulvae*. Les événements climatiques exceptionnels ont donc eu un effet négatif sur les capacités de récupération de l'écosystème (Cardoso, Raffaelli, and Pardal, 2008).

(Struyf, Van Damme, and Meire, 2004) ont étudié l'effet possible du changement des facteurs forçants externes sur le fonctionnement hydrologique des écosystèmes estuariens. Dans tous les secteurs à une densité de population humaine élevée, l'enrichissement nutritif anthropogène et ses conséquences sur les cycles biogéochimiques ont un impact bien connu sur ces écosystèmes. Le débit annuel moyen de l'estuaire de l'Escaut a presque triplé au cours de la période 1996-2000 (de $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 1996 à $73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2000). Ces conditions particulières sur cinq ans ont servi de référence pour modéliser et comprendre les futurs effets possibles du débit fluvial sur le fonctionnement écologique de l'estuaire. Aux débits élevés, (NH_4^+ , NO_3^- , silice dissoute et PO_4^{3-}) les concentrations nutritives dans l'eau douce et saumâtre ont montré une diminution allant jusqu'à 50% tandis que les rejets de substances nutritives augmentaient jusqu'à 100%. Les effets opposés de l'augmentation du débit sur NH_4^+ , NO_3^- et les concentrations en silice dissoute en été et hiver, ont eu comme conséquence l'effondrement de leur concentration indépendamment des cycles saisonniers. Dans des conditions élevées de débit, la prise de silice par les communautés de diatomées a diminué alors que les teneurs en silice dans la zone côtière adjacente ont augmenté en synchronisme avec les teneurs totales en silice à l'amont. L'intrusion saline dans les zones sous influence marine de l'estuaire a diminué. Ceci a eu

pour conséquence de décaler le gradient de salinité, avec des salinités inférieures observées dans l'embouchure. En conséquence, les concentrations dissoutes de TDIN, de NO₃ et de silice y ont doublé (Struyf, Van Damme, and Meire, 2004).

Dans l'estuaire de la Seine, l'accroissement de la température de l'eau a pu être mis en relation avec la pollution organique, en particulier :

- Une réduction des concentrations en oxygène
- Un accroissement de la biomasse phytoplanctonique pendant la période de croissance
- Une forte mortalité ensuite par « grazing » et par contamination virale en fin d'été

La stimulation de la croissance des algues en été

Des effets magnifiés par les apports de nutriments et de carbone (Ducharme, 2007 & 2008)

Dauvin (2005) a identifié deux réseaux alimentaires complémentaires :

- Zone oligohaline = turbidité maximale, planctonique (peu de benthos du aux dragages)
- Zone polyhaline = faible turbidité, bonne teneur en oxygène (poissons)

Le réseau alimentaire planctonique étant plus vulnérable aux effets combinés des températures plus hautes et de l'enrichissement en sels nutritifs, on peut penser qu'un déséquilibre puisse s'installer entre les deux zones reconnues. Cela met en valeur le programme SENEQUE qui avait pour but de modéliser la réponse des écosystèmes à la pollution nitrique sous influence du changement climatique (Gomez et al., 2003)

Dynamique des substances toxiques

Tout accroissement du niveau de la mer pourra également augmenter la salinité des couches aquifères d'eau douce, transformer la dynamique de la marée, la charge en sédiments et le transport de sels nutritif vers l'estuaire, modifiant indirectement la dynamique des substances chimiques d'origine anthropogène et la contamination microbiologique.

L'inondation plus fréquente des zones d'évacuation des déchets et des substances toxiques, pourront favoriser leur diffusion dans l'environnement et constituer de nouvelles menaces pour la santé des populations côtières et des écosystèmes. Tandis que les secteurs de rivage

rocheux exposés pourraient éprouver relativement peu de changement, les secteurs sub-horizontaux des estuaires tidaux pourront subir les contre-coups d'un lessivage accru.

Biodiversité et synergies entre facteurs

Au cours des temps géologiques, la biodiversité marine a fait preuve d'une lente augmentation, ponctuée par des extinctions de masse à relier à l'évolution des espèces et par des perturbations globales à relier à un équilibre écologique parfois fragile. Avec la civilisation, les humains ont exercé toutes sortes d'influences sur les milieux, certaines s'avérant nocives sur le long terme. Pêche excessive, réchauffement global, introductions biologiques, et pollution, ont provoqué un déclin rapide de la biodiversité marine globale, comme cela peut se mesurer au travers des extinctions d'espèces, des effondrements de population, et l'homogénéisation des communautés vivantes. Les conséquences de cette perte de biodiversité incluent des changements de fonction des écosystèmes et une réduction de la prestation des services et de la fourniture de biens de la part des écosystèmes, en particulier des estuaires. La perte globale de biodiversité continuera et s'accélérera probablement à l'avenir, accompagnée d'effondrements écologiques potentiellement plus fréquents et des décalages à l'échelle des communautés. Cependant, la synchronisation et l'importance de ces événements catastrophiques sont imprévisibles. En particulier, les moteurs du changement écologique sont multiples et agiront synergiquement pour accélérer la perte de biodiversité. Pourtant, la prédominance et l'importance de ces interactions demeurent l'une des plus grandes incertitudes dans les projections du futur changement écologique. Darling and Cote (2008) ont tenté de faire face à cette incertitude en effectuant une méta-analyse de 112 facteurs agissant sur la mortalité animale dans des communautés d'eau douce, marines et terrestres. Ils ont constaté qu'en moyenne, les mortalités de l'action combinée de deux facteurs de l'environnement n'étaient pas synergiques. En outre, seulement un tiers d'expériences appropriées a montré des effets véritablement synergiques, ce qui ne soutient pas le paradigme écologique actuel que les synergies sont quasiment universelles. Dans plus des trois quarts des cas, les résultats des interactions multiples étaient non-additifs (c.-à-d. n'étaient ni des synergies ni des antagonismes) (Darling and Cote, 2008).

Variabilité naturelle et gestion des écosystèmes estuariens

Dans les années 1990 à 2000, les travaux de la North Sea Task Force ont été réalisés dans un esprit de synthèse et de prospective. Plusieurs aspects présentés dans les rapports de qualité (1993 et 2000) publiés par la NSTF portaient sur l'évolution spatio-temporelle des populations naturelles en Manche – Mer du Nord (Ducrotoy 1992, 1999a, 1999b).

Des études plus générales, holistiques et intégrées dans leur démarche, sont apparues dernièrement. Preston (2004) a envisagé les conséquences du réchauffement global dans la Chesapeake Bay sur une période s'étendant de 1949 à 2002 et leurs implications pour la gestion des écosystèmes. Dans l'estuaire de la Weser (Allemagne) des travaux ont démarré à l'instigation d'Osterkamp et al. (2001) afin de mieux comprendre comment l'écologie du site pourra s'adapter à des variations brusques du climat. Ces approches environnementales ne seraient pas complètes sans l'apport des sciences humaines et sociales. Ainsi, des approches interdisciplinaires ont prévalu dans la région de la Weser (Schirmeret Schuchardt 2001) allant jusqu'à la prise en compte des paysages (Knogge et al. 2004).

Depuis 2004, le réseau d'excellence ENCORA et le Réseau Français de Recherche Côtière tentent de divulguer des résultats scientifiques essentiels à la compréhension des impacts possibles du changement climatique global (Ducrotoy, 2007).

4. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET

RESTAURATION ECOLOGIQUE DES HABITATS

ET DES FONCTIONNALITES ESTUARIENNES

Marais côtiers, prairies mésophiles et sub-halophiles, tourbières, ripisylves, vasières, criques, et estrans constituent des habitats estuariens précieux pour les oiseaux, les poissons, et les invertébrés qui représentent une ressource indispensable pour les sociétés humaines qui les exploitent. La survie de ces écosystèmes sous un climat changeant dépend principalement de leur capacité à s'adapter au changement, mais dépend également des activités humaines locales qui peuvent altérer leur capacité adaptative. Les processus biologiques et géologiques naturels ont le potentiel de fournir une réponse aux transformations progressives des écosystèmes, tant que leur niche écologique n'est pas bouleversée. L'accélération de l'élévation du niveau de la mer menace ces habitats par inondation, érosion, ou intrusion d'eau de mer. Au cours des six mille dernières années, des marais côtiers ont bel et bien été submergés, mais souvent ont pu migrer vers le large car l'accrétion de sédiments et la formation de tourbe leur a permis de garder le pas avec le taux lent d'élévation de niveau de la mer. Si les marges continentales des estuaires sont figées par des constructions humaines, la migration intérieure n'est de toutes façons plus possible, et ces marais pourraient être perdus s'ils ne peuvent pas retenir de sédiments à un rythme compatible avec les rythmes biologiques des organismes qui les peuplent. Bien que l'élévation du niveau de la mer se pose comme la menace la plus évidente, l'évolution du régime des précipitations, la désynchronisation et les fluctuations des apports d'eau douce et de sédiment, l'augmentation de la concentration de l'eau et de l'air en CO₂ et de la température pourront également créer des impacts substantiels. Nous avons vu, par exemple qu'une augmentation de la température de l'air et de l'eau favorisera la croissance et la distribution des plantes halophiles et des phytocénoses ripicoles. Pour beaucoup d'espèces, le facteur limite dans leur répartition géographique n'est pas la température moyenne, la température la plus basse qui dépasse les limites de tolérance de l'espèce. Un climat plus chaud pourrait favoriser les espèces exotiques fortement opportunistes au détriment des espèces indigènes.

Chaque estuaire répondra différemment aux évolutions du niveau de la mer, de la température, des apports d'eau douce et à la disponibilité des substances nutritives en fonction de ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. L'évolution diachronique de chacun d'eux dépendra aussi grandement des aménagements humains et de l'exploitation de leurs ressources par les communautés locales. C'est donc au cas par cas qu'on amorcera toute réflexion sur leur devenir. Alors que de nombreux systèmes estuariens bénéficient d'un engagement social visant à leur restauration grâce à une réduction de la pollution organique et chimique, une utilisation plus rationnelle des ressources vivantes, voire la réhabilitation de certains habitats, peu de plans de restauration prennent en considération les changements à venir sur le long terme. En général, les politiques de gestion et de mise en valeur du territoire ne tiennent pas compte suffisamment du fonctionnement des écosystèmes dans leur globalité et tendent à disperser leurs efforts sur des opérations médiatiques ponctuelles (Scavia et al., 2002). La prise en considération des fonctionnalités estuariennes qui produisent biens et services recherchés par les sociétés humaines passe par une meilleure gestion des apports nutritifs depuis le bassin versant. Une telle approche doit reposer sur l'intégration des zones ripicoles et des marais arrière-littoraux dans les projets de restauration écologique (Ducrotoy J.P., '10).

Dans cet ordre d'idée, la compréhension de l'évolution géomorphologique des estuaires s'impose d'emblée pour comprendre et maîtriser le destin des contaminants piégés ou non dans les sédiments, d'évaluer l'effet du changement climatique sur leur devenir à moyen et à long-terme ou de projeter l'évolution possible des habitats estuariens et péri-estuariens. Une telle approche suppose non seulement de modéliser (par exemple) l'évolution possible de l'élévation du niveau de la mer mais aussi d'intégrer tout projet de construction et d'aménagement, et de tenir compte des efforts de restauration envisageables dans le futur (Ganju and Schoellhamer, 2009). Des modèles couplés hydrodynamiques et de transport des sédiments pourront être utilisés à cette fin et être calibrés sur les niveaux d'eau, les courants, et/ou les teneurs des matières en suspension. Cependant, des erreurs peuvent poindre dans ces modèles car ils utilisent les données théoriques des prévisions marégraphiques. De petites variations entre la théorie et les niveaux atteints dans la réalité peuvent s'accumuler et causer des erreurs importantes dans la projection de l'évolution géomorphologique de l'estuaire. Une étape intermédiaire peut donc s'imposer pour simuler les évolutions géomorphologiques décennales exigeant le calibrage sur des sections transversales de l'estuaire. L'utilisation de données sur les flux de sédiment pour calibrer

un modèle géomorphologique estuarien garantit que l'évolution géomorphologique modélisée ne dépassera pas la disponibilité réelle en sédiment dans le bassin versant. (Ganju and Schoellhamer, 2009). Le choix des priorités de restauration sera finalement élaboré en fonction des caractéristiques locales du milieu et du cadre global défini qui s'appuiera des études hydro-climatiques et géo-morphologiques.

5. CONCLUSIONS

Le changement climatique en cours et à venir aura une influence directe ou indirecte sur les écosystèmes estuariens. Les facteurs principaux, dont on devra tenir compte dans un contexte dynamique et complexe, comprennent la température, les précipitations et l'état des ressources en eau douce (superficielle et souterraine), estuarienne et marine, les radiations solaires, l'élévation du niveau de la mer et les effets de l'accroissement du CO₂ dans l'atmosphère et les eaux marines.

Toute élévation de la température ambiante aura un effet sur la phénologie des organismes pouvant occasionner un asynchronisme entre cycles biologiques de plantes et d'animaux interdépendants. La transformation des niches écologique repoussera certaines espèces vers le nord avec un effet sur la biogéographie et le potentiel d'acclimation des végétaux et des animaux. L'évolution des précipitations pourra modifier les débits de fleuves et avoir un impact sur les ressources en eau, qu'elles soit douces, estuariennes ou marines, leur qualité étant affectée par les activités anthropiques incommodes. Toute évolution des débits se répercutera sur l'hydrologie et l'hydraulique estuarienne. L'accroissement du rayonnement solaire, en particulier des UV-B aura un effet variable sur les écosystèmes estuariens suivant la charge en sédiments de la colonne d'eau. L'interférence des composants atmosphériques (gaz, vapeur...) jouera un rôle accru dans la dispersion et l'absorption des radiations par les particules avec un effet boomerang sur la matière organique dissoute colorée. Celle-ci agit non seulement sur la qualité spectrale des rayons mais également sur la quantité de l'éclairement disponible. En conséquence, les types d'effets biologiques à rechercher concernent la fécondité, la croissance et le développement des organismes, leur survie en fonction des effets létaux attendus, leur mobilité à cause d'une inhibition possible des réponses phototactiques et photophobiques dont ils feront preuve, leur capacité auto-thérapeutique. Les changements de la composition spécifique qui pourront s'en suivre auront des répercussions sur la structure des populations concernées. La réponse des organismes et des écosystèmes à l'élévation du niveau de la mer est complexe et pourra s'avérer directe ou indirecte. L'accroissement de la hauteur des vagues par exemple influera directement sur les niches écologiques benthiques mais aura aussi des

conséquences sur la géomorphologie des estuaires, selon les conditions locales qui y règnent. On peut s'attendre, suivant les cas de figure, à une diminution de la rugosité, un accroissement des vitesses créant des hauts niveaux d'énergie dans les zones externes des embouchures. Dans les domaines internes, un élargissement possible des chenaux pourra provoquer un accroissement des salinités du au surcreusement des chenaux. Une perturbation de la dynamique du bouchon vaseux accompagnera une probable érosion des vasières suivi d'une migration amont de celles-ci si le contexte morphologique local le permet. De même, une réduction ou une progression amont des prés dépendra de l'espace de liberté qui leur est consenti mais avec des conséquences vraisemblable sur le devenir des prairies halophiles qui risquent de se trouver amoindries.

Les effets de l'accroissement du CO₂ comprennent l'acidification du milieu aquatique qui peut entraîner une hypercapnie animale. Les effets sur la photosynthèse (fixation du carbone) consistent en une augmentation probable de la production primaire mais avec des conséquences néfastes sur l'équilibre osmotique des plantes halophiles.

Les conditions climatiques évolutives verront leur amplitude et leurs caractéristiques progresser en interdépendance avec les activités humaines locales et globales, les systèmes considérés (socio-éco-systèmes) étant complexes. Les divers facteurs envisagés ci-dessus peuvent se superposer, interagir en synergie ou non, restant sous l'influence d'une dynamique estuarienne hydrologique perturbée, de charges nutritives excessives, d'une exploitation des ressources naturelles dispendieuse, de l'introduction d'espèces par les humains, la destruction d'habitat, et la contamination chimique toxique. Tandis que la capacité de certains écosystèmes estuariens pour faire face et s'adapter au changement climatique ou à la variabilité naturelle intrinsèque se trouvera compromise, un grand nombre d'écosystèmes seront mieux adaptés à la variabilité du climat de par leurs caractéristiques physiques et biologiques. Il faut donc recourir à la notions d'incertitude et se demander comment la traiter dans le type de travail qui nous intéresse ici. En fait, le monde scientifique et le monde politique ont des modes de fonctionnement reposant sur des objectifs différents. Cela peut mener à des critères divergents pour juger de ce qui est « douteux ou incertain » et ce qui est prouvé. En ce qui concerne les processus évolutifs, souvent les échelles de temps ne s'accordent pas et il est difficile de s'accorder et de caractériser l'incertitude et le risque. Ces différences peuvent compromettre la communication efficace parmi les scientifiques eux-mêmes suivant les disciplines mises en

jeu mais surtout avec les décideurs et le public. En tout état de cause, il demeure des questionnements qui sont socialement inévitables, auxquelles les scientifiques sont disposés à répondre mais qui s'inscrivent dans une variabilité naturelle qui n'est pas intégrée dans la socio-économie. Tout un ensemble d'approches existe pour traiter de l'incertitude qui toutes reposent sur un dialogue entre sciences dures et sciences sociales et surtout sur un échange entre scientifiques et politiques (Kinzig et al., 2003).

6. RECOMMANDATIONS

Les changements climatiques à venir au cours du 21^{ème} siècle risquent d'avoir tout un éventail d'effets sur les estuaires tidaux dans le monde en général et dans le nord-ouest européen en particulier.

L'élévation du niveau local de la mer, souvent mise en avant dans la littérature scientifique comme primordiale dans la dynamique de ces systèmes, s'impose comme préoccupation majeure pour le devenir des socio-écosystèmes considérés. D'une façon générale, les formes de relief côtier sont extrêmement sensibles aux changements hydrologiques qui se déroulent à moyen et à long terme et sont liées aux capacités de ces systèmes à absorber l'énergie supplémentaire produite par l'élévation du niveau des océans. Ces évolutions des gradients d'énergie tout au long du littoral auront comme conséquence une migration géographique des structures géomorphologiques actuelles (cordons littoraux, massifs dunaires, schorres...), ce qui devrait permettre à chaque forme de relief de se resituer à un nouveau niveau d'équilibre énergétique. La vitesse de ces remaniements dépend étroitement des conditions locales de bathymétrie et un effort devra être consenti pour calculer l'élévation locale du niveau marin dans le contexte global. La prévision du taux de migration pour différentes formes de relief offre un outil de gestion côtier essentiel, permettant la prise de décisions pour adapter et, dans certains cas, pour faciliter une telle migration. Les exemples examinés ici démontrent l'importance de ces adaptations pour permettre aux systèmes biologiques d'accompagner ces transformations morphologiques. Le repli stratégique constitue l'un des moteurs pour faciliter une telle migration des structures géologiques et des communautés vivantes. La réponse des organismes et des écosystèmes à ces contraintes est multiforme et variée afin de réagir à des conditions environnementales liées à l'accroissement de la hauteur des vagues, la diminution de la rugosité des fonds estuariens sur la marée, l'accroissement des vitesses, l'apparition de hauts niveaux d'énergie dans les zones externes, l'accroissement des salinités dans l'estuaire interne du au surcreusement des chenaux. A la suite de ces transformations, la dynamique du bouchon vaseux et l'érosion des vasières seront soumises à un élargissement probable des chenaux entraînant une migration des vasières et une réduction ou des prés salés. L'installation théorique de prés salés en amont ainsi que le devenir des prairies halophiles du lit majeur du fleuve dépendent étroitement de l'anthropisation du milieu et

du degré de liberté qui sera accordé à ces habitats par les aménageurs. Pour simplifier, on peut dire que les diverses unités morphologiques composant nos estuaires ne disparaîtront pas purement et simplement mais se redistribueront géographiquement, à la condition que cette migration géomorphologique ne soit pas muselée mais facilitée.

En passant en revue la littérature spécialisée, on constate que chaque estuaire présente des caractéristiques particulières qui en font un écosystème unique. Chacun s'adaptera donc à un rythme qui lui est propre dépendant grandement des conditions locales d'évolution des conditions environnementales. Les deltas inondables s'avèrent être de précieux auxiliaires de la défense du littoral mais n'ont pas encore été reconnus comme tels dans les projets de défense des rivages marins. Les estuaires pourvus d'un delta inondable dans leur partie externe seront les moins sensibles à l'accélération de cette élévation. Il est nécessaire de modéliser l'évolution probable de ces systèmes deltaïques en tant que systèmes de défense auto-entretenus. Cependant, la législation actuelle n'est pas adaptée à une telle approche dynamique et le législateur pourra se rapprocher du scientifique pour introduire une telle innovation dans les systèmes de gestion côtiers. Si nous persistons à appliquer des systèmes de gestion statiques face à l'élévation du niveau de la mer, une disparité croissante risque de surgir entre nos besoins et les ressources littorales.

Même si l'élévation du niveau de la mer reste une préoccupation majeure pour l'avenir du littoral, d'autres transformations dues au changement de la climatologie régionale et locale auront un impact dont les conséquences restent à évaluer pour chaque estuaire, les échelles de variation s'étageant sur une gamme de 1 à 100. Les précipitations et les ressources en eau, associées à un accroissement des températures constituent un facteur-clef dans les mutations à venir dans les habitats et les communautés animales et humaines (qui restent indissociables). Une phénologie précoce liée à un déplacement des populations aura un impact certain sur la biogéographie des espèces avec un retentissement sur la biodiversité locale et la disponibilité des ressources naturelles. Ici encore, une approche dynamique est recommandée, favorisant les adaptations locales et régionales. On gardera en esprit le besoin de préparer les écosystèmes à accueillir ces mouvements biologiques permettant aux nouvelles niches qui apparaissent de trouver de nouveaux habitants.

En synergie avec les effets sur le cycle hydrologique, le cycle du carbone et des nutriments sera affecté. L'accroissement de la teneur en CO₂ de l'atmosphère jouera un rôle dans la biologie des plantes ne serait-ce que par son effet sur la photosynthèse. C'est ici toute la problématique de la fixation du carbone qui est en jeu à cause d'une augmentation possible

de la production primaire et un effet retour sur l'albédo. Les problèmes d'acidification de l'eau marine auront une incidence sur l'équilibre osmotique des plantes halophiles et, par suite sur la distribution biogéographique des plantes. Une plus grande disponibilité des ions métalliques essentiels risque d'accompagner ce phénomène conduisant à une inhibition de la croissance et des contrecoups sur la morphologie et l'éthologie des animaux. Les scénarios d'évolution des concentrations de CO₂ prévus dans l'océan soulignent en effet que la sensibilité des organismes au CO₂ devra être examinée, surtout chez les animaux. Afin d'établir des relations de cause à effet, il y aura besoin d'identifier les processus physiologiques qui sont sensibles au CO₂ au-delà de l'accent actuel mis sur la calcification. Toute action locale pour limiter la production locale de CO₂, dans l'esprit du Protocole de Kyoto, sera bienvenue mais dans le cadre plus général d'un aménagement durable de chaque estuaire favorisant leur fonction de puits de carbone.

Les radiations solaires constituent une menace permanente pour tout organisme vivant à la surface de la Terre. Les organismes s'y sont adaptés et possèdent un potentiel de réajustement encore mal compris. Bien que des connaissances approfondies existent sur les mécanismes physiologiques et éthologiques qui satisferont aux nouvelles exigences futures, on rencontre des difficultés à adapter celles-ci aux contextes locaux. Par exemple, l'interférence des composants atmosphériques (gaz, vapeur...), la dispersion et l'absorption des radiations par les particules joueront un rôle capital dans la déplétion du spectre original en UV-A et UV-B. La dynamique du bouchon vaseux, en relation avec la matière organique en suspension et les dépôts vaseux, reste un domaine d'investigations à favoriser. Les types d'effets biologiques que nous avons recherchés couvrent la fécondité, la croissance et le développement, l'inhibition de la photosynthèse, la mobilité des animaux, l'inhibition des réponses phototactiques et photophobiques, les facultés auto-thérapeutiques face au rayonnement et enfin les effets létaux. Il sera essentiel de comprendre dans un avenir proche quelles conséquences de tels effets pourront avoir sur les changements de la composition spécifique et donc, la structure des populations.

Afin de développer et de perfectionner divers modèles sur les estuaires dans le cadre des changements à venir, une collecte intégrée de données est souhaitable au niveau européen de façon à caractériser chaque estuaire dans sa variabilité et afin de pratiquer une inter-comparaison féconde. L'exemple de la dynamique sédimentaire montre le besoin d'unifier les approches, notamment en ce qui concerne l'impact d'aménagement d'infrastructures lourdes telles que canaux, barrages, etc. Les ramifications en termes de standardisation des

données concernent des compartiments et des problématiques aussi variées que le benthos ou la contamination chimique du sédiment (le cadmium restant parmi les polluants les plus significatif dans les estuaires de l'UE). De grands thèmes ressortent de cette réflexion et peuvent se résumer dans le besoin de développer les recherches suivantes :

- Développer des techniques de descente statistique (downscaling) aux problématiques locales liées l'évolution du climat pour chaque estuaire (par exemple, la progression des zones inondables dans la zone péri-estuarienne). Elles consistent à déterminer les corrélations statistiques entre des modèles numériques globaux et les mesures *in situ*. Ces corrélations relient ainsi plusieurs échelles spatio-temporelles des phénomènes à étudier. Elles sont ensuite mises à profit pour faire des prévisions sur le climat et autres conditions écologiques futures.
- Evaluer l'état de santé de chaque estuaire en s'appuyant sur les fonctions écologiques remplies ou non dans le système considéré.
- Cartographier les sites et les communautés vivantes les plus vulnérables, y compris les communautés humaines.
- Réaliser une analyse sociologique et économique des effets possibles de l'évolution du fonctionnement estuarien sous l'effet du climat changeant.

Le rôle de la recherche appliquée sera ici essentiel dans l'évaluation des incidences possibles. Elle concerne la télédétection et le développement de SIG adaptés (dans ce domaine, la cartographie des habitats s'avère indispensable). Il faudra continuer de développer des séries chronologiques de données à long-terme mais aussi mieux utiliser l'information provenant des divers programmes de surveillance. On devra se focaliser sur des paramètres prioritaires (par exemple, estimer la production de gaz à effet de serre au niveau de chaque estuaire) et sur quelques fonctions écologiques pertinentes en relation avec :

- La phénologie de la floraison de végétaux et la migration d'animaux sélectionnés ;
- Les interactions trophiques ;
- La pollution chimique et organique.

Il conviendra de développer des approches comparatives reposant sur l'analyse de grands jeux de données de milieux naturels à différentes échelles et des approches expérimentales en conditions contrôlées ou *in situ* pour comprendre les réponses aux contraintes physiques de différentes espèces cibles. Ces échelles varient des fonctions écologiques estuariennes

et leur adéquation entre les traits de vie des organismes et les caractéristiques environnementales des habitats ainsi que sur leur action sur les processus physiques, et les processus biogéographiques en mettant l'accent sur le rôle des filtres environnementaux sur la richesse, la composition taxonomique et la diversité fonctionnelle (traits biologiques) des communautés vivantes (Danylchuk and Tonn, 2006).

Il serait tentant de concentrer la synthèse réalisée ici sur un écosystème virtuel, résumant les évolutions possibles des estuaires macro-tidaux en général. Cependant, nous avons vu que les échelles temporelles évolutives s'échelonnent de la décennie au millénaire suivant les caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques des estuaires considérés. Ce genre d'exercice ne peut être réalisé qu'au cas par cas, sachant que le changement climatique ne représente qu'un type des changements globaux en cours, les autres concernant, par exemples, la socio-économie.

L'adaptation aux évolutions géomorphologiques à venir et la préparation des écosystèmes aux conditions environnementales futures passe par la « restauration » écologique des estuaires. Il s'agit en fait, ici, pour les estuaires de récupérer des fonctionnalités perdues qui les rendront plus malléables face aux transformations futures. La restauration des habitats doit être considérée comme un outil pour adapter l'estuaire aux perturbations à venir par :

- Repli stratégique,
- Réalignement,
- Création de zones inondables, et
- Création de zones tampon.

Le choix des priorités de restauration sera élaboré en fonction des caractéristiques locales du milieu et du cadre global défini qui s'appuiera sur les informations collectées dans le cadre du travail présenté ici. Il ne pourra ignorer le complexe estuarien dans sa globalité, comprenant le lit majeur du fleuve et tous les systèmes annexes, souvent soustraits à l'influence marine par intervention humaine.

Pour répondre aux préoccupations d'ordre général issues de la littérature et exposées ci-dessus, un travail de recherche (et les objectifs visés par celui-ci vis-à-vis de l'estuaire de Seine) est présenté dans le cadre du programme Seine-Aval 4.

Devant le besoin de mieux maîtriser la situation locale, on envisagera la reconquête de l'estuaire de la Seine sur des bases quantitatives et des scénarios d'élévation du niveau des eaux. Les évaluations du niveau global de la mer seront empruntées au GIEC et autres organismes spécialisés :

- 1) remontée du niveau moyen de la mer
- 2) renforcement des tempêtes (dépression + vent)
- 3) modification du régime de la Seine

La démarche scientifique prévue dans cette étude est basée sur la modélisation numérique. À partir d'un modèle numérique des courants de marée, de haute résolution, développé spécialement pour la Manche Orientale, on prévoit les actions suivantes :

- 1- Donner différents scénarii pour l'estuaire et le complexe estuarien en fonction du niveau moyen de la mer. Le but de cette action est de tracer des cartes topographiques de haute résolution pour différentes valeurs du niveau de la mer pour la vallée considérée comme potentiellement tidale.
- 2- Mettre en œuvre une étude de sensibilité avec ce modèle de courants de marée et des études statistiques sur l'élévation du niveau de la mer à long terme, en fonction des ondes de tempêtes et de la présence des constructions humaines. Les ondes de tempête sont le résultat des effets météorologiques sur le niveau de la mer et elles peuvent être définies au niveau des côtes littorales comme la différence entre le niveau d'eau observé et la marée astronomique prévue. En effet, les importantes ondes de tempête positives qui surviennent à marée haute peuvent provoquer des inondations côtières importantes.
- 3- Appliquer ces résultats à la topographie actuelle de l'estuaire prenant en compte les aménagements actuels et proposés.
- 4- Proposer une restauration des habitats estuariens prenant en compte les différents scénarios issus de la modélisation complétée par une approche opérationnelle d'ingénierie écologique.

La reconquête de l'estuaire devra être envisagée en réponse aux variations possible du niveau des eaux estuariennes, en fonction des quantités suivantes :

NIVEAU D'EAU /COURANTS

- modification de la marée à préciser;

- augmentation des niveaux extrêmes;
- modification du volume oscillant dans l'estuaire et dans les bassins portuaires
- quel effet de la remontée du niveau de la mer en remontant dans l'estuaire ?
- quel effet sur les inondations et propagation de crue?

VAGUES

- accroissement de la hauteur des vagues par réduction du déferlement et le renforcement des tempêtes ;
- quel changement sur la fréquence des tempêtes ?
- quel changement sur le climat de houle dans l'estuaire de la Seine ?

TRANSPORT SÉDIMENT/SALINITÉ

- remontée de la salinité ?
- érosion des vasières ?
- quelle influence sur les opérations de dragage du chenal de la Seine?

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarts BGW, Nienhuis PH (2003) Fish zonations and guilds as the basis for assessment of ecological integrity of large rivers. *Hydrobiologia* 500:157-178
- Abarnou A, Loizeau V, Le Guellec AM, Jaouen-Madoulet A (2002) Contaminants in marine foodwebs. *Revue de Medecine Veterinaire* 153:425-432
- Adam, P., 2002. Saltmarshes in a time of change. *Environmental Conservation* 29, 39-61.
- Adams DA (1963) *Ecology* 44:445-456
- Ador I., Mascarenhas PI (1999) Biomass of *Spartina maritima*, *Halimione portulacoides* and *Arthrocnemum fruticosum* in Tagus estuary salt marshes. *Halophyte Uses in Different Climates I - Ecological and Ecophysiological Studies*
- Ador I., Rio S, Cabral HN (2007) Species zonation in Corroios salt marsh in the Tagus estuary (Portugal) and its dynamics in the past fifty years. *Hydrobiologia* 587:205-211
- Ador I., Vale C, Catarino F (1996) Accumulation of Zn, Pb, Cu, Cr and Ni in sediments between roots of the Tagus estuary salt marshes, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 42:393-403
- Akopian M, Garnier J, Pourriot R (2002) Zooplankton in an aquatic continuum: from the Marne River and its reservoir to the Seine Estuary. *Comptes Rendus Biologie* 325:807-818
- Akopian M, Garnier J, Testard P, Ficht A (2001) Estimating the benthic population of *Dreissena polymorpha* and its impact in the lower Seine River, France. *Estuaries* 24:1003-1014
- Allard, D., Bourcier A., F.Bureau, Lefebvre D., Mesnager V., and Poudevigne I. Programme scientifique Seine- Aval: Zones humides de la basse vallée de la Seine. 15, 1-36. 2002. Rouen, IFREMER . Fascicule Seine-Aval.
- Allen CR, Gunderson L, Johnson AR (2005) The use of discontinuities and functional groups to assess relative resilience in complex systems. *Ecosystems* 8:958-966
- Allen RL, Baltz DM (1997) Distribution and microhabitat use by flatfishes in a Louisiana estuary. *Environmental Biology of Fishes* 50:85-103
- Alvarez Rogel J, Alcaraz Ariza F, Ortiz Silla R (2000) Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. *Wetlands* 20:357-372
- Anajjar EM, Chiffolleau JF, Bergayou H, Moukrim A, Burgeot T, Cheggour M (2008) Monitoring of trace metal contamination in the Souss estuary (South Morocco) using the clams *Cerastoderma edule* and *Scrobicularia plana*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 80:283-288
- Anon (2000) Restoration of Canada's Nanaimo Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 40:4-5

- Anon (2005) The importance of *Rangia cuneata* clam restoration to the holistic rehabilitation of the lake Pontchartrain estuary. *Journal of Shellfish Research* 24:332
- Anon (2007) Foundations of ecology - Classic papers with commentaries. The University of Chicago Press, Chicago and London
- Anon (2007) Restauration des écosystèmes côtiers. In: Dreves M, Chaussepied M (eds) IFREMER, Brest, pp 1-376
- Antoine P, Catt J, Lautridou JP, Somme J (2003) The loess and coversands of northern France and southern England. *Journal of Quaternary Science* 18:309-318
- Arndt S, Vanderborcht JP, Regnier P (2007) Diatom growth response to physical forcing in a macrotidal estuary: Coupling hydrodynamics, sediment transport, and biogeochemistry. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 112:
- Aubry, A. and Elliott, M. The Use of Environmental Integrative Indicators to Assess Anthropogenic Disturbance in Estuaries and Coasts - Application to the Humber Estuary, UK . 2007. The University of Hull & The Institute of Estuarine and Coastal Studies. M.Sc. Dissertation by Research in Estuarine and Coastal Science and Management.
- Azemar F, Van Damme S, Meire P, Tackx M (2007) New occurrence of *Lecane decipiens* (Murray, 1913) and some other alien rotifers in the Schelde estuary (Belgium). *Belgian Journal of Zoology* 75:83
- Babarro JMF, De Zwaan A (2008) Anaerobic survival potential of four bivalves from different habitats. A comparative survey. *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology* 151:108-113
- Bachelet G, Dauvin JC (1993) The Quantitative Distribution of the Benthic Macrofauna in Intertidal Sands of Arcachon Bay. *Oceanologica Acta* 16:83-97
- Baird D, Ulanowicz RE (1993) Comparative study of the trophic structure, cycling and ecosystem properties of four tidal estuaries. *Marine Ecology-Progress Series* 99:221-237
- Baird RC (2005) On sustainability, estuaries and ecosystem restoration: the art of the practical . *Restoration Ecology* 13:154-158
- Bakhmet IN, Berger VJ, Khalaman VV (2005) *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 318:121-126
- Bakker E., Brander K., Ducrotoy J.-P., George D., Gerlach S. and Hamerlynck O. 1994. Quality Status Report of the North Sea: Chapter 4, Marine Biology. *North Sea Task Force, Olsen and Olsen*, Fredensborg: 62-79.
- Ball, M. C., M. J. Cochrane, And H. M. Rawson. 1997. Growth and water use of the mangroves *Rhizophora apiculata* and *R. stylosa* in response to salinity and humidity under ambient and elevated concentrations of atmospheric CO₂. *Plant, Cell and Environment* 20:1158–1166.
- Bally G, Mesnage V, Deloffre J, Clarisse O, Lafite R, DUPONT JP (2004) Chemical characterization of porewaters in an intertidal mudflat of the Seine estuary: relationship to erosion-deposition cycles. *Marine Pollution Bulletin* 49:163-173
- Bates BC, Kundzewickz ZW, Wu S, and Palutikof JP. Climate Change and Water. Technical

- Baudrimont M, de Montaudouin X (2007) Evidence of an altered protective effect of metallothioneins after cadmium exposure in the digenean parasite-infected cockle (*Cerastoderma edule*). *Parasitology* 134:237-245
- Baxter JM (1990) *Seashores of Britain and Europe*. Mitchell Beazley, London
- Beaumais O, Laroutis D (2007) In search of natural resource-based economics : the case of the Seine estuary (France). *Hydrobiologia* 588:3-11
- Beliaeff B, O'Connor TP, Daskalakis DK, Smith PJ (1997) U.S. Mussel watch data from 1986 to 1994: Temporal trend detection at large spatial scales. *Environmental Science and Technology* 31:1411-1415
- Benoit G, Rozan TF, Patton PC, Arnold CL (1999) Trace metals and radionuclides reveal sediment sources and accumulation rates in Jordan Cove, Connecticut. *Estuaries* 22:65-80
- Berkes F, Hughes TP, Steneck RS, Wilson JA, Bellwood DR, Crona B, Folke C, Gunderson LH, Leslie HM, Norberg J, Nystrom M, Olsson P, Osterblom H, Scheffer M, Worm B (2006) Ecology - Globalization, roving bandits, and marine resources. *Science* 311:1557-1558
- Berthet B, Mouneyrac C, AMIARD JC, Amiard-Triquet C, Berthelot Y, Le Hen A, Mastain O, Rainbow PS, Smith BD (2003) Accumulation and soluble binding of cadmium, copper, and zinc in the polychaete *Hediste diversicolor* from coastal sites with different trace metal Bioavailabilities. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45:468-478
- Bertin, X., Chaumillon, E., Sottolichio, A., and Pedreros, R. (2005) Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: the Marennes-Oleron Bay and the Maumusson Inlet, France. *Continental Shelf Research*, 25:1115-1131.
- Best EPH, Hintelmann H, Dimock B, Bednar AJ (2008) Natural Cycles and Transfer of Mercury Through Pacific Coastal Marsh Vegetation Dominated by *Spartina foliosa* and *Salicornia virginica*. *Estuaries and Coasts* 31:1072-1088
- Billeaud, I., Chaumillon, E., Weber, O. (2005). Evidence of a major environmental change recorded in a macrotidal bay (Marennes-Oleron Bay, France) by correlation between VHR seismic profiles and cores. *Geo-Marine Letters* 25, 1-10.
- Billeaud, I., Tessier, B., Lesueur, P., and Caline, B. (2007) Preservation potential of highstand coastal sedimentary bodies in a macrotidal basin: Example from the Bay of Mont-Saint-Michel, NW France. *Sedimentary Geology*, 202:754-775.
- Billen G and Poulin M. L'oxygène : un témoin du fonctionnement microbiologique (1999). Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval : 5, 1-31.
- Billen G, Garnier J, Ficht A, Cun C (2001) Modeling the response of water quality in the Seine river estuary to human activity in its watershed over the last 50 years. *Estuaries* 24:977-993
- Billen G, Garnier J, Rousseau V (2005) Nutrient fluxes and water quality in the drainage network of the Scheldt basin over the last 50 years. *Hydrobiologia* 540:47-67
- Billon G, Ouddane B, Boughriet A (2001) Chemical speciation of sulfur compounds in surface sediments from three bays (Fresnaye, Seine and Authie) in northern France, and identification of some factors controlling their generation. *Talanta* 53:971-981

- Blott,S.J., Pye,K., Van der Wal,D., Neal,A., 2006. Long-term morphological change and its causes in the Mersey Estuary, NW England. *Geomorphology* 81, 185-206.
- Blum LK (1995) Pulsed ecosystems a new paradigm? *Estuaries* 18:545-659
- Bocher P, Piersma T, Dekinga A, Kraan C, Yates MG, Guyot T, Folmer EO, Radenac G (2007) Site- and species-specific distribution patterns of molluscs at five intertidal soft-sediment areas in northwest Europe during a single winter. *Marine Biology* 151:577-594
- Bonin CL, Zedler JB (2008) Southern California salt marsh dominance relates to plant traits and plasticity. *Estuaries and Coasts* 31:682-693
- Booij MJ (2005) Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. *Journal of Hydrology* 303:176-198
- Borja A, D.M.Dauer (2009) Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: comparing methodologies and indices. *Ecological Indicators* 8:331-337
- Borja A, V.Pe´rez, J.Franco (2000) A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40:1100-1114
- Boski T, Camacho S, Moura D, Fletcher W, Wilamowski A, Veiga-Pires C, Correia V, Loureiro C, Santana P (2008) Chronology of the sedimentary processes during the postglacial sea level rise in two estuaries of the Algarve coast, Southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77:230-244
- Boust D, Fischer J.C., Ouddane B, Petit F, and Wartel M. Fer et manganèse : réactivité et recyclages. 9, 1-39. 1999. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Bozek CM, Burdick DM (2005) Impacts of seawalls on saltmarsh plant communities in the Great Bay Estuary, New Hampshire USA. *Wetlands Ecology and Management* 13:553-568
- Braby CE, Somero GN (2006) Following the heart: Temperature and salinity effects on heart rate in native and invasive species of blue mussels (genus *Mytilus*). *Journal of Experimental Biology* 209:2554-2566
- Bradshaw AD (1996) Underlying principles of restoration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53 :3-9
- Bradshaw AD (2002) Introduction and philosophy. Chapter 1. In: Perrow MR, Davy AJ (eds) *Handbook of Ecological Restoration, Volume 1: Principles of Restoration*. Cambridge University Press, Cambridge
- Brander, K. 1995. The effect of temperature on growth of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *ICES Journal of Marine Science* 52: 1–10.
- Braune,B.M., Outridge,P.M., Fisk,A.T., Muir,D.C.G., Helm,P.A., Hobbs,K., Hoekstra,P.F., Kuzyk,Z.A., Kwan,M., Letcher,R.J., Lockhart,W.L., Norstrom,R.J., Stern,G.A., Stirling,I., 2005. Persistent organic pollutants and mercury in marine biota of the Canadian Arctic: An overview of spatial and temporal trends. *Science of the Total Environment* 351, 4-56.
- Brinson MM, Christian RR, Blum LK (1995) Multiple states in the sea-level induced transition from terrestrial forest to estuary. *Estuaries* 18:648-659
- Brion N, Billen G, Guezennec L, Ficht A (2000) Distribution of nitrifying activity in the Seine River (France) from Paris to the estuary. *Estuaries* 23:669-682

- Brodeur, R. D. and D. M. Ware, 1992. Interannual and interdecadal changes in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography* 1: 32–38.
- Brown AG (1997) Biogeomorphology and diversity in multiple-channel river systems. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6:179-185
- Brun-Cottan JC, Lesourd S, Lesueur P, Guillou S (2000) Determination of sediment erosion and deposition fluxes from direct measurements associated with a drifting buoy in a tidal estuary, an application to the Seine (France). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Serie Ii Fascicule A-Sciences de la Terre et des Planetes* 331:265-270
- Buchsbaum R, Powell JC (2008) Symposium review: Long-term shifts in faunal assemblages in eastern North American estuaries: A review of a workshop held at the biennial meeting of the Coastal and Estuarine Research Federation (CERF), November 2007, Providence, Rhode Island. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18:447-450
- Burgeot T. Des organismes sous stress. 14, 1-35. 1999. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Burns RF (1997) Global coastal zone: Land-Ocean Interactions in Coastal Zone (LOICZ) - project of International Geosphere-Biosphere Program (IGBP). *Sea Technology* 38:27-29
- Bussell JA, Gidman EA, Causton DR, Gwynn-Jones D, Malham SK, Jones MLM, Reynolds B, Seed R (2008) Changes in the immune response and metabolic fingerprint of the mussel, *Mytilus edulis* (Linnaeus) in response to lowered salinity and physical stress. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 358:78-85
- Cacabelos E, Quintas P, Troncoso JS (2008) Spatial distribution of soft-bottom molluscs in the Ensenada de San Simon (NW Spain). *American Malacological Bulletin* 25:9-19
- Caeiro S, Costa MH, Goovaerts P, Martins F (2005) Benthic biotope index for classifying habitats in the sado estuary: Portugal. *Marine Environmental Research* 60:570-593
- Caffrey JM, Murrell MC, Wigand C, McKinney R (2007) Effect of nutrient loading on biogeochemical and microbial processes in a New England salt marsh. *Biogeochemistry* 82:251-264
- Cahoon DR (2006) A review of major storm impacts on coastal wetland elevations. *Estuaries and Coasts* 29:889-898
- Cajaraville MP, Olabarrieta I, Marigomez I (1996) In vitro activities in mussel hemocytes as biomarkers of environmental quality: A case study in the Abra Estuary (Biscay Bay). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 35:253-260
- Callaway JC, Sullivan G, Zedler JB (2003) Species-rich plantings increase biomass and nitrogen accumulation in a wetland restoration experiment. *Ecological Applications* 13:1626-1639
- Caplat C, Lelievre C, Barillier D, Texier H (2006) An inventory of sediment pollutions in a French harbor: Comparison to a nonpolluted local area identified in Bay of Seine. *Journal of Coastal Research* 22:692-700

- Cardoso PG, Raffaelli D, Lillebo AI, Verdelhos T, Pardal MA (2008) The impact of extreme flooding events and anthropogenic stressors on the macrobenthic communities' dynamics. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 76:553-565
- Cardoso, P.G., Raffaelli, D., and Pardal, M.A. (2008) The impact of extreme weather events on the seagrass *Zostera noltii* and related *Hydrobia ulvae* population. *Marine Pollution Bulletin*, 56:483-492.
- Cebbron A, Berthe T, Garnier J (2003) Nitrification and nitrifying bacteria in the lower Seine River and estuary (France). *Applied and Environmental Microbiology* 69:7091-7100
- Cebbron A, Coci M, Garnier J, Laanbroek HJ (2004) Denaturing gradient gel electrophoretic analysis of ammonia-oxidizing bacterial community structure in the lower Seine River: Impact of Paris wastewater effluents. *Applied and Environmental Microbiology* 70:6726-6737
- Cebbron A, Garnier J (2005) Nitrobacter and Nitrospira genera as representatives of nitrite-oxidizing bacteria: Detection, quantification and growth along the lower Seine River (France). *Water Research* 39:4979-4992
- Cebbron A, Garnier J, Billen G (2005) Nitrous oxide production and nitrification kinetics by natural bacterial communities of the lower Seine river (France). *Aquatic Microbial Ecology* 41:25-38
- Cellule d'Observation du Littoral Haut-Normand (1999). Etude sur la restauration et la création de vasières intertidales le Havre. Convention d'étude Port Autonome du Havre, 98/4, 1-172.
- Cellule d'Observation du Littoral Haut-Normand (1997). Etude des nourriceries de la baie de Seine orientale et de l'estuaire Seine. Seine Aval.
- Chabrierie O, Poudevigne I, Bureau F, Vincelas-Akpa M, Nebbache S, AUBERT M, Bourcier A, Alard D (2001) Biodiversity and ecosystem functions in wetlands: A case study in the estuary of the Seine river, France. *Estuaries* 24:1088-1096
- Chatfield C, Collins AJ (1980) Introduction to Multivariate Analysis
- Chaumillon, E., Tessier, B., Weber, N., Tesson, M., and Bertin, X. (2004) Buried sandbodies within present-day estuaries (Atlantic coast of France) revealed by very high resolution seismic surveys. *Marine Geology*, 211:189-+.
- Chen X, Zong Y (1998) Coastal erosion along the Changjiang Deltaic shoreline, China: History and prospective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46:733-742
- Chen X, Zong Y (1999) Major impacts of sea-level rise on agriculture in the Yangtze delta area around Shanghai. *Applied Geography* 19:69-84
- Cheng W, Juang FM, Chen JC (2004) The immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus* at different salinity levels. *Fish and Shellfish Immunology* 16:295-306
- Chiffolleau J.F. (2001). La contamination métallique. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval, 8, 1-39.
- Chiffolleau JF, Auger D, Chartier E (1999) Fluxes of selected trace metals from the Seine estuary to the eastern English Channel during the period August 1994 to July 1995. *Continental Shelf Research* 19:2063-2082
- Chiffolleau JF, Auger D, Chartier E, Michel P, Truquet I, Ficht A, Gonzalez JL, Romana LA (2001) Spatiotemporal changes in cadmium contamination in the Seine estuary (France). *Estuaries* 24:1029-1040

- Chigbu P, Gordon S, Strange T (2004) Influence of inter-annual variations in climatic factors on fecal coliform levels in Mississippi Sound. *Water Research* 43:41-4352
- Ciutat A, Widdows J, Pope ND (2007) Effect of *Cerastoderma edule* density on near-bed hydrodynamics and stability of cohesive muddy sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 346:114-126
- Ciutat A, Widdows J, Readman JW (2006) Influence of cockle *Cerastoderma edule* bioturbation and tidal-current cycles on resuspension of sediment and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Marine Ecology-Progress Series* 328:51-64
- Clancy, M., and Cobb, J.S. (1997) Effect of wind and tidal advection on distribution patterns of rock crab *Cancer irroratus megalopae* in Block Island Sound, Rhode Island. *Marine Ecology-Progress Series*, 152:217-225.
- Clarisse O, Ouddane B, Fischer JC, Wartel M (2003) Metals sediment toxicity: Chemical approach by SEM/AVS ratio. Application on Seine estuary sediments. *Journal de Physique, IV*, 107:303-306
- Cloern JE, Nichols FH (1985) Temporal Dynamics of An Estuary - San-Francisco Bay - Preface. *Hydrobiologia*, 129: R5
- Coates S, Waugh A, Anwar A, Robson M (2007) Efficacy of a multi-metric fish index as an analysis tool for the transitional fish component of the Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 55:225-240
- Cochran JK, Hirschberg DJ, Wang J, Dere C (1998) Atmospheric deposition of metals to coastal waters (Long Island Sound, New York U.S.A.): Evidence from saltmarsh deposits. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 503-522
- Cognetti G, Maltagliati F (2000) Biodiversity and adaptive mechanisms in brackish water fauna. *Marine Pollution Bulletin* 40:7-14
- Collectif (2003) Quelles natures voulons-nous ? - Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement. Elsevier,
- Colmer TD, Flowers TJ (2008) Flooding tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179:964-974
- Colton, JR., J. B. 1972. Temperature trends and the distribution of groundfish in continental shelf waters, Nova Scotia to Cape-Hatteras as determined from research vessel survey data. *Fisheries Bulletin* 75: 1-21.
- Comin FA, Andez M, Herrera JA (2004) Spatial and temporal scales for monitoring coastal aquatic ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14:
- Committee on the Role of Technology in Marine Habitat Protection and Enhancement (1994) Restoring and protecting marine habitats : the role of engineering and technology. Nat. Academy Press, Washington DC
- Cooper A (1982) The effects of salinity and waterlogging on the growth and cation uptake of salt marsh plants. *New Phytologist* 90:263-275
- Cordi, B., Donkin, M.E., Peloquin, J., Price, D.N., and Depledge, M.H. (2001) The influence of UV-B radiation on the reproductive cells of the intertidal macroalga, *Enteromorpha intestinalis*. *Aquatic Toxicology*, 56:1-11.
- Cossa D and Ficht A. (1999). La dynamique du mercure. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval, 11, 1-25.

- Cossa D, Laurier FJG, Ficht A (2003) Mercury contamination in the Seine Estuary, France: An overview. *Biogeochemistry of Environmentally Important Trace Elements* 835:298-320
- Costello JH, Sullivan BK, Gifford DJ (2006) A physical-biological interaction underlying variable phenological responses to climate change by coastal zooplankton. *Journal of Plankton Research* 28:1099-1105
- Costil C, Dauvin J.C., Duhamel S, Hocdé R, Mouny P, and de Roton G. Patrimoine biologique et chaînes alimentaires. 7, 1-47. 2002. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Cotte,C., and Simard,Y. (2005) Formation of dense krill patches under tidal forcing at whale feeding hot spots in the St. Lawrence Estuary. *Marine Ecology-Progress Series*, 288:199-210.
- Couillard,C.M., Courtenay,S.C., and Macdonald,R.W. (2008) Chemical-environment interactions affecting the risk of impacts on aquatic organisms: A review with a Canadian perspective - interactions affecting vulnerability. *Environmental Reviews*, 16:19-44.
- Cox, S. P. And S. G. Hinch. 1997. Changes in size at maturity of Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) (1952–1993) and associations with temperature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54:1159–1165.
- Craft C., Broome S., Campbell C. (2002) Fifteen years of vegetation and soil development after brackish-marsh creation. *Restoration Ecology* 10:248-258
- Crossland,C.J., Bairn,D., and Ducrotoy,J.P. (2005) The coastal zone: a domaine of global interactions. In: *Coastal Fluxes in the Anthropocene*. C.J.Crossland, ed. Springer, Berlin, pp. 1-37.
- Cugier P, Billen G, Guillaud JF, Garnier J, Menesguen A (2005) Modelling the eutrophication of the Seine Bight (France) under historical, present and future riverine nutrient loading. *Journal of Hydrology* 304:381-396
- Cugier P, Le Hir P (2000) Three dimensional modelling of suspended matters in the eastern "baie de Seine" (English Channel, France). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Serie Ii Fascicule A-Sciences de la Terre et des Planetes* 331:287-294
- Cundy AB, Croudace IW (1996) Sediment accretion and recent sea-level rise in the Solent, Southern England: Inferences from radiometric and geochemical studies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43:449-467
- Cundy AB, Hopkinson L, Lafite R, Spencer K, Taylor JA, Ouddane B, Heppell CM, Carey PJ, Charman R, Shell D, Ulliyott S (2005) Heavy metal distribution and accumulation in two *Spartina* sp.-dominated macrotidal salt marshes from the Seine estuary (France) and the Medway estuary (UK). *Applied Geochemistry* 20:1195-1208
- Curtis, P. S., B. G. Drake, And D. F. Whigham (1989). Nitrogen and carbon dynamics in C3 and C4 estuarine marsh plants grown under elevated CO2 in situ. *Oecologia* 78:297–301.
- D.Taraks (1996) *The idea of biodiversity - Philosophies of paradise*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London

- Danylchuk, A.J., and Tonn, W.M. (2006) Natural disturbance and life history: Consequences of winterkill on fathead minnow in boreal lakes. *Journal of Fish Biology*, 68:681-694.
- Darke, A.K., and Megonigal, J.P. (2003) Control of sediment deposition rates in two mid-Atlantic Coast tidal freshwater wetlands. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57:255-268.
- Darling, E.S., and Cote, I.M. (2008) Quantifying the evidence for ecological synergies. *Ecology Letters*, 11:1278-1286.
- Dauer DM (1993) Biological Criteria, Environmental-Health and Estuarine Macrobenthic Community Structure. *Marine Pollution Bulletin* 26:249-257
- Daufresne M, Roger MC, Capra H, Lamouroux N (2004) Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhone River: effects of climatic factors. *Global Change Biology* 10:124-140
- Daufresne, M., Roger, M.C., Capra, H., Lamouroux, N., 2004. Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhone River: effects of climatic factors. *Global Change Biology* 10, 124-140.
- Dauvin J.C. (2007) Paradox of estuarine quality: Benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Marine Pollution Bulletin* 55:271-281
- Dauvin J.C., Desroy N (2005) The food web in the lower part of the Seine estuary: a synthesis of existing knowledge. *Hydrobiologia* 540:13-27
- Dauvin J.C., Desroy N, Janson AL, Vallet C, Duhamel S (2006) Recent changes in estuarine benthic and suprabenthic communities resulting from the development of harbour infrastructure. *Marine Pollution Bulletin* 53:80-90
- Dauvin J.C., Ruellet T, Desroy N, Janson AL (2007) The ecological quality status of the Bay of Seine and the Seine estuary: Use of biotic indices. *Marine Pollution Bulletin* 55:241-257
- Dauvin J.C., Vallet C (2006) The near-bottom layer as an ecological boundary in marine ecosystems: Diversity, taxonomic composition and community definitions. *Hydrobiologia* 555:49-58
- Dauvin J.C., Vallet C, Mouny P, Zouhiri S (2000) Main characteristics of the boundary layer macrofauna in the English Channel. *Hydrobiologia* 426:139-156
- Dauvin JC (2000) The muddy fine sand *Abra alba* *Melinna palmata* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco Cadiz oil spill. *Marine Pollution Bulletin* 40:528-536
- Dauvin JC, Dewarumez JM, Elkaim B, Bernardo D, Fromentin JM, Ibanez F (1993) Changes in *Abra-Alba* (Mollusca, Bivalvia) Populations in the English-Channel and North-Sea, 1977-1991 - Relation with Climatic Factors. *Oceanologica Acta* 16:413-422
- Dauvin JC, Vallet C, Mouny P, Zouhiri S (2000) Main characteristics of the boundary layer macrofauna in the English Channel. *Hydrobiologia* 426:139-156
- Davenport J (1979) The isolation response of mussels (*Mytilus edulis* L.) exposed to falling sea water concentrations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 59:123-132
- Dawson, D. Are habitat corridors conduits for animals and plants in a fragmented landscape. 94. 1994. English Nature Research Report.

- De Jonge V.N., De Jong D.J. (2002) Ecological restoration in coastal areas in the Netherlands: concepts, dilemmas and some examples. *Hydrobiologia* 478:7-28
- de Jonge VN, de Jong DJ (2002) Ecological restoration in coastal areas in the Netherlands: concepts, dilemmas and some examples. *Hydrobiologia* 478:7-28
- de Jonge, V.N., de Jong, D.J. (2002). 'Global change' impact of inter-annual variation in water discharge as a driving factor to dredging and spoil disposal in the river Rhine system and of turbidity in the Wadden Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 55, 969-991.
- De Leeuw J, De Munck W, Olff H, Bakker JP (1993) Does zonation reflect the succession of salt-marsh vegetation? A comparison of an estuarine and a coastal bar island marsh in The Netherlands. *Acta Botanica Neerlandica* 42:435-445
- Defosse, J.M. (1995) Relationships Between Vertical Zonation, Zone-Homing Behavior and Hemolymph Acid-Base-Balance in Monodonta-Lineata (Gastropod, Trochid). *Cahiers de Biologie Marine*, 36: 21-27.
- Dekker R, Beukema JJ (2007) Long-term and large-scale variability in productivity of the tellinid bivalve *Macoma balthica* on Wadden Sea tidal flats. *Marine Ecology-Progress Series* 337:117-134
- Deksheniaks MM, Hofmann EE, Klincks JM, Powell EN (2000) Quantifying the effects of environmental change on an oyster population: A modeling study. *Estuaries*, 23: 593-610
- Deloffre J, Lafite R, Lesueur P, Lesourd S, Verney R, Guezennec L (2005) Sedimentary processes on an intertidal mudflat in the upper macrotidal Seine estuary, France. *Estuarine Coastal And Shelf Science* 64:710-720
- Deloffre J, Lafite R, Lesueur P, Verney R, Lesourd S, Cuvilliez A, Taylor J (2006) Controlling factors of rhythmic sedimentation processes on an intertidal estuarine mudflat - Role of the turbidity maximum in the macrotidal Seine estuary, France. *Marine Geology*, 235: 151-164
- Delouis A (2001) Sediments and navigation in estuary. *Houille Blanche-Revue Internationale de l'Eau*, 6, 2-67
- Desclaux-Marchand C, Paul-Pont I, Gonzalez P, Baudrimont M, de Montaudouin X (2007) Metallothionein gene identification and expression in the cockle (*Cerastoderma edule*) under parasitism (trematodes) and cadmium contaminations. *Aquatic Living Resources* 20:43-49
- Desprez, M., Rybarczyk, H., Wilson, J.G., Ducrotoy, J.P., Sueur, F., Olivesi, R., and Elkaim, B. (1992) Biological Impact of Eutrophication in the Bay of Somme and the Induction and Impact of Anoxia. *Netherlands Journal of Sea Research*, 30:149-159.
- Diaz RJ, Solan M, Valente RM (2004) A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management* 73:165-181
- Dobson AP, Bradshaw AD, Baker AJM (1997) Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. *Science* 277:515-522
- Dobson J, Edwards A, Hill A, Park R (2001) Decadal changes in the Forth Estuary and Firth of Forth in relation to the North Sea 1980-2000. *Senckenbergiana Maritima* 31:187-195

- Doody, P. (1984). *Spartina anglica* in Great Britain. Huntingdon, Nature Conservancy Council. A report of a meeting held at Liverpool University on 10th November 1982.
- Ducharne A (2008) Importance of stream temperature to climate change impact on water quality. *Hydrology and Earth System Sciences* 12:797-810
- Ducharne A, Baubion C, Beaudoin N, Benoit M, Billen G, Brisson N, Garnier J, Kieken H, Lebonvallet S, Ledoux E, Mary B, Mignolet C, Poux X, Sauboua E, Schott C, Thery S, Viennot P (2007) Long term prospective of the Seine River system: Confronting climatic and direct anthropogenic changes. *Science of The Total Environment* 375:292-311
- Duck RW, McManus J, Diez JJ (1995) Comparative study of two largely infilled estuaries: The Eden Estuary (Scotland) and the Ria de Foz (Spain). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 29:203-210
- Ducrotoy J.P. (2010) *La restauration écologique des estuaires*, Lavoisier, Paris, à paraître.
- Ducrotoy J.-P. (1999) Indication of changes in the marine flora of the North Sea in the 1990s. *Marine Pollution Bulletin*, 38 (8): 646-654
- Ducrotoy J.P. (2008) Pré-étude bibliographique à l'établissement de mesures de maintien et de restauration des fonctionnalités de la Seine aval et des milieux connexes. GIP Seine-Aval. Rouen, 1-3-2009, 1-731
- Ducrotoy J.-P., Elkaim B. (1992) Spatio-temporal changes in the distribution of macrobenthic communities in a megatidal estuary. *International Council for the Exploration of the Sea, C.M. 1992/L: 34*, 8pp
- Ducrotoy J.-P., Elliott M. & Dejong V. (2000) The North Sea: an evaluation. In 'Seas at the Millennium', Shepard C. (ed), Elsevier, London
- Ducrotoy, J. P. (2004). Estuaires et changements climatiques : la baie de Somme et le littoral picard. Levacher D, Sergent P, and Ouahsin A (Ed.), Compiègne, CETMEF. Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, 733-737
- Ducrotoy, J. P., Rauss, I., and Sylvand, B. (2005) Estuaires et changements climatiques : la baie de Somme et le littoral picard. VIIIèmes Journées Génie civil - Génie côtier, Compiègne, Laboratoire d'Hydraulique Numérique UTC-CETMEF, 57-62
- Ducrotoy, J.P. (1989) General methods of study of macrotidal estuaries: the biosedimentary approach. In: J. Macmanus & M. Elliott (Ed.), *Developments in estuarine and coastal study techniques* Olsen & Olsen, Fredensborg, 41-52.
- Ducrotoy, J.P. (1992) Spatio-temporal changes in the distribution of macrobenthic communities in a megatidal estuary. *International Council for the Exploration of the Sea C.M. 1992L 34*, 8pp.
- Ducrotoy, J.P. (1993) The North Sea Task Force: A new approach to assessing the quality of the North Sea. *Ocean Challenge*, 2, 32-35.
- Ducrotoy, J.P. (1999) Protection, conservation and biological diversity in the North-East Atlantic. *Aq* 9, 313-325.
- Ducrotoy, J.P., (2002) Macro-algae functional groups as an assessment tool of biodiversity. Rep 3, BIOMARE.
- Ducrotoy, J.P. (2003). BIOMARE - English sites for the monitoring of marine biodiversity. Netherlands Institute of Ecology, Centre for Estuarine and Marine Ecology. Rep Book and CD: 63

- Ducrotoy, J.P. (2007) Glossaire et thésaurus sur la Gestion Intégrée des Zones Côtières. CETMEF - DIACT, Paris
- Ducrotoy, J.P., and Elkaïm, B. (1992) Spatio-temporal changes in the distribution of macrobenthic communities in a megatidal estuary. *International Council for the Exploration of the Sea, C.M.* 1992L 34:8pp.
- Ducrotoy, J.P., Desprez, M. (1986) Evolution spatio-temporelle de populations estuariennes de bivalves, liée des perturbations naturelles ou artificielles. *Halietis* 15, 283-299.
- Ducrotoy, J.P., Ibanez, F. (2002) The use of Andrew's series in assessing population dynamics of estuarine benthos. *Journal of the Marine Biology Association* 82, 746-769.
- Dunn WB, Ellis DI (2005) Metabolomics: Current analytical platforms and methodologies. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* 24:285-294
- Dupont J.P., Guézennec L, Lafite R, Le Hir P, and Lesueur P. (2001) Matériaux fins : le cheminement des particules en suspension Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval, 4, 1-39..
- Durell SEAL, Stillman RA, Caldow RWG, McGrorty S, West AD, Humphreys J (2006) Modelling the effect of environmental change on shorebirds: A case study on Poole Harbour, UK. *Biological Conservation* 131:459-473
- Durou C, Mouneyrac C, Amiard-Triquet C (2005) Tolerance to metals and assessment of energy reserves in the polychaete *Nereis diversicolor* in clean and contaminated estuaries. *Environmental Toxicology* 20:23-31
- Durou C, Smith BD, Romeo M, Rainbow PS, Mouneyrac C, Mouloud M, Gnassia-Barelli M, Gillet P, Deutch B, Amiard-Triquet C (2007) From biomarkers to population responses in *Nereis diversicolor*: Assessment of stress in estuarine ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66:402-411
- Dyer, F.M., Thomson, J., Croudace, I.W., Cox, R., Wadsworth, R.A. (2002). Records of change in salt marshes: A radiochronological study of three Westerschelde (SW Netherlands) marshes. *Environmental Science & Technology* 36, 854-861.
- Dyer, K.R. and Huntley, D.A. (1999). The origin, classification and modelling of sand banks and ridges. *Cont. Shelf Res*, 19: 1285–1330.
- Earle JC, Kershaw KA (1989) Vegetation patterns in James Bay coastal marshes. III. Salinity and elevation as factors influencing plant zonations. *Canadian Journal of Botany* 67:2967-2974
- Edwards A. (1998) Rehabilitation of coastal ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 37:371-372
- Edwards AMC, Winn PSJ (2006) The Humber Estuary, Eastern England: Strategic planning of flood defences and habitats. *Marine Pollution Bulletin* 53:165-174
- Eertman RHM, Kornman BA, Stikvoort E, Verbeek H (2002) Restoration of the Sieperda tidal marsh in the Scheldt estuary, the Netherlands. *Restoration Ecology* 10:438-449
- Ellien C, Thiebaut E, Barnay AS, Dauvin JC, Gentil F, Salomon JC (2000) The influence of variability in larval dispersal on the dynamics of a marine metapopulation in the eastern Channel. *Oceanologica Acta* 23:423-442

- Elliott M (2002) The role of the DPSIR approach and conceptual models in marine environmental management: an example for offshore wind power. *Marine Pollution Bulletin* 44:iii-vii
- Elliott M, Burdon D, Hemingway KL (2006) Estuarine, Coastal and Marine Habitat and Ecosystem restoration: confusing management and science. *Estuarine, Coastal and Shelf Science Manuscript Draft* :
- Elliott M, Cutts N (2004) Marine Habitats: Loss and Gain, Mitigation and Compensation. *Marine Pollution Bulletin* 49:671-674
- Elliott M, Griffiths AH, Taylor CTL (2007) The role of fish studies in estuarine pollution assessment. *Marine Pollution Bulletin* 29:51-62
- Elliott M, Quintino V (2007) The estuarine quality paradox, environmental homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin* 54:640-645
- Elliott, M. (2005). The Ecosystem Approach: A Unifying Concept in a Complex System - Myth or Reality? ECSA 39 International Conference, Estuaries and Coasts: 'The Ecosystem Approach' Heriot-Watt University, Edinburgh, Scotland, 5-7th September 2005.
- Ellis DI, Harrigan GG, Goodacre R (2003) Metabolic fingerprinting with Fourier transform infrared spectroscopy. *Metabolic Profiling: Its Role in Biomarker Discovery and Gene Function Analysis* 111-124
- English Nature (1992). *Coastal Zone Conservation: English Nature's Rationale, Objectives and Practical Recommendations*, English Nature, Peterborough, UK.
- Environment Agency (1999). *Humber Estuary: Geomorphological Studies*. Internal Report, Environment Agency, Peterborough, UK.
- Esteves De Sousa A (1951) *Notas Ecologicas. Acerca Da Sub-haloserie Da Regia o Salgadic a Litoral, Entre Corroios e Talaminho*, 1:161-188
- Fano EA, Mistri M, Rossi R (2003) The ecofunctional quality index (EQI): a new tool for assessing lagoonal ecosystem impairment. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 56:709-716
- Farnsworth, E. J., A. M. Ellison, And W. K. Gong. 1996. Elevated CO₂ alters anatomy, physiology growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oecologia* 108: 599–609.
- Feest A. (2006) Establishing baseline indices for the quality of biodiversity of restored habitats using a standardised sampling process. *Restoration Ecology*, 14: 112-122
- Fenchel T (1970) Studies on Decomposition of Organic Detritus Derived from Turtle Grass *Thalassia-Testudinum*. *Limnology and Oceanography*, 15: 14-18
- Fernandes MB, Sicre MA, Broyelle I, Lorre A, Pont D (1999) Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in French and European rivers. *Hydrobiologia*, 410: 343-348
- Fernandes S, Sobrala P, van Duren L (2007) Clearance rates of *Cerastoderma edule* under increasing current velocity. *Continental Shelf Research*, 27:1104-1115
- Fiehn O (2001) Combining genomics, metabolome analysis, and biochemical modelling to understand metabolic networks. *Comparative and Functional Genomics* 2:155-168
- Fisher WS (1988) Environmental influence on bivalve hemocyte function. *American Fisheries Society Special Publication* 18:225-237

- Fitzgerald, D.M. and Penland, S. (1987). Backbarrier dynamics of the East Friesian Islands. *J. Sediment. Petrol*, 57 (4) : 746–754.
- Flowers TJ, Colmer TD (2008) Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179:945-963
- Focardi S, Corsi I, Mazzuoli S, Vignoli L, Loisel SA, Focardi S (2006) Integrating remote sensing approach with pollution monitoring tools for aquatic ecosystem risk assessment and management: A case study of Lake Victoria (Uganda). *Environmental Monitoring and Assessment* 122:275-287
- Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS, Walker B (2002) Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio* 31:437-440
- Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS (2004) Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35:557-581
- Forbes MG, Dunton KH (2006) Response of a subtropical estuarine marsh to local climatic change in the southwestern Gulf of Mexico. *Estuaries and Coasts* 29:1242-1254
- Ford, R.B., Anderson, M.J., Kelly, S., 2007. Subtle and negligible effects of rainfall on estuarine infauna: evidence from three years of event-driven sampling. *Marine Ecology-Progress Series* 340, 17-27.
- Fox JP, Mongan TR, Miller WJ (1991) Long-term annual and seasonal trends in surface salinity of San Francisco Bay. *Journal of Hydrology* 122:93-117
- Freeland, H. J., K. Denman, C. S. Wong, F. Whitney, and R. Jacques. 1997. Evidence of change in the winter mixed layer depth in the Northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Research* 44: 2117–2129.
- French P.W. (2006) Managed realignment - the developing story of comparatively new approach to soft engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67:409-423
- French, J. (2006). Tidal marsh sedimentation and resilience to environmental change: Exploratory modelling of tidal, sea-level and sediment supply forcing in predominantly allochthonous systems. *Marine Geology* 235, 119-136.
- French, J.R., Burningham, H., and Benson, T. (2008) Tidal and meteorological forcing of suspended sediment flux in a muddy mesotidal estuary. *Estuaries and Coasts*, 31:843-859.
- Freund H, Petersen J., R. Pott (2002) Investigations on recent and subfossil salt marsh vegetation of the East Frisian barrier islands in the southern North Sea (Germany). *Phytocoenologia* 33:349-375
- Frouin M, Laignel B, Sebag D, Ogier S, Durand A (2007) Sedimentological characterization and origin of the deposits in a Holocene marsh (Vernier Marsh, Seine Estuary, France). *Zeitschrift für Geomorphologie* 51:1-18
- Frouin M, Sebag D, Laignel B, Ogier S, Verrecchia EP, Durand A (2006) Tidal rhythmites of the Marais Vernier Seine estuary, France and their implications for relative sea-level. *Marine Geology* 235:165-175
- Fujii T (2007) Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75:101-119

- Fujii,T., and Raffaelli,D. (2008) Sea-level rise, expected environmental changes, and responses of intertidal benthic macrofauna in the Humber estuary, UK. *Marine Ecology-Progress Series*, 371:23-35.
- Fujimoto K, Miyagi T (1993) Development process of tidal-flat type mangrove habitats and their zonation in the Pacific Ocean - A geomorphological study. *Vegetatio* 106:137-146
- Gagnaire B, Frouin H, Moreau K, Thomas-Guyon H, Renault T (2006) Effects of temperature and salinity on haemocyte activities of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Fish and Shellfish Immunology* 20:536-547
- Gallois RW (2005) On the Kimmeridgian (Jurassic) succession of the Normandy coast, northern France. *Proceedings of the Geologists Association* 116:33-43
- Gam M, Bazairi H, Jensen KT, de Montaudouin X (2008) Metazoan parasites in an intermediate host population near its southern border: the common cockle (*Cerastoderma edule*) and its trematodes in a Moroccan coastal lagoon (Merja Zerga). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88:357-364
- Ganju,N.K., and Schoellhamer,D.H. (2009) Calibration of an estuarine sediment transport model to sediment fluxes as an intermediate step for simulation of geomorphic evolution. *Continental Shelf Research*, 29:148-158.
- Garban B, Motelay-Massei A, Blanchoud H, Ollivon D (2004) A single law to describe atmospheric nitrogen bulk deposition versus rainfall amount: Inputs at the Seine river watershed scale. *Water Air and Soil Pollution* 155:339-354
- Garcia-Armisen T, Tournon A, Petit F, Servais P (2005) Sources of faecal contamination in the Seine estuary (France). *Estuaries* 28:627-633
- Gardner JPA, Thompson RJ (2001) The effects of coastal and estuarine conditions on the physiology and survivorship of the mussels *Mytilus edulis*, *M. trossulus* and their hybrids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 265:119-140
- Garnaud S, Lesueur P, Clet M, Lesourd S, Garlan T, Lafite R, Brun-Cottan JC (2003) Holocene to modern fine-grained sedimentation on a macrotidal shoreface-to-inner-shelf setting (eastern Bay of the Seine, France). *Marine Geology* 202:33-54
- Garnier J, Cebren A, Tallec G, Billen G, Sebilo M, Martinez A (2006) Nitrogen behaviour and nitrous oxide emission in the tidal Seine River estuary (France) as influenced by human activities in the upstream watershed. *Biogeochemistry* 77:305-326
- Garnier J, Servais P, Billen G, Akopian M, Brion N (2001) Lower Seine river and estuary (France) carbon and oxygen budgets during low flow. *Estuaries* 24:964-976
- Gearing JN, Buckley DE, Smith JN (1991) Hydrocarbon and Metal Contents in A Sediment Core from Halifax Harbor - A Chronology of Contamination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48:2344-2354
- Gehrels,W.R., Kirby,J.R., Prokoph,A., Newnham,R.M., Achterberg,E.P., Evans,H., Black,S., Scott,D.B., 2005. Onset of recent rapid sea-level rise in the western Atlantic Ocean. *Quaternary Science Reviews* 24, 2083-2100.
- George I, Petit M, Theate C, Servais P (2001) Distribution of coliforms in the Seine River and estuary (France) studied by rapid enzymatic methods and plate counts. *Estuaries*, 24: 994-1002

- George I, Petit M, Theate C, Servais P (2001) Use of rapid enzymatic assays to study the distribution of faecal coliforms in the Seine river (France). *Water Science and Technology*, 43: 77-80
- Gesteira JLG, Dauvin JC (2000) Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1017-1027
- Gidman EA, Jones MLM, Bussell JA, Malham SK, Reynolds B, Seed R, Causton DR, Johnson HE, Gwynn-Jones D (2007) A methodology for screening haemolymph of intertidal mussels, *Mytilus edulis*, using FT-IR spectroscopy as a tool for environmental assesment. *Metabolomics*, 3: 465-473
- Gidman EA, Stevens CJ, Goodacre R, Broadhurst D, Emmett B, Gwynn-Jones D (2006) Using metabolic fingerprinting of plants for evaluating nitrogen deposition impacts on the landscape level. *Global Change Biology* 12:1460-1465
- Gilvear DJ (1999) Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework. *Geomorphology* 31:229-245
- Gisbert,E., Williot,P., and Castello-Orvay,F. (1999) Behavioural modifications in the early life stages of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt). *Journal of Applied Ichthyology-Zeitschrift fur Angewandte Ichthyologie*, 15:237-242.
- Glémarec M, Grall J (2000) Ecological and zoological groupings within marine invertebrates in relation to coastal perturbations. *Bulletin de la Societe Zoologique de France* 125:37-48
- Goldberg ED (1986) The mussel watch concept. *Environmental Monitoring and Assessment* 7:91-103
- Goman M, Malamud-Roam R, Ingram BL (2008) Holocene environmental history and evolution of a tidal salt marsh in San Francisco Bay, California. *Journal of Coastal Research* 24:1126-1137
- Gomez E, Ledoux E, Viennot P, Mignolet C, Benoit M, Bornerand C, Schott C, Mary B, Billen G, Ducharne A, Brunstein D (2003) An integrated modelling tool for nitrates transport in a hydrological system: Application to the river Seine basin. *Houille Blanche-Revue Internationale de l Eau* 38-45
- Gondard H, Sandrine J, Aronson J, Lavorel S (2003) Plant functional types: a promising tool for management and restoration of degraded lands. *Applied Vegetation Science* 6:223-234
- Gonzales J.L., Chiffolleau J.F, Miramand P, and Thiuvénin B. Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire. 10, 1-31. 1999. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Gonzalez JL, Thouvenin B, Dange C, Fiandrino A, Chiffolleau JF (2001) Modeling of cadmium speciation and dynamics in the Seine estuary (France). *Estuaries* 24:1041-1055
- Gorinstein S, Moncheva S, Toledo F, Arancibia-Avila P, Trakhtenberg S, Gorinstein A, Goshev I, Namiesnik J (2006) Relationship between seawater pollution and qualitative changes in the extracted proteins from mussels *Mytilus galloprovincialis*. *Science of the Total Environment* 364:251-259
- Grall J, Chauvaud L (2002) Marine eutrophication and benthos: the need for new approaches and concepts. *Global Change Biology* 8:813-830

- Grall J, Chauvaud L, Thouzeau G, Fifas S, Glemarec M, Paulet YM (1996) Distribution of *Pecten maximus* (L) and its main potential competitors and predators in the Bay of Brest. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Serie Iii-Sciences de la Vie-Life Sciences* 319:931-937
- Grall J, Glemarec M (1997) Assessment of benthic structure in the Bay of Brest. *Annales de l'Institut Oceanographique* 73:7-16
- Grall J, Glemarec M (1997) Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 44:43-53
- Gray J.S., Elliott M. (2009) *Ecology of Marine Sediments From Science to Management*. Oxford University Press,
- Groffman P, Baron J, Blett T, Gold A, Goodman I, Gunderson L, Levinson B, Palmer M, Paerl H, Peterson G, Poff N, Rejeski D, Reynolds J, Turner M, Weathers K, Wiens J (2006) Ecological thresholds: The key to successful environmental management or an important concept with no practical application? *Ecosystems* 9:1-13
- Grosbois C, Meybeck A, Horowitz A, Ficht A (2006) The spatial and temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in Seine River floodplain deposits (1994-2000). *Science of The Total Environment* 356:22-37
- Guézennec L (1999) *Hydrodynamique et transport en suspension du matériel particulaire fin dans la zone fluviale d'un estuaire macrotidal : l'exemple de l'estuaire de la Seine (France)*. Doctorat Université de Rouen
- Guézennec L, Romana LA, Goujon R, and Meyer R. *Seine-Aval : un estuaire et ses problèmes*. 1, 1-29. 1999. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Guillaud JF, Aminot A, Delmas D, Gohin F, Lunven M, Labry C, Herbland A (2008) Seasonal variation of riverine nutrient inputs in the northern Bay of Biscay (France), and patterns of marine phytoplankton response. *Journal of Marine Systems* 72:309-319
- Gunderson L (2007) Ecology: A different route to recovery for coral reefs. *Current Biology* 17:R27-R28
- Gunderson L, Folke C (2005) Resilience - Now more than ever. *Ecology and Society* 10:
- Gunderson LH (2000) Ecological resilience - in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31:425-439
- Gunderson LH (2001) Managing surprising ecosystems in southern Florida. *Ecological Economics* 37:371-378
- Gurnell A (1997) The hydrological and geomorphological significance of forested floodplains. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6: 219-229.
- Hallegraeffe, G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32:79-99.
- Halliday IA, Robins JB, Mayer DG, Staunton-Smith J, Sellin MJ (2008) Effects of freshwater flow on the year-class strength of a non-diadromous estuarine finfish, king threadfin (*Polydactylus macrochir*), in a dry-tropical estuary. *Marine and Freshwater Research* 59:157-164
- Hamdan LJ, Jonas RB (2006) Seasonal and interannual dynamics of free-living bacterioplankton and microbially labile organic carbon along the salinity gradient of the Potomac River. *Estuaries and Coasts* 29:40-53

- Hamm L, de Croutte E, Anquetin PG, Paireau O (2004) The use of physical scale models for major maritime development schemes: the example of Port 2000. *Houille Blanche-Revue Internationale de l'Eau* 50-56
- Han, T.J., Han, Y.S., Kim, K.Y., Kim, J.H., Shin, H.W., Kain, J.M., Callow, J.A., and Callow, M.E. (2003) Influences of light and UV-B on growth and sporulation of the green alga *Ulva pertusa* Kjellman. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 290:115-131.
- Hanslip, V. The Application of a Conceptual Model, Decision Tree and a Logical Framework Approach to Managed Realignment Schemes: A Case Study in the Humber Estuary, UK. 2003. Hull, The University of Hull & The Institute of Estuarine and Coastal Studies. M.Sc. Dissertation in Estuarine and Coastal Science and Management.
- Harris JA, Hobbs RJ, Higgs E, Aronson J (2006) Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology* 14:170-176.
- Harvell, C. D., K. Kim, J. M. Burkholder, R. R. Colwell, P. R. Epstein, D. J. Grimes, E. E. Hofmann, E. K. Lipp, A. D. M. E. Osterhaus, R. M. Overstreet, J. W. Porter, G. W. Smith, And G. R. Vasta. (1999). Emerging marine diseases: Climate links and anthropogenic factors. *Science* 285:1505–1510.
- Haslett SK, Strawbridge F, Martin NA, Davies CFC (2001) Vertical saltmarsh accretion and its relationship to sea-level in the Severn Estuary, U.K.: An investigation using foraminifera as tidal indicators. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52:143-153
- Hassell KL, Coutin PC, Nuggeoda D (2008) Hypoxia, low salinity and lowered temperature reduce embryo survival and hatch rates in black bream *Acanthopagrus butcheri* (Munro, 1949). *Journal of Fish Biology* 72:1623-1636
- Hauton C, Hawkins LE, Hutchinson S (2000) The effects of salinity on the interaction between a pathogen (*Listonella anguillarum*) and components of a host (*Ostrea edulis*) immune system. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology* 127:203-212
- Hay JE, Mimura N (2005) Sea-level rise: Implications for water resources management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10:717-737
- Hayhoe, K., Cayan, D., Field, C.B., Frumhoff, P.C., Maurer, E.P., Miller, N.L., Moser, S.C., Schneider, S.H., Cahill, K.N., Cleland, E.E., Dale, L., Drapek, R., Hanemann, R.M., Kalkstein, L.S., Lenihan, J., Lunch, C.K., Neilson, R.P., Sheridan, S.C., Verville, J.H., 2004. Emissions pathways, climate change, and impacts on California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101, 12422-12427.
- Henderson, P.A., 2007. Discrete and continuous change in the fish community of the Bristol Channel in response to climate change. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87, 589-598.
- Henry F, Amara R, Courcot L, Lacouture D, Bertho ML (2004) Heavy metals in four fish species from the French coast of the eastern English Channel and Southern Bight of the North Sea. *Environment International* 30:675-683
- Hewitt JE, Norkko J (2007) Incorporating temporal variability of stressors into studies: An example using suspension-feeding bivalves and elevated suspended sediment concentrations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 341:131-141

- Higgs E (2003) Nature by design: people, natural process and ecological restoration. MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Hily C, Le Loc'h F, Grall J, Glemarec M (2008) Soft bottom macrobenthic communities of North Biscay revisited: Long-term evolution under fisheries-climate forcing. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 78:413-425
- Hoa LTV, Nhan NH, Wolanski E, Cong TT, Shigeko H (2007) The combined impact on the flooding in Vietnam's Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 71:110-116
- Hoeksema RJ (2007) Three stages in the history of land reclamation in the Netherlands. *Irrigation and Drainage* 56:
- Hoffmann L, Hafner H, Salathe T (1996) The contribution of colonial waterbird research to wetland conservation in the Mediterranean region. *Colonial Waterbirds* 19:12-30
- Hughes FMR (1997) Floodplain biogeomorphology. *Progress in Physical Geography* 21:501-529
- Hughes FMR, Adams WM, Muller E, Nilsson C, Richards KS, Barsoum N, Decamps H, Foussadier R, Girel J, Guilloy H, Hayes A, Johansson M, Lambs L, Pautou G, Peiry JL, Perrow M, Vautier F, Winfield M (2001) The importance of different scale processes for the restoration of floodplain woodlands. *Regulated Rivers-Research & Management* 17:325-345
- Hughes P, Brundrit GB (1992) An index to assess South Africa's vulnerability to sea-level rise. *South African Journal of Science* 88:308-311
- Hughes P, Brundrit GB, Swart DH, Bartels A (1993) The possible impacts of sea-level rise on the Diep River/Rietvlei system, Cape Town. *South African Journal of Science* 89:488-493
- Hughes TP, Gunderson LH, Folke C, Baird AH, Bellwood D, Berkes F, Crona B, Helfgott A, Leslie H, Norberg J, Nystrom M, Olsson P, Osterblom H, Scheffer M, Schuttenberg H, Steneck RS, Tengoe M, Troll M, Walker B, Wilson J, Worm B (2007) Adaptive management of the great barrier reef and the Grand Canyon world heritage areas. *Ambio* 36:586-592
- Hunt LE, Howard AG (1994) Arsenic speciation and distribution in the Carnon Estuary following the acute discharge of contaminated water from a disused mine. *Marine Pollution Bulletin* 28:33-38
- Hunter A, Morris NMB, Lafabrie C, Cebrian J (2008) Effects of nutrient enrichment on *Distichlis spicata* and *Salicornia bigelovii* in a marsh salt pan. *Wetlands* 28:760-775
- Hupp CR, Osterkamp WR, Howard AD (1995) Biogeomorphology, terrestrial and freshwater systems. *Proceedings of the 26th Binghampton Symposium in Geomorphology, October 1995. Biogeomorphology, terrestrial and freshwater systems. Proceedings of the 26th Binghampton Symposium in Geomorphology, October 1995*
- Ibanez F, Dauvin JC, Etienne M (1993) Comparison of the Long-Term Evolution (1977-1990) of 2 Macrobenthic Communities in the Bay-Of-Morlaix (Western English-Channel) - Relations with Hydroclimatic Factors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 169:181-214

- Ibarrola I, Larretxea X, Navarro E, Iglesias JIP, Urrutia MB (2008) Effects of body-size and season on digestive organ size and the energy balance of cockles fed with a constant diet of phytoplankton. *Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology* 178:501-514
- Imhof JG, Fitzgibbon G, Annable WK (1996) A hierarchical evaluation system for characterizing watershed ecosystems for fish habitat. *CAN.J.FISH.AQUAT.SCI.* 53: 312-326
- IUCN (2006). Ecological Restoration [conserving biodiversity and sustaining livelihoods]. Annex II: Rationale for Ecological Restoration. Draft
- James NC, Whitfield AK, Cowley PD (2008) Preliminary indications of climate-induced change in a warm-temperate South African estuarine fish community. *Journal of Fish Biology* 72:1855-1863
- James,R., and Ducrotoy,J.P. (1999) Sediments and biota of coastal sandy beaches. *Coastal Zone Topics: Process, Ecology and Management*, 4:73-84.
- Jansen,J.M., Pronker,A.E., Bonga,S.W., Hummel,H. (2007). *Macoma balthica* in Spain, a few decades back in climate history. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 344, 161-169.
- Jassby Ad, Cloern JE, Cole BE (2002) Annual primary production: Patterns and mechanisms of change in a nutrient-rich tidal ecosystem. *Limnology and Oceanography* 47:698-712
- Jensen A (1980) Seasonal changes in near infrared reflectance ratio and standing crop biomass in a salt marsh community dominated by *Halimione portulacoides* (L.). *Aellen.New Phytol.* 86:57-67
- Jobling, M. 1996. Temperature and growth: Modulation of growth rate via temperature change, p. 225–253. In C. M. Wood and D. G. MacDonald (eds.), *Global Warming: Implications for Marine and Freshwater Fish*. Cambridge University Press, Cambridge, Maryland.
- Johnson DE (2000) Ecological restoration options for the Lymington/Keyhaven saltmarshes. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management* 14:111-116
- Johnson HE, Broadhurst D, Goodacre R, Smith AR (2003) Metabolic fingerprinting of salt-stressed tomatoes. *Phytochemistry* 62:919-928
- Johnson RL, Perez KT, Rocha KJ, Davey EW, Cardin JA (2008) Detecting benthic community differences: Influence of statistical index and season. *Ecological Indicators* 8:582-587
- Jolliffe IT (1986) *Principal Component Analysis*
- Jouzel,J., Petit,J.R., and Raynaud,D. (1990) Paleoclimatic Information from Ice Cores - the Vostok Records. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh-Earth Sciences*, 81:349-355.
- Judd C, Steinberg S, Shaughnessy F, Crawford G (2007) Mapping salt marsh vegetation using aerial hyperspectral imagery and linear unmixing in Humboldt bay, California. *Wetlands* 27:1144-1152
- Kadereit G, Ball P, Beer S, Mucina L, Sokoloff D, Teege P, Yaprak AE, Freitag H (2007) A taxonomic nightmare comes true: phylogeny and biogeography of glassworts (*Salicornia* L., *Chenopodiaceae*). *Taxon* 56:1143-1170

- Kadereit G, Ball P, Beer S, Mucina L, Sokoloff D, Teege P, Yaprak AE, Freitag H (2008) A taxonomic nightmare comes true: phylogeny and biogeography of glassworts (*Salicornia* L., *Chenopodiaceae*) (vol 56, pg 1143, 2007). *Taxon* 57:668
- Kaligarić M, Bohanec B, Simonović B, Sajna N (2008) Genetic and morphologic variability of annual glassworts (*Salicornia* L.) from the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Aquatic Botany* 89:275-282
- Kannapiran, E., and Edward, J.K.P. (1996) Breeding biology of Babylon snail *Babylonia spirata* (Linnaeus) (Mollusca: Neogastropoda: Buccinidae). *Indian Journal of Marine Sciences*, 25:368-370.
- Karl, T. R., R. W. Knight, D. R. Easterling, And R. G. Quayle. 1995. Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77:279–292.
- Kay AL, Jones RG, Reynard NS (2006) RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of Hydrology* 318:163-172
- Kelagher BP, Levinton JS, Oomen J, Allen BJ, Wong WH (2003) Changes in benthos following the clean-up of a severely metal-polluted cove in the Hudson River estuary: Environmental restoration or ecological disturbance? *Estuaries* 26:1505-1516
- Keser, M., Swenarton, J.T., Foertch, J.F., 2005. Effects of thermal input and climate change on growth of *Ascophyllum nodosum* (Fucales, Phaeophyceae) in eastern Long Island Sound (USA). *Journal of Sea Research* 54, 211-220.
- Kidson C, Heyworth A (1978) Holocene eustatic sea level change. *Nature* 273:748-750
- King JW, Malham SK, Skov MW, Cotter E, Latchford JW, Culloty SC, Beaumont AR (2006) Growth of *Crassostrea gigas* spat and juveniles under differing environmental conditions at two sites in Wales. *Aquatic Living Resources* 19:289-297
- Kinzig, A.P., Starrett, D., Arrow, K., Aniyar, S., Bolin, B., Dasgupta, P., Ehrlich, P., Folke, C., Hanemann, M., Heal, G., Hoel, M., Jansson, A., Jansson, B.O., Kautsky, N., Levin, S., Lubchenco, J., Maler, K.G., Pacala, S.W., Schneider, S.H., Siniscalco, D., and Walker, B. (2003) Coping with uncertainty: A call for a new science-policy forum. *Ambio*, 32:330-335.
- Kirby R (1994) The evolution of the fine sediment regime of the Severn Estuary and Bristol Channel. *Biological Journal of the Linnean Society*, 51: 37-44
- Kirby, J. R. and Kirby, R. Medium timescale stability of tidal mudflats in Bridgwater Bay, Bristol Channel, UK: Influence of tides, waves and climate. *Continental Shelf Research* .
- Knogge, T., Schirmer, M., Schuchardt, B., 2004. Landscape-scale socio-economics of sea-level rise. *Ibis* 146, 11-17.
- Knowles, N., Cayan, D.R., 2002. Potential effects of global warming on the Sacramento/San Joaquin watershed and the San Francisco estuary. *Geophysical Research Letters* 29.
- Koehler, C. and Blair, E. Putting It Back Together: Making Ecosystem Restoration Work. 1-68. 2001. San Francisco , Save San Francisco Bay Association .
- Kraan C, Piersma T, Dekinga A, Koolhaas A, van der Meer J (2007) Dredging for edible cockles (*Cerastoderma edule*) on intertidal flats: short-term consequences of

- fisher patch-choice decisions for target and non-target benthic fauna. *Ices Journal of Marine Science* 64:1735-1742
- Kuijpers JWM (1995) Ecological Restoration of the Rhine Maas Estuary. *Water Science and Technology* 31:187-195
- Kyle R, Pearson B, Fielding PJ, Robertson WD, Birnie SL (1997) Subsistence shellfish harvesting in the Maputaland Marine Reserve in northern Kwazulu-Natal, South Africa: Rocky shore organisms. *Biological Conservation* 82:183-192
- Labadie P, Budzinski H (2005) Development of an analytical procedure for determination of selected estrogens and progestagens in water samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 381:1199-1205
- Lacoste A, Jalabert F, Malham SK, Cueff A, Poulet SA (2001) Stress and Stress-Induced Neuroendocrine Changes Increase the Susceptibility of Juvenile Oysters (*Crassostrea gigas*) to *Vibrio splendidus*. *Applied and Environmental Microbiology* 67:2304-2309
- Lacoste A, Malham SK, bart F, Cueff A, Poulet SA (2002) Stress-induced immune changes in the oyster *Crassostrea gigas*. *Developmental and Comparative Immunology* 26:1-9
- Lafite R, Romana LA (2001) A man-altered macrotidal estuary: The Seine estuary (France): Introduction to the special issue. *Estuaries* 24:939
- Laing I, Spencer BE (1997) Bivalve Cultivation: Criteria for Selecting a Site
- Lancelot C, Gypens N, Billen G, Garnier J, Roubex V (2007) Testing an integrated river-ocean mathematical tool for linking marine eutrophication to land use: The Phaeocystis-dominated Belgian coastal zone (Southern North Sea) over the past 50 years. *Journal Of Marine Systems* 64:216-228
- Lane A (2004) Bathymetric evolution of the Mersey Estuary, UK, 1906-1997: Causes and effects. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59:249-263
- Lannig G, Cherkasov AS, rtner HO, Bock C, Sokolova IM (2008) Cadmium-dependent oxygen limitation affects temperature tolerance in eastern oysters (*Crassostrea virginica* Gmelin). *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 294:
- Lassalle G, de Montaudouin X, Soudant P, Paillard C (2007) Parasite co-infection of two sympatric bivalves, the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) and the cockle (*Cerastoderma edule*) along a latitudinal gradient. *Aquatic Living Resources* 20:33-42
- Lavoie,D., Simard,Y., and Saucier,F.J. (2000) Aggregation and dispersion of krill at channel heads and shelf edges: the dynamics in the Saguenay-St. Lawrence Marine Park. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57:1853-1869.
- Le Goff J, Gallois J, Pelhuet L, Devier MH, Budzinski H, Pottier D, Andre V, Cachot J (2006) DNA adduct measurements in zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, Pallas - Potential use for genotoxicant biomonitoring of fresh water ecosystems. *Aquatic Toxicology* 79:55-64
- Le Hir P and Silva Jacinto R. (2001) Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau.. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval, 2, 1-32.
- Le Hir P, Ficht A, Jacinto RS, Lesueur P, DUPONT JP, Lafite R, Brenon I, Thouvenin B, Cugier P (2001) Fine sediment transport and accumulations at the mouth of the Seine estuary (France). *Estuaries* 24:950-963

- Le Loc'h F, Hily C, Grall J (2008) Benthic community and food web structure on the continental shelf of the Bay of Biscay (North Eastern Atlantic) revealed by stable isotopes analysis. *Journal of Marine Systems* 72:17-34
- Ledoux L, Cornell S, O'Riordan T, Harvey R, Banyard L (2005) Towards sustainable flood and coastal management: Identifying drivers of, and obstacles to, managed realignment. *Land Use Policy* 22:129-144
- Leitao A, Chaves R, Matias D, Joaquim S, Ruano F, Guedes-Pinto H (2006) Restriction enzyme digestion chromosome banding on two commercially important venerid bivalve species: *Ruditapes decussatus* and *Cerastoderma edule*. *Journal of Shellfish Research* 25:857-863
- Leitao FMS, Gaspar MB (2007) Immediate effect of intertidal non-mechanised cockle harvesting on macrobenthic communities: a comparative study. *Scientia Marina* 71:723-733
- Leloup J, Petit F, Boust D, Deloffre J, Bally G, Clarisse O, Quillet L (2005) Dynamics of sulfate-reducing microorganisms (*dsrAB* genes) in two contrasting mudflats of the Seine estuary (France). *Microbial Ecology* 50:307-314
- Leloup J, Quillet L, Berthe T, Petit F (2006) Diversity of the *dsrAB* (dissimilatory sulfite reductase) gene sequences retrieved from two contrasting mudflats of the Seine estuary, France. *FEMS Microbiology Ecology* 55:230-238
- Lesourd S, Lesueur P, Brun-Cottan JC, Auffret JP, Poupinet N, Laignel B (2001) Morphosedimentary evolution of the macrotidal Seine estuary subjected to human impact. *Estuaries* 24:940-949
- Lesourd S, Lesueur P, Brun-Cottan JC, Garnaud S, Poupinet N (2003) Seasonal variations in the characteristics of superficial sediments in a macrotidal estuary (the Seine inlet, France). *Estuarine Coastal And Shelf Science* 58:3-16
- Lesueur P and Lesourd S. (1999) Sables, chenaux, vasières : dynamique des sédiments et évolution morphologique. Rouen, IFREMER. programme Scientifique Seine-Aval, . 3, 1-39.
- Lesueur P, Lesourd S, Lefebvre D, Garnaud S, Brun-Cottan JC (2003) Holocene and modern sediments in the Seine Estuary (France): a synthesis. *Journal of Quaternary Science* 18:339-349
- Levasseur J.E., Bonnot-Courtois C. (2008) Modalités d'installation et de développement de la spartine anglaise sur les estrans vaseux. *Aestuaria, cultures et développement durable* 53-80
- Lévêque C (2001) *Ecologie. De l'écosystème à la biosphère*. Dunod, Paris
- Lévêque C (2003) *Quelles Natures Voulons-Nous ? - Pour Une Approche Socio-Écologique Du Champ De L'environnement*. Elsevier,
- Lévêque C (2006) Les introductions d'espèces dans les milieux naturels et leurs conséquences. In: Lévêque Christian (ed.) PDED (ed) *Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme*. IRD, Paris
- Lewis CA, Lester NP, Bradshaw AD, Fitzgibbon JE, Fuller K, Hakanson L, Richards C (1995) Considerations of scale in habitat conservation and restoration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:440-445
- Li W, An P, Liu X, Khan MA, Tsuji W, Tanaka K (2008) The effect of light, temperature and bracteoles on germination of polymorphic seeds of *Atriplex centralasiatica* Iljin under saline conditions. *Seed Science and Technology* 36:325-338

- Lionard, M., Muylaert, K., Van Gansbeke, D., Vyverman, W., 2005. Influence of changes in salinity and light intensity on growth of phytoplankton communities from the Schelde river and estuary (Belgium/The-Netherlands). *Hydrobiologia* 540, 105-115.
- Livingston RJ (2006) *Restoration of Aquatic Ecosystems*. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Lobry J, David V, Pasquaud S, Lepage M, Sautour B, Rochard E (2008) Diversity and stability of an estuarine trophic network. *Marine Ecology-Progress Series* 358:13-25
- LOICZ/UNEP. The role of the coastal ocean in the disturbed and undisturbed nutrient and carbon cycles. Buddemeier, R.W., S.V. Smith, D.P. Swaney and C.J. Crossland (2002). LOICZ IPO, Texel, The Netherlands, *LOICZ Reports & Studies* No. 24, ii + 83 pages
- Loizeau V, Abarnou A, Cugier P, Jaouen-Madoulet A, Le Guellec AM, Menesguen A (2001) A model of PCB bioaccumulation in the sea bass food web from the Seine estuary (Eastern English channel). *Marine Pollution Bulletin* 43:242-255
- Loizeau V, Abarnou A, Ménesguen A (2001) A steady-state model of PCB bioaccumulation in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*) food web from the Seine estuary, France. *Estuaries* 24:1074-1087
- Long SP, Mason CF (1983) *Saltmarsh ecology*. Blackie, Glasgow
- Louwye S, Declercq E (1998) Relative water level change in the intracoastal zone of Belgium and northern France over the last 2500 years. *Boreas* 27:162-177
- Lovett DL, Verzi MP, Clifford PD, Borst DW (2001) Hemolymph levels of methyl farnesoate increase in response to osmotic stress in the green crab, *Carcinus maenas*. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* 128:299-306
- Lum AL (1978) *Shorebird Fauna Changes of A Small Tropical Estuary Following Habitat Alteration - Biological and Political Impacts of Environmental Restoration*. *Environmental Management* 2:423-430
- Madgwick FJ, Jones TA (2002) Europe. Chapter 2. In: Perrow MR, Davy AJ (eds) *Handbook of Ecological Restoration, Volume 2: Restoration in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge
- MAFF (2001a) Flood and coastal defence project appraisal: overview). Minister of Agriculture, Fisheries and Food, London, FCDPAG1
- MAFF. (2001b) Flood and coastal defence project appraisal: strategic planning and appraisal. Minister of Agriculture, Fisheries and Food, London, FCDPAG2.
- MAFF (2001c). Flood and coastal defence project appraisal: economic appraisal. Minister of Agriculture, Fisheries and Food, London, FCDPAG3 .
- Mai, S. and von Lieberman, N. Polder an der tidebeeinflussten Kuste. 2001. Bamberg. Tagungsband zur 19. AMK-Tagung.
- Maillet G, Cailleaud K, Budzinski H, Forget-Leray J (2006) Use of acetylcholinesterase in *Eurytemora affinis* (COPEPODA) as a biomarker in Seine estuary, France. Comparison of two methods: Enzymatic histochemistry and enzymatic activity assay. *Marine Environmental Research* 62:S386-S387
- Malamud-Roam, K. P., Malamud-Roam, F. P., Watson, E. B., Collins, J. N., and Ingram, B. L. The quaternary geography and biogeography of tidal saltmarshes. (32), 11-

31. 2006.

Ref Type: Serial (Book, Monograph)

- Malham SK, Lacoste A, bart F, Cueff A, Poulet SA (2002) A first insight into stress-induced neuroendocrine and immune changes in the octopus *Eledone cirrhosa*. *Aquatic Living Resources* 15:187-192
- Malham SK, Lacoste A, bart F, Cueff A, Poulet SA (2003) Evidence for a Direct Link between Stress and Immunity in the Mollusc *Haliotis tuberculata*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology* 295:136-144
- Mander L. The impact of a newly created habitat on estuarine bird communities. 2007. IECS the University of Hull.
Ref Type: Audiovisual Material
- Marchand J, Quiniou L, Riso R, Thebaut MT, Laroche J (2004) Physiological cost of tolerance to toxicants in the European flounder *Platichthys flesus*, along the French Atlantic Coast. *Aquatic Toxicology* 70:327-343
- Marques, S.C., Azeiteiro, U.M., Martinho, F., Pardal, M.A., 2007. Climate variability and planktonic communities: The effect of an extreme event (severe drought) in a southern European estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 73, 725-734.
- Marshall S, Elliott M (1998) Environmental influences on the fish assemblage of the Humber estuary, UK. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 46:175-184
- Marshall, C. T. and K. T. Frank. 1999. Implications of densitydependent juvenile growth for compensatory recruitment regulation of haddock. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56:356–363.
- Martin L, Suguio K, Flexor JM, Dominguez JML, Bittencourt ACSP (1996) Quaternary Sea-level History and Variation in Dynamics along the Central Brazilian Coast: Consequences on Coastal Plain Construction. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 68:
- Martins I, Marcotegui A, Marques JC (2008) Impacts of macroalgal spores on the dynamics of adult macroalgae in a eutrophic estuary: High versus low hydrodynamic seasons and long-term simulations for global warming scenarios. *Marine Pollution Bulletin* 56:984-998
- Martone RG, Wasson K (2008) Impacts and interactions of multiple human perturbations in a California salt marsh. *Oecologia* 158:151-163
- Masters DG, Benes SE, Norman HC (2007) Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture Ecosystems & Environment* 119:234-248
- Mauchamp A, Chauvelon P, Grillas P (2002) Restoration of floodplain wetlands: Opening polders along a coastal river in Mediterranean France, Vistre marshes. *Ecological Engineering* 18:619-632
- Mazik K. Physical and biological development of a newly breached managed realignment site. 2007. IECS the University of Hull.
- Mc Lusky D, Elliott M (2004) The estuarine ecosystem - Ecology, threats and management. Oxford University Press, Oxford
- McCormick-Ray MG (1987) Hemocytes of *Mytilus edulis* affected by Prudhoe Bay crude oil emulsion. *Marine Environmental Research* 22:107-122
- Mcgowan, J. A., D. R. Cayan, and L. M. Dorman. 1998. Climate, ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific. *Science* 281:210–217.

- McLaughlin E, Portig A, Johnson MP (2007) Can traditional harvesting methods for cockles be accommodated in a Special Area of Conservation? *Ices Journal of Marine Science* 64:309-317
- Mcrobie A, Spencer T, Gerritsen H (2005) The big flood: North Sea storm surge. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 363:1263-1270
- Mello AC, Correia AI, Ador I., Ramos MI, Catarino FM (1977) Aspectos da estrutura e dinamica das comunidades vegetais do salgado de Corroios. Bases para a sua proteccao. *Publicac?o?es Da Liga para a Protecc?a?o Da Natureza* 23:41-49
- Mendelssohn IA, Seneca ED (1980) The influence of soil drainage on the growth of salt marsh cordgrass *Spartina alterniflora* in North Carolina. *Estuarine and Coastal Marine Science* 11:27-40
- Mendonca VM, Raffaelli DG, Boyle P, Hoskins S (2008) Spatial and temporal characteristics of benthic invertebrate communities at Culbin Sands lagoon, Moray Firth, NE Scotland, and impacts of the disturbance of cockle harvesting. *Scientia Marina* 72:265-278
- Mesnage V, Bonneville S, Laignel B, Lefebvre D, DUPONT JP, Mikes D (2002) Filling of a wetland (Seine estuary, France): natural eutrophication or anthropogenic process? A sedimentological and geochemical study of wetland organic sediments. *Hydrobiologia* 475:423-435
- Metzger,R., Sartoris,F.J., Langenbuch,M., and Portner,H.O. (2007) Influence of elevated CO2 concentrations on thermal tolerance of the edible crab *Cancer pagurus*. *Journal of Thermal Biology*, 32:144-151.
- Meudec A, Poupart N, Dussauze J, Deslandes E (2007) Relationship between heavy fuel oil phytotoxicity and polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in *Salicornia fragilis*. *Science of the Total Environment* 381:146-156
- Meybeck M, Colin JL, Herv D, de Pontevs C, Grosbois C (2006) La saga des contaminations m,talliques dans la Seine (1935 - 2000). In: Le Moigne M (ed) IFREMER ,
- Meynecke JO, Lees SY, Duke NC, Warnken J (2006) Effect of rainfall as a component of climate change on estuarine fish production in Queensland, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 69:491-504
- Michel P, Averty B, Chiffolleau JF, Romana LA (2001) Biogeochemical behavior of arsenic species in the Seine estuary in relation to successive high-amplitude primary production, anoxia, turbidity, and salinity events. *Estuaries* 24:1066-1073
- Michel P, Chiffolleau JF, Averty B, Auger D, Chartier E (1999) High resolution profiles for arsenic in the Seine Estuary. Seasonal variations and net fluxes to the English Channel. *Continental Shelf Research* 19:2041-2061
- Mikes D, Verney R, Lafite R, Belorgey M (2004) Controlling factors in estuarine flocculation processes: experimental results with material from the Seine Estuary, Northwestern France. *Journal Of Coastal Research* 82-89
- Miller WD, Neubauer SC, Anderson IC (2001) Effects of sea level induced disturbances on high salt marsh metabolism. *Estuaries* 24:357-367
- Miller,L., Douglas,B.C. (2006). On the rate and causes of twentieth century sea-level rise. *Philosophical Transactions of the Royal Society A-Mathematical Physical and Engineering Sciences* 364, 805-820.

- Minier C, Abarnou A, Jaouen-Madoulet A, Le Guellec AM (2006) A pollution-monitoring pilot study involving contaminant and biomarker measurements in the Seine Estuary, France, using zebra mussels (*Dreissena polymorpha*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 25:112-119
- Minier C, Levy F, Rabel D, Bocquene G, Godefroy D, Burgeot T, Leboulenger F (2000) Flounder health status in the Seine Bay. A multibiomarker study. *Marine Environmental Research* 50:373-377
- Mitbavkar S, Anil AC (2008) Seasonal variations in the fouling diatom community structure from a monsoon influenced tropical estuary. *Biofouling* 24:415-426
- Mitsch WJ (1998) Ecological engineering - the 7-year itch. *Ecological Engineering* 10:119-130
- Mitsch WJ (2003) Ecology, ecological engineering, and the Odum brothers. *Ecological Engineering* 20:331-338
- Mitsch WJ, Gosselink JG (2000) The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics* 35:25-33
- Mitsch WJ, Jorgensen SE (2003) Ecological engineering: A field whose time has come. *Ecological Engineering* 20:363-377
- Mitsch WJ, Mander U (1997) Remediation of ecosystems damaged by environmental contamination: Applications of ecological engineering and ecosystem restoration in Central and Eastern Europe. *Ecological Engineering* 8:247-254
- Molau U (2008) On the interface between ecology and geomorphology. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 62:52-54
- Montalto FA, Steenhuis TS (2004) The link between hydrology and restoration of tidal marshes in the New York New Jersey Estuary. *Wetlands* 24:414-425
- Montalto FA, Steenhuis TS, Parlange JY (2006) The hydrology of Piermont Marsh, a reference for tidal marsh restoration in the Hudson river estuary, New York. *Journal of Hydrology* 316:108-128
- Morris, J.T. (2006) Competition among marsh macrophytes by means of geomorphological displacement in the intertidal zone. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 69:395-402.
- Motamed B, Texier H (2000) Sources and characteristics of phenolic compounds in the Seine estuary (France). *Oceanologica Acta* 23:167-174
- Motelay-Massei A, Ollivon D, Garban B, Tiphagne-Larcher K, Zimmerlin I, Chevreuil M (2007) PAHs in the bulk atmospheric deposition of the Seine river basin: Source identification and apportionment by ratios, multivariate statistical techniques and scanning electron microscopy. *Chemosphere* 67:312-321
- Motelay-Massei A, Ollivon D, Tiphagne K, Garban B (2005) Atmospheric bulk deposition of trace metals to the Seine River Basin, France: Concentrations, sources and evolution from 1988 to 2001 in Paris. *Water Air and Soil Pollution* 164:119-135
- Mounoulou J-, Lévêque C (2008) Biodiversité - Dynamique biologique et conservation. Dunod, Paris
- Mouny P, Dauvin J.C. (2002) Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English Channel). *Oceanologica Acta* 25:13-22
- Mouny P, Dauvin J.C., Zouhiri S (2000) Benthic Boundary Layer fauna from the Seine Estuary (eastern English Channel, France): spatial distribution and seasonal

- changes. *Journal Of The Marine Biological Association Of The United Kingdom* 80:959-968
- Murakeozy EP, Ainouche A, Meudec A, Deslandes E, Poupart N (2007) Phylogenetic relationships and genetic diversity of the Salicornieae (Chenopodiaceae) native to the Atlantic coasts of France. *Plant Systematics and Evolution* 264:217-237
- Murray JMH, Meadows A, Meadows PS (2002) Biogeomorphological implications of microscale interactions between sediment geotechnics and marine benthos: A review. *Geomorphology* 47:15-30
- Naylor LA (2005) The contributions of biogeomorphology to the emerging field of geobiology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 219:35-51
- Naylor LA, Viles HA, Carter NEA (2002) Biogeomorphology revisited: Looking towards the future. *Geomorphology* 47:3-14
- Nen K (1996) Heavy metal-induced changes in the feeding and burrowing behaviour of a Baltic isopod, *Saduria (Mesidotea) entomon* L. *Marine Environmental Research* 41:145-156
- Neubauer SC (2008) Contributions of mineral and organic components to tidal freshwater marsh accretion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78:78-88
- Nichols MM (1984) Fluid Mud Accumulation Processes in An Estuary. *Geo-Marine Letters* 4:171-176
- Nicholson G, Jenkins GP, Sherwood J, Longmore A (2008) Physical environmental conditions, spawning and early-life stages of an estuarine fish: Climate change implications for recruitment in intermittently open estuaries. *Marine and Freshwater Research* 59:735-749
- Nienhuis P.H. (2006) Water and values: ecological research as the basis for water management and nature management. *Hydrobiologia* 565:261-275
- Nienhuis PH, Smaal AC, Knoester M (1994) The Oosterschelde estuary: an evaluation of changes at the ecosystem level induced by civil-engineering works. *Hydrobiologia* 282-283:575-592
- Niessen S, Foucher D, Clarisse O, Fischer JC, Mikac N, Kwokal Z, Fajon V, Horvat M (2003) Influence of sulphur cycle on mercury methylation in estuarine sediment (Seine estuary, France). *Journal de Physique Iv* 107:953-956
- Nixon SW (1982) The ecology of New England high salt marshes: a community profile (*Spartina*).
- Norkko,A., Thrush,S.F., Hewitt,J.E., Cummings,V.J., Norkko,J., Ellis,J.I., Funnell,G.A., Schultz,D., and MacDonald,I. (2002) Smothering of estuarine sandflats by terrigenous clay: the role of wind-wave disturbance and bioturbation in site-dependent macrofaunal recovery. *Marine Ecology-Progress Series*, 234:23-41.
- Norris,K., Atkinson,P.W., Gill,J.A., 2004. Climate change and coastal waterbird populations - past declines and future impacts. *Ibis* 146, 82-89.
- Oger C, Berthe T, Quillet L, Barray S, Chiffolleau JF, Petit F (2001) Estimation of the abundance of the cadmium resistance gene *cadA* in microbial communities in polluted estuary water. *Research in Microbiology* 152:671-678
- Oger C, Mahillon J, Petit F (2003) Distribution and diversity of a cadmium resistance (*cadA*) determinant and occurrence of IS257 insertion sequences in staphylococcal bacteria isolated from a contaminated estuary (Seine, France). *Fems Microbiology Ecology* 43:173-183

- Oliver LR, Seed R, Reynolds B (2008) The effect of high flow events on mussels (*Mytilus edulis*) in the Conwy estuary, North Wales, UK. *Hydrobiologia* 606:117-127
- Orvain F, Le Hir P, Sauriau PG (2003) A model of fluff layer erosion and subsequent bed erosion in the presence of the bioturbator, *Hydrobia ulvae*. *Journal of Marine Research* 61:823-851
- Osterkamp, S., Kraft, D., Schirmer, M., 2001. Climate change and the ecology of the Weser estuary region: assessing the impact of an abrupt change in climate. *Climate Research* 18, 97-104.
- Ostroumov SA (2005) Some aspects of water filtering activity of filter-feeders. *Hydrobiologia* 542:275-286
- Ouddane B, Abbasse G, Halwani J, Fischer JC (2004) Determination of metal partitioning in porewater extracted from the Seine River Estuary sediment (France). *Journal of Environmental Monitoring* 6:243-253
- Ouddane B, Boust D, Martin E, Fischer JC, Wartel M (2001) The post-depositional reactivity of iron and manganese in the sediments of a macrotidal estuarine system. *Estuaries* 24:1015-1028
- Ouddane B, Skiker M, Halwani J, Wartel M (2000) Iron and manganese remobilisation during the resuspension of anoxic sediments in the Seine estuary waters. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 220:U351
- Ozawa T, Miura M, Fujii S (2007) Heavy metal accumulation and tolerance in a halophyte species *Salicornia europaea*. *Plant and Cell Physiology* 48:S242
- Paerl HW, Valdes-Weaver LM, Joyner AR, Winkelmann V (2009) Phytoplankton indicators of ecological change in the eutrophying Pamlico Sound system, North Carolina. *Ecological Applications* 17:88-101
- Paerl, H.W., Valdes, L.M., Piehler, M.F., Stow, C.A. (2006). Assessing the effects of nutrient management in an estuary experiencing climatic change: The Neuse River Estuary, North Carolina. *Environmental Management* 37, 422-436.
- Paerl, H.W., Valdes-Weaver, L.M., Joyner, A.R., Winkelmann, V. (2007). Phytoplankton indicators of ecological change in the eutrophying Pamlico Sound system, North Carolina. *Ecological Applications* 17, S88-S101.
- Painting SJ, Devlin MJ, Malcolm SJ, Parker ER, Mills DK, Mills C, Tett P, Wither A, Burt J, Jones R, Winpenny K (2007) Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: Susceptibility to eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 55:74-90
- IPCC (2008). Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, IPCC Secretariat, 1-210.
- Parry HE, Pipe RK (2004) Interactive effects of temperature and copper on immunocompetence and disease susceptibility in mussels (*Mytilus edulis*). *Aquatic Toxicology* 69:311-325
- Paskoff RP (2004) Potential implications of sea-level rise for France. *Journal of Coastal Research* 20: 424-434
- Pasternack GB, Hilgartner WB, Brush GS (2000) Biogeomorphology of an upper Chesapeake Bay River-Mouth tidal freshwater marsh. *Wetlands* 20:520-537
- Pearson TH, Stanley SO (1979) Comparative Measurement of the Redox Potential of Marine-Sediments As A Rapid Means of Assessing the Effect of Organic Pollution. *Marine Biology* 53:371-379

- Pena E, Anta J, Puertas J, Teijeiro T (2008) Estimation of drag coefficient and settling velocity of the cockle *Cerastoderma edule* using particle image velocimetry (PIV). *Journal of Coastal Research* 24:150-158
- Pennings SC, Zimmer M, Dias N, Sprung M, Dave N, Ho CK, Kunza A, McFarlin C, Mews M, Pfaunder A, Salgado C (2007) Latitudinal variation in plant-herbivore interactions in European salt marshes. *Oikos* 116:543-549
- Perez JJM, de la Casa A, Pina GG, Acha A (2000) Environmental restoration of the Guadiaro River Estuary, Cadiz, Spain. *Periodicum Biologorum* 102:333-338
- Perrow M.R., Davy A.G. (2002) *Handbook of Ecological Restoration. Restoration in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge
- Pethick, J. (1997). *The Blackwater Estuary: Geomorphological Trends 1978 to 1994. Report to the Environment Agency, Peterborough, UK.*
- Pethick, J. (2001) Coastal management and sea-level rise. *Catena*, 42:307-322.
- Pfister CA (2007) Intertidal invertebrates locally enhance primary production. *Ecology* 88:1647-1653
- Philippart CJM, Beukema JJ, Cadee GC, Dekker R, Goedhart PW, van Iperen JM, Leopold MF, Herman PMJ (2007) Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10:95-118
- Phillips JD (1995) Biogeomorphology and landscape evolution: the problem of scale. *Geomorphology* 13:337-347
- Phillips JD (1995) Biogeomorphology and landscape evolution: the problem of scale. *Geomorphology* 13:337-347
- Pipe RK (1992) Generation of reactive oxygen metabolites by the haemocytes of the mussel *Mytilus edulis*. *Developmental and Comparative Immunology* 16:111-122
- Pipe RK, Coles JA, Farley SR (1995) Assays for measuring immune response in the mussel *Mytilus edulis*. *Techniques in fish immunology. Fish immunology technical communications* 4:93-100
- Piraino S, Fanelli G, Boero F (2002) Variability of species' roles in marine communities: change of paradigms for conservation priorities. *Marine Biology* 140 :1067-1074
- Plater AJ, Appleby PG (2004) Tidal sedimentation in the Tees estuary during the 20th century: Radionuclide and magnetic evidence of pollution and sedimentary response. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60:179-192
- Poirier L, Berthet B, Amiard JC, Jeantet AY, Amiard-Triquet C (2006) A suitable model for the biomonitoring of trace metal bioavailabilities in estuarine sediments: the annelid polychaete *Nereis diversicolor*. *Journal Of The Marine Biological Association Of The United Kingdom* 86:71-82
- Poizot E, Mear Y, Thomas M, Garnaud S (2006) The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis. *Computers & Geosciences* 32:360-370
- Polovina, J. J., G. T. Mitchum, and G. T. Evans 1995. Decadal and basin scale-variation in mixed layer depth and the impact on biological production in the Central and North Pacific 1960–88. *Deep Sea Research* 42:1701–1716.
- Ponsero A, Triplet P, Aulert C, Joyeux E, Meunier F, Perin R (2008) Winter Foraging Activities of Curlew *Numenius arquata* in five large bays and estuaries in France. *Alauda* 76:89-100

- Portner, H.O., Langenbuch, M., and Reipschlag, A. (2004) Biological impact of elevated ocean CO₂ concentrations: Lessons from animal physiology and earth history. *Journal of Oceanography*, 60:705-718.
- Postma H (1967) Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: Lauff GH (ed) *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Washington DC
- Prandle D (1991) A 5-year scientific research programme for managing coastal seas. *Marine Pollution Bulletin* 23:63-68
- Prandle D (2006) Dynamical controls on estuarine bathymetry: Assessment against UK database. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68:282-288
- Prandle, D. (2004) How tides and river flows determine estuarine bathymetries. *Progress in Oceanography*, 61:1-26.
- Preston, B.L., 2004. Observed winter warming of the Chesapeake Bay estuary (1949-2002): Implications for ecosystem management. *Environmental Management* 34, 125-139.
- Prins TC, Smaal AC (1994) The role of the blue mussel *Mytilus edulis* in the cycling of nutrients in the Oosterschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia* 282-283:413-429
- Pritchard L, Folke C, Gunderson L (2000) Valuation of ecosystem services in institutional context. *Ecosystems* 3:36-40
- Przeslawski, R., Davis, A.R., and Benkendorff, K. (2005) Synergistic effects associated with climate change and the development of rocky shore molluscs. *Global Change Biology*, 11:515-522.
- Quaresma VD, Amos CL, Bastos AC (2007) The influence of articulated and disarticulated cockle shells on the erosion of a cohesive bed. *Journal of Coastal Research* 23:1443-1451
- R. Rosenberg, M. Blomqvist, H.C. Nilsson, H. Cederwall, A. Dimming (2004) Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 49:728-739
- Ramade F (2003) *Écologie fondamentale*. Dunod, Paris
- Rand PS, Hinch SG, Morrison J, Foreman MGG, MacNutt MJ, Macdonald JS, Healey MC, Farrell AP, Higgs DA (2006) Effects of river discharge, temperature, and future climates on energetics and mortality of adult migrating Fraser River sockeye salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 135:655-667
- Rao CR (1951) An asymptotic expansion of the distribution of Wilks' criterion. *Bulletin of the International Statistical Institute* 33:177-180
- Ray G.L., Clarke D., Wilber P., Fredette T.J. (1994) Ecological evaluation of mud flat habitats on the coast of Maine constructed of dredged material. *Environmental Effects of Dredged Material* D-94:
- Reeve, D.E., and Karunarathna, H. (2009) On the prediction of long-term morphodynamic response of estuarine systems to sea level rise and human interference. *Continental Shelf Research*, 29:938-950.
- Reise K (2005) Coast of change: Habitat loss and transformations in the Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* 59:9-21

- Reise K, Herre E, Sturm M (2008) Mudflat biota since the 1930s: change beyond return? *Helgoland Marine Research* 62:13-22
- Reiss H, Kroncke I (2005) Seasonal variability of infaunal community structures in three areas of the North Sea under different environmental conditions. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 65:253-274
- Remane A, Schliepper C (1958) *Die Biologie des Brackwassers*. Schwiezerbart'sche Verlagsbuch Handlung, Stuttgart
- Retamal L, Bonilla S, Vincent WF (2008) Optical gradients and phytoplankton production in the Mackenzie River and the coastal Beaufort Sea. *Polar Biology* 31:363-379
- Riascos JM, Heilmayer O, Laudien J (2008) Population dynamics of the tropical bivalve *Cardita affinis* from Malaga Bay, Colombian Pacific related to La Nina 1999-2000. *Helgoland Marine Research* 62:63-71
- Rigley MA, Rijsberman FR (1994) Multicriterion Analysis and the Evaluation of Restoration Policies for A Rhine Estuary. *Socio-Economic Planning Sciences* 28:19-32
- Robertson, P. Habitat Mapping and Development at the Paull Holme Strays Managed Realignment Site on the Humber estuary . 2004. The University of Hull & The Institute of Estuarine and Coastal Studies. M.Sc. Dissertation in Estuarine and Coastal Science and Management.
- Rocher B, Le Goff J, Peluhet L, Briand M, Manduzio H, Gallois J, Devier MH, Geffard O, Gricourt L, Augagneur S, Budzinski H, Pottier D, Andre V, Lebailly P, Cachot J (2006) Genotoxicant accumulation and cellular defence activation in bivalves chronically exposed to waterborne contaminants from the Seine River. *Aquatic Toxicology* 79:65-77
- Roemmich, D. and J. Mcgowan. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California current. *Science* 267:1324–1326.
- Rogers K, Wilton KM, Saintilan N (2006) Vegetation change and surface elevation dynamics in estuarine wetlands of southeast Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66:559-569
- Romana LA (1998) Fonctionnalités de l'estuaire DE LA SEINE. Bulletin de Liaison du Programme Seine-Aval 1-16
- Roni P (2005) Monitoring stream and watershed restoration. American Fisheries Society, Wallingford
- Roozen AJM, Westhoff V (1985) A study on long-term salt-marsh succession using permanent plots. *Vegetatio* 61:23-32
- Ropert M, Dauvin JC (2000) Renewal and accumulation of a *Lanice conchilega* (Pallas) population in the baie des Veys, western Bay of Seine. *Oceanologica Acta* 23:529-546
- Rossi F, Forster RM, Montserrat F, Ponti M, Terlizzi A, Ysebaert T, Middelburg JJ (2007) Human trampling as short-term disturbance on intertidal mudflats: effects on macrofauna biodiversity and population dynamics of bivalves. *Marine Biology* 151:2077-2090
- Rossi F, Gribsholt B, Middelburg JJ, Heip C (2008) Context-dependent effects of suspension feeding on intertidal ecosystem functioning. *Marine Ecology-Progress Series* 354:47-57

- Roze F, Lemauiel S (2004) Sand dune restoration in north Brittany, France: A 10-year monitoring study. *Restoration Ecology* 12:29-35
- Rozema J, Leendertse P, Bakker J, Van Wijnen H, Weinstein MP, Kreeger DA (2000) Nitrogen and vegetation dynamics in European salt marshes. *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology* 469-491
- Rozema, J., G. M. Lenssen, R. A. Broekman, and W. P. Arp. (1990). Effects of atmospheric carbon dioxide enrichment on salt-marsh plants, p. 49–54. In J. J. Beukema (ed.), *Expected Effects of Climatic Change on Marine Coastal Ecosystems*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Ruiz-Jaen MC, Aide TM (2005) Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology* 13: 569-577
- Ryan HF, Noble MA (2007) Sea level fluctuations in central California at subtidal to decadal and longer time scales with implications for San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73:538-550
- Sadok S, Uglow RF, Haswell SJ (1997) Haemolymph and mantle fluid ammonia and ninhydrin positive substances variations in salinity-challenged mussels (*Mytilus edulis* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 211:195-212
- Salgueiro N, Ador I (2007) Short-term sedimentation in Tagus estuary, Portugal: The influence of salt marsh plants. *Hydrobiologia* 587:185-193
- Sardella BA, Sanmarti E, Itz D (2008) The acute temperature tolerance of green sturgeon (*Acipenser medirostris*) and the effect of environmental salinity. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology* 309:477-483
- Sauvé S, Brousseau P, Pellerin J, Morin Y, Cal L, Goudreau P, Fournier M (2002) Phagocytic activity of marine and freshwater bivalves: In vitro exposure of hemocytes to metals (Ag, Cd, Hg and Zn). *Aquatic Toxicology* 58:189-200
- Scavia D, Field JC, Boesch DF, Buddemeier RW, Burkett V, Cayan DR, Fogarty M, Harwell MA, Howarth RW, Mason C, Reed DJ, Royer TC, Sallenger AH, Titus JG (2002) Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems. *Estuaries* 25:149-164
- Scheibling, R. E. And R. L. Stephenson. (1984). Mass mortality of *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinodermata: Echinoidea) off Nova Scotia, Canada. *Marine Biology* 78:153–164.
- Scherrer P, Galichon P (2005) Port 2000 - Combining a port development scheme and an environmental project to launch the rehabilitating the Seine estuary. *Houille Blanche-Revue Internationale de l'Eau* : 87-96.
- Schirmer, M., Schuchardt, B. (2001). Assessing the impact of climate change on the Weser estuary region: an interdisciplinary approach. *Climate Research* 18, 133-140.
- Schmidt S (2005) Investigation of dissolved uranium content in the watershed of Seine River (France). *Journal of Environmental Radioactivity* 78: 1-10.
- Schuchardt B (2005) Klimawandel und Küste: Zeit zur Anpassung?! Climate change and the coast: time for adaptation?! In: B. Schuchardt, M. Schirmer (eds) Springer, Heidelberg: 81-92
- Scolding JWS, Richardson CA, Luckenbach MJ (2007) Predation of cockles (*Cerastoderma edule*) by the whelk (*Buccinum undatum*) under laboratory conditions. *Journal of Molluscan Studies* 73:333-337

- Sebag D, Di Giovanni C, Ogier S, Mesnage V, Laggoun-Defarge F, Durand A (2006) Inventory of sedimentary organic matter in modern wetland (Marais Vernier, Normandy, France) as source-indicative tools to study Holocene alluvial deposits (Lower Seine Valley, France). *International Journal of Coal Geology* 67: 1-16
- Sebilo M, Billen G, Mayer B, Billiou D, Grably M, Garnier J, Mariotti A (2006) Assessing nitrification and denitrification in the seine river and estuary using chemical and isotopic techniques. *Ecosystems* 9:564-577
- Seed R (1996) Patterns of biodiversity in the macro-invertebrate fauna associated with mussel patches on rocky shores. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 76:203-210
- Servais P, Castignolles N, Petit F, George I, Buffet-Janvresse C, and Ficht A. Contaminations bactérienne et virale. 6, 1-27. 1999. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Servais P, Garnier J (2006) Organic carbon and bacterial heterotrophic activity in the maximum turbidity zone of the Seine estuary (France). *Aquatic Sciences* 68:78-85
- Shennan, I. and Woodworth, P., 1992. A comparison of late Holocene and twentieth-century sea level trends from the UK and North Sea region. *Geophys. J. Int.* 109 1, pp. 96–105.
- Short FT, Neckles HA (1999) The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany* 63:169-196
- Shrestha B, Lipe S, Johnson KA, Zhang TQ, Retzaff W, Lin ZQ (2006) Soil hydraulic manipulation and organic amendment for the enhancement of selenium volatilization in a soil-pickleweed system. *Plant and Soil* 288:189-196
- Silva H, Caldeira G, Freitas H (2007) *Salicornia ramosissima* population dynamics and tolerance of salinity. *Ecological Research* 22:125-134
- Simas T, Nunes JP, Ferreira JG (2001) Effects of global climate change on coastal salt marshes. *Ecological Modelling* 139:1-15
- Simboura N, A.Zenetos (2002) Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic index. *Medit.Mar.Sci.* 3:77-111
- Simenstad C, Tanner C, Crandell C, White J, Cordell J (2005) Challenges of habitat restoration in a heavily urbanized estuary: Evaluating the investment. *Journal Of Coastal Research* 6-23
- Sims DW, Wearmouth VJ, Genner MJ, Southward AJ, Hawkins SJ (2004) Low-temperature-driven early spawning migration of a temperate marine fish. *Journal of Animal Ecology* 73:333-341
- Sinha, R.P., Singh, S.P., and Hader, D.P. (2008) Effects of UV-B radiation on phytoplankton and macroalgae: Adaptation strategies. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B-Biological Sciences*, 78:105-116.
- Sitayeb T, Benabdeli K (2008) Contribution to the study of land-use dynamics in the plains of Macta (Algeria) with the aid of remote sensing and GIS. *Comptes Rendus Biologies* 331:466-474

- Smit H, Smits R, VanderVelde G, Coops H (1997) Ecosystem responses in the Rhine-Meuse delta during two decades after enclosure and steps toward estuary restoration. *Estuaries* 20:504-520
- Society for Ecological Restoration International and IUCN-Commission on Ecosystem Management (2003). Framework for the Selection and Description of Case Studies in Ecological Restoration. Annex III: Framework for the Selection and Description of Case Studies in Ecological Restoration. 2nd Ecosystem Restoration Working Group Meeting. 3-3-2002.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration: www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International, 1-13.
- Sohma A, Sekiguchi Y, Kuwae T, Nakamura Y (2008) A benthic-pelagic coupled ecosystem model to estimate the hypoxic estuary including tidal flat-Model description and validation of seasonal/daily dynamics. *Ecological Modelling*, 215: 10-39
- Solomon, D.J., Sambrook, H.T., 2004. Effects of hot dry summers on the loss of Atlantic salmon, *Salmo salar*, from estuaries in South West England. *Fisheries Management and Ecology* 11, 353-363.
- Spencer KL, Cundy AB, Davies-Hearn S, Hughes R, Turner S, MacLeod CL (2008) Physicochemical changes in sediments at Orplands Farm, Essex, UK following 8 years of managed realignment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76:608-619
- Spencer T (1988) Coastal biogeomorphology. *Biogeomorphology* 255-318
- Spilmont N, DAVOULT D, Migne A (2006) Benthic primary production during emersion: In situ measurements and potential primary production in the Seine Estuary (English Channel, France). *Marine Pollution Bulletin* 53:49-55
- Stallins JA (2006) Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology. *Geomorphology* 77:207-216
- Steffens M (2003) Vegetationskundliche und paläoökologische Untersuchungen im Sommerpolder auf Langeoog - Ostteil. Institut für Geobotanik, Universität Hannover
- Stickle WB, Sabourin TD (1979) Effects of salinity on the respiration and heart rate of the common mussel, *Mytilus edulis* L., and the black chiton, *Katherina tunicata* (Wood). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 41:257-268
- Struyf, E., Van Damme, S., and Meire, P. (2004) Possible effects of climate change on estuarine nutrient fluxes: a case study in the highly nutrified Schelde estuary (Belgium, The Netherlands). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60: 649-661.
- Sullivan G, Callaway JC, Zedler JB (2007) Plant assemblage composition explains and predicts how biodiversity affects salt marsh functioning. *Ecological Monographs* 77:569-590
- Sures B (2008) Environmental Parasitology. Interactions between parasites and pollutants in the aquatic environment. *Parasite-Journal de la Societe Francaise de Parasitologie* 15:434-438
- Sylvand B., Ducrotoy J.-P., Lewis J. & Elliott M. (1999). Indications of change in the biota of the North Sea and the English Channel in the 1990s. 4th MEDCOAST / 4th EMECS Joint Conference, 'Land-Ocean Interactions: Managing Coastal Ecosystems', Antalya, Turkey, 2-6 November 1999

- Tedengren M, Kautsky N (1987) Comparative stress response to diesel oil and salinity changes of the blue mussel, *Mytilus edulis* from the Baltic and North Sea. *Ophelia* 28:1-9
- Teixeira H, Salas F, Neto JM, cio J, Pinto R, ssimo H, Charton JA, Marcos C, rez-Ruzafa A, Marques JC (2008) Ecological indices tracking distinct impacts along disturbance-recovery gradients in a temperate NE Atlantic Estuary - Guidance on reference values. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80:130-140
- Ter Braak C.J.F., Prentice I.C. (1988) A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research* 18:271-317
- Tett P, Gowen R, Mills D, Fernandes T, Gilpin L, Huxham M, Kennington K, Read P, Service M, Wilkinson M, Malcolm S (2007) Defining and detecting undesirable disturbance in the context of marine eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 55:282-297
- Thieltges DW (2007) Habitat and transmission - effect of tidal level and upstream host density on metacercarial load in an intertidal bivalve. *Parasitology* 134:599-605
- Thieltges DW (2008) Effect of host size and temporal exposure on metacercarial infection levels in the intertidal cockle *Cerastoderma edule*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88:613-616
- Thieltges DW, Hussell B, Hermann J, Jensen KT, Krakau M, Taraschewski H, Reise K (2008) Parasites in the northern Wadden Sea: a conservative ecosystem component over 4 decades. *Helgoland Marine Research* 62:37-47
- Thieltges DW, Reise K (2006) Metazoan parasites in intertidal cockles *Cerastoderma edule* from the northern Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 56:284-293
- Thieltges DW, Reise K (2007) Spatial heterogeneity in parasite infections at different spatial scales in an intertidal bivalve. *Oecologia* 150:569-581
- Thieltges DW, Rick J (2006) Effect of temperature on emergence, survival and infectivity of cercariae of the marine trematode *Renicola roscovita* (Digenea : Renicolidae). *Diseases of Aquatic Organisms* 73:63-68
- Thorhaug A (1980) Environmental-Management of A Highly Impacted, Urbanized Tropical Estuary - Rehabilitation and Restoration. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 33:614-623
- Thorhaug A (1983) Habitat Restoration After Pipeline Construction in A Tropical Estuary - Seagrasses. *Marine Pollution Bulletin* 14:422-425
- Thorhaug A (1987) Large-Scale Seagrass Restoration in A Damaged Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 18:442-446
- Thouzeau G, Grall J, Clavier J, Chauvaud L, Jean F, Leynaert A, ni Longphuirt S, Amice E, Amouroux D (2007) Spatial and temporal variability of benthic biogeochemical fluxes associated with macrophytic and macrofaunal distributions in the Thau lagoon (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 72:432-446
- Tikhomirova NA, Ushakova SA, Tikhomirov AA, Kalacheva GS, Gros JB (2008) Possibility of *Salicornia europaea* use for the human liquid wastes inclusion into BLSS intrasystem mass exchange. *Acta Astronautica* 63:1106-1110
- Titus JG (1990) Greenhouse effect, sea level rise and land use. *Land Use Policy* 7:138-153
- Townend IH, Wang ZB, Rees JG (2007) Millennial to annual volume changes in the Humber Estuary. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 463:837-854

- Train D, White PC (1971) Thames Estuary - Restoration and Preservation of Its Quality. *Chemistry & Industry* 1251-&
- Triplet P., Ducrotoy J.P., Bastide J. (2008) La Spartine anglaise dans le monde : une synthèse des connaissances. *Aestuaria, cultures et développement durable* 135-166
- Tronczynski J, Munsch C, and Moisan K. Les contaminants organiques qui laissent des traces : sources, transport et devenir. 12, 1-39. 1999. Rouen, IFREMER. Programme Scientifique Seine-Aval.
- Troost K, Veldhuizen R, Stamhuis EJ, Wolff WJ (2008) Can bivalve veligers escape feeding currents of adult bivalves? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 358:185-196
- Tyler AC, Lambrinos JG, Grosholz ED (2007) Nitrogen inputs promote the spread of an invasive marsh grass. *Ecological Applications* 17:1886-1898
- Uncles RJ, Stephens JA (2000) Observations of currents, salinity, turbidity and intertidal mudflat characteristics and properties in the Tavy Estuary, UK. *Continental Shelf Research* 20:1531-1549
- Valiela I, Teal JM (1979) The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem. *Nature* 280:652-656
- Van Aken HM (2008) Variability of the salinity in the western Wadden Sea on tidal to centennial time scales. *Journal of Sea Research* 59:121-132
- Van den Bergh E, Van Damme S, Graveland J, de Jong D, Baten I, Meire P (2005) Ecological rehabilitation of the Schelde Estuary (The Netherlands-Belgium; Northwest Europe): Linking ecology, safety against floods, and accessibility for port development. *Restoration Ecology* 13:204-214
- Van der Leeuw S, Lévêque C. (2003) Quelles natures voulons nous? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement. Elsevier, Paris
- Van der Wal D, Pye K, Neal A (2002) Long-term morphological change in the Ribble Estuary, northwest England. *Marine Geology* 189:249-266
- Van Gils JA, Piersma T, Dekinga A, Spaans B, Kraan C (2006) Shellfish dredging pushes a flexible avian top predator out of a marine protected area. *Plos Biology* 4:2399-2404
- Van Wijnen HJ (1999) Nitrogen Dynamics and Vegetation Succession in Salt Marshes
- Verger F, Ghirardi R (2006) Marais maritimes et estuaires du littoral français. Belin, Paris
- Verney R, Deloffre J, Brun-Cottan JC, Lafite R (2007) The effect of wave-induced turbulence on intertidal mudflats: Impact of boat traffic and wind. *Continental Shelf Research* 27:594-612
- Viles HA (1988) Coastal landforms: human activity, geomorphology and ecology in the coastal zone. *Progress in Physical Geography* 12:293-301
- Viles HA, Naylor LA, Carter NEA, Chaput D (2008) Biogeomorphological disturbance regimes: Progress in linking ecological and geomorphological systems. *Earth Surface Processes and Landforms* 33:1419-1435
- Virsta A (2007) Floodplain revegetation and river basin restoration. *Environmental Engineering and Management Journal* 6:275-280
- Vogel RL, Kjerfve B, Gardner LR (1996) Inorganic sediment budget for the North Inlet salt marsh, South Carolina, USA. *Mangroves and Salt Marshes* 1:23-35

- Voies Navigables de France (2003) Restauration des milieux naturels - Restauration de la ligne d'étiage en basse LoireAncenis. Présentation au Comité consultatif de l'état d'avancement des études pré-opérationnelles : 1-19
- Waisel Y (1972) Biology of Halophytes
- Wang HQ, Hsieh YP, Harwell MA, Huang WR (2007) Modeling soil salinity distribution along topographic gradients in tidal salt marshes in Atlantic and Gulf coastal regions. *Ecological Modelling* 201:429-439
- Wang J, Masse L, Tastet JP (2006) Sedimentary facies and paleoenvironmental interpretation of a Holocene marsh in the Gironde Estuary in France. *Acta Oceanologica Sinica* 25:52-62
- Wang Q, An SQ, Ma ZJ, Zhao B, Chen JK, Li B (2006) Invasive *Spartina alterniflora*: Biology, ecology and management. *Acta Phytotaxonomica Sinica* 44:559-588
- Wang Q, Wang CH, Zhao B, Ma ZJ, Luo YQ, Chen JK, Li B (2006) Effects of growing conditions on the growth of and interactions between salt marsh plants: Implications for invasibility of habitats. *Biological Invasions* 8:1547-1560
- Wang SG, Zhou YZ, Li X, Chen GZ (2005) Effects of disturbance on estuary wetland ecosystem. *Zhongshan Daxue Xuebao/Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 44:107-111
- Waples RS, Zabel RW, Scheuerell MD, Sanderson BL (2008) Evolutionary responses by native species to major anthropogenic changes to their ecosystems: Pacific salmon in the Columbia River hydropower system. *Molecular Ecology* 17:84-96
- Watson EB (2008) Marsh expansion at Calaveras Point Marsh, South San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78:593-602
- Watson GJ, Farrell P, Stanton S, Skidmore LC (2007) Effects of bait collection on *Nereis virens* populations and macrofaunal communities in the Solent, UK. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87:703-716
- Watson, E.B., 2004. Changing elevation, accretion, and tidal marsh plant assemblages in a South San Francisco Bay tidal marsh. *Estuaries* 27, 684-698.
- Wellner, R.W., Bartek, L.R., 2003. The effect of sea level, climate, and shelf physiography on the development of incised-valley complexes: A modern example from the East China Sea. *Journal of Sedimentary Research* 73, 926-940.
- West AD, Yates MG, McGrorty S, Stillman RA (2007) Predicting site quality for shorebird communities: A case study on the Wash embayment, UK. *Ecological Modelling* 202:527-539
- Westerbom M, Kilpi M, Mustonen O (2002) Blue mussels, *Mytilus edulis*, at the edge of the range: Population structure, growth and biomass along a salinity gradient in the north-eastern Baltic Sea. *Marine Biology* 140:991-999
- Westerbom M, Kilpi M, Mustonen O (2002) Blue mussels, *Mytilus edulis*, at the edge of the range: Population structure, growth and biomass along a salinity gradient in the north-eastern Baltic Sea. *Marine Biology* 140:991-999
- Whitcraft CR, Levin LA (2007) Regulation of benthic algal and animal communities by salt marsh plants: Impact of shading. *Ecology* 88:904-917
- Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Kernan, M., and Wade, A.J. (2009) A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques*, 54:101-123.

- Widdows J, Donkin P (1992) Mussels and environmental contaminants: Bioaccumulation and physiological aspects. *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture* 383-424
- Widdows J, Navarro JM (2007) Influence of current speed on clearance rate, algal cell depletion in the water column and resuspension of biodeposits of cockles (*Cerastoderma edule*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 343:44-51
- Widdows J, Pope ND, Brinsley MD (2008) Effect of *Spartina anglica* stems on near-bed hydrodynamics, sediment erodability and morphological changes on an intertidal mudflat. *Marine Ecology Progress Series* 362:45-57
- Wilcox C.G. (1986) Comparison of shorebird and waterfowl densities on restored and natural intertidal mudflat at Upper Newport Bay (USA). *Colonial Waterbirds* 9:218-226
- Williams GD, Zedler JB (1999) Fish assemblage composition in constructed and natural tidal marshes of San Diego Bay: Relative influence of channel morphology and restoration history. *Estuaries* 22:702-716
- Williamson M, Fitter A (1996) The varying success of invaders. *Ecology* 77:1661-1666
- Williot P, Rochard E, Castelnaud G, Rouault T, Brun R, Lepage M, Elie P (1997) Biological characteristics of European Atlantic sturgeon, *Acipenser sturio*, as the basis for a restoration program in France. *Environmental Biology of Fishes* 48:359-372
- Woerner LS, Hackney CT (1997) Distribution of *Juncus roemerianus* in North Carolina tidal marshes: The importance of physical and biotic variables. *Wetlands* 17:284-291
- Wolanski E (2006) The evolution time scale of macro-tidal estuaries: Examples from the Pacific Rim. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 66:544-549
- Wolanski E (2007) *Estuarine ecohydrology*. Elsevier, Amsterdam Boston Paris
- Wolanski E, Chappell J (1996) The response of tropical Australian estuaries to a sea level rise. *Journal of Marine Systems* 7:267-279
- Wolanski E, Chicharo L, Chicharo MA, Morais P (2006) An ecohydrology model of the Guadiana Estuary (South Portugal). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 70:132-143
- Wolanski E, Huan NN, Dao LT, Nhan NH, Thuy NN (1996) Fine-sediment dynamics in the Mekong river estuary, Vietnam. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 43:565-582
- Wolanski E, Williams D, Hanert E (2006) The sediment trapping efficiency of the macro-tidal Daly Estuary, tropical Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 69:291-298
- Wolters M, Garbutt A, Bekker RM, Bakker JP, Carey PD (2008) Restoration of salt-marsh vegetation in relation to site suitability, species pool and dispersal traits. *Journal of Applied Ecology* 45:904-912
- Woodworth, P.L., 2006. Some important issues to do with long-term sea level change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A-Mathematical Physical and Engineering Sciences* 364, 787-803.

- Wootton EC, Dyrnya EA, Ratcliffe NA (2003) Bivalve immunity: Comparisons between the marine mussel (*Mytilus edulis*), the edible cockle (*Cerastoderma edule*) and the razor-shell (*Ensis siliqua*). *Fish and Shellfish Immunology* 15:195-210
- Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Halpern BS, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR, Sala E, Selkoe KA, Stachowicz JJ, Watson R (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314:787-790
- Yozzo DJ, Clark R, Curwen N, Graybill MR, Reid P, Scanes S, Tilbrook C (2000) Managed retreat: assessing the role of the human community in habitat restoration projects in the United Kingdom. *Ecological Restoration* 18:234-244
- Zacher, K., Wulff, A., Molis, M., Hanelt, D., and Wiencke, C. (2007) Ultraviolet radiation and consumer effects on a field-grown intertidal macroalgal assemblage in Antarctica. *Global Change Biology*, 13:1201-1215.
- Zajac RN, Whitlatch R.B. (2001) Response of macrobenthic communities to restoration efforts in a New England estuary. *Estuaries* 24:167-183
- Zedler JB (1977) Salt marsh community structure in the Tijuana Estuary, California. *Estuarine and Coastal Marine Science* 5:39-53
- Zedler JB (2000) Progress in wetland restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 15:402-407
- Zedler JB, Adam P (2002) Saltmarshes. Chapter 11. In: Perrow MR, Davy AJ (eds) *Handbook of Ecological Restoration, Volume 2: Restoration in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge
- Zedler JB, Callaway JC (1999) Tracking wetland restoration: Do mitigation sites follow desired trajectories? *Restoration Ecology* 7:69-73
- Zedler JB, Callaway JC (2000) Evaluating the progress of engineered tidal wetlands. *Ecological Engineering* 15:211-225
- Zedler JB, Morzaria-Luna H, Ward K (2003) The challenge of restoring vegetation on tidal, hypersaline substrates. *Plant and Soil* 253:259-273
- Zedler JB, West JM (2008) Declining diversity in natural and restored salt marshes: A 30-year study of Tijuana Estuary. *Restoration Ecology* 16:249-262
- Zettler ML, Schiedek D, Bobertz B (2007) Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 55:258-270
- Zhang L, Mitsch WJ, Fink DF (2005) Hydrology, water quality, and restoration potential for the upper Big Darby Creek, central Ohio. *Ohio Journal of Science* 105:46-56
- Zimmermann C, von Lieberman N, S. MAI (2005) Die Auswirkungen einer Klima,nderung auf das Kestenschutzsystem an der Unterweser. In: B. Schuchardt, M. Schirmer (eds) Springer, Heidelberg, pp 139-148