



EPURE

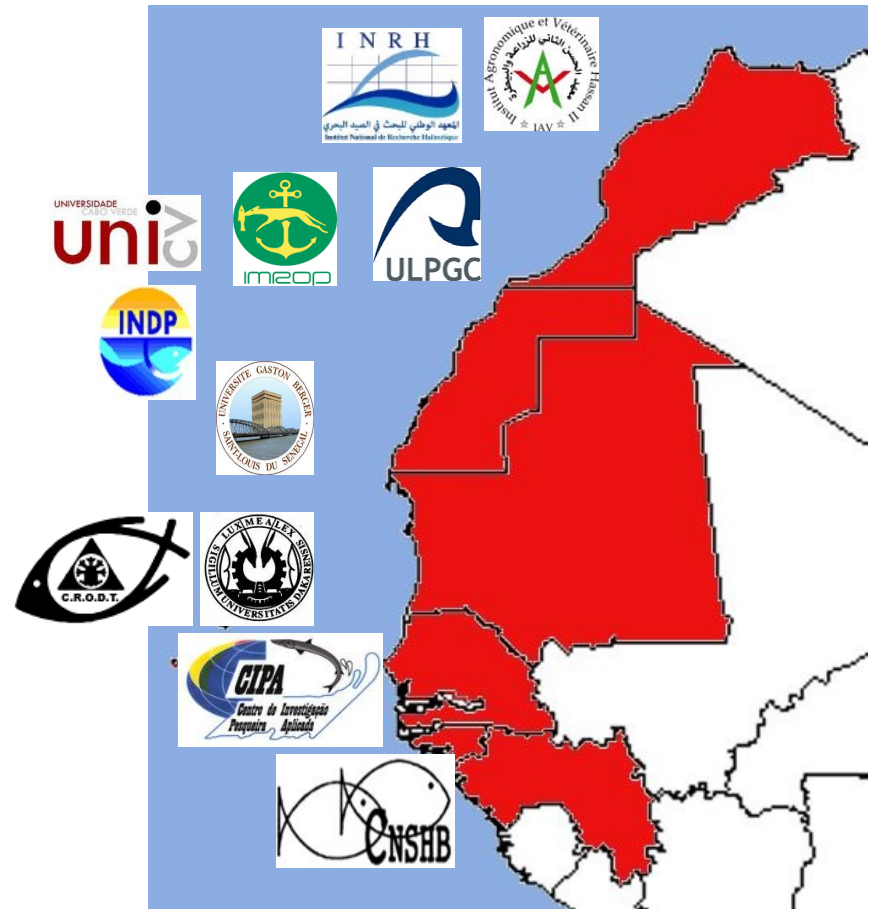
Éléments traces métalliques
Pollution, perturbations climatiques
Upwelling et REssources

Luis Tito de Morais (LEMAR-IRD)
Coordinateur projet ANR



Contexte Ouest-Africain

Le projet EPURE fait partie du dispositif de l'IRD en Afrique de l'Ouest qui inclut en particulier les programmes AWA et PREFACE (LEMAR) et le LMI « ECLAIRS » (LOCEAN) qui a également fait appel en 2013 à des campagnes sur l'ANTEA (campagnes UPSEN et ECOAO). Ces activités se basent sur un important réseau de partenaires nationaux.



EPURE : Problématique scientifique

Contexte : Réchauffement climatique

Zones marines riches, fortement anthropisées sous la menace de pollutions

Présence de plus en plus forte d'ETM , due aux activités industrielles et d'extraction

Réchauffement climatique: modifications des courants marins, affaiblissement ou renforcement des upwellings

Potentialisation de la pollution marine (ETM) par renforcement de l'Upwelling

Accumulation des ETM dans la chaîne alimentaire aquatique

Accroissement de la vulnérabilité des sociétés humaines via la filière halieutique

Le cas d'étude marocain

Risque de transmission de micro-contaminants depuis le milieu marin vers la filière pêche

Zone de l'écosystème du Courant des Canaries : potentiel halieutique considérable dont la production est fortement exportée vers les pays de la communauté européenne.

Augmentation de certains ETM au moment où l'upwelling est le plus fort (été) ou juste après la saison de fort upwelling (automne)

Concentrations en ETM plus fortes dans des zones où l'upwelling est le plus intense

Augmentation globale des micro-contaminants observée ces dernières années

Importance et vulnérabilité humaine de la filière pêche (consommation locale et exportations)

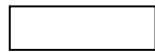
Projet porté par :

- **L. Tito de Morais, UMR LEMAR, Plouzané**
UMR LEMAR, Laboratoire des sciences de l'environnement marin (UBO, CNRS, IRD, Ifremer)

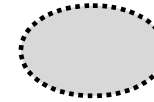
Partenaires :

- **UMR PRODIG**, Paris (Resp. J.-Y. Weigel)
Pôle de Recherches pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographiques (CNRS, Univ. P1, P4, P7, EPHE, IRD)
- **UMR LPO**, Plouzané (Resp. E. Machu)
Laboratoire de Physique des Océans (CNRS, UBO, Ifremer, IRD)
- **UMR DO**, Plouzané (Resp. France Floch)
Domaines Océaniques (CNRS, UBO)
- **INRH**, Casablanca (Resp. A. Benhra)
Institut National de Recherche Halieutique du Maroc

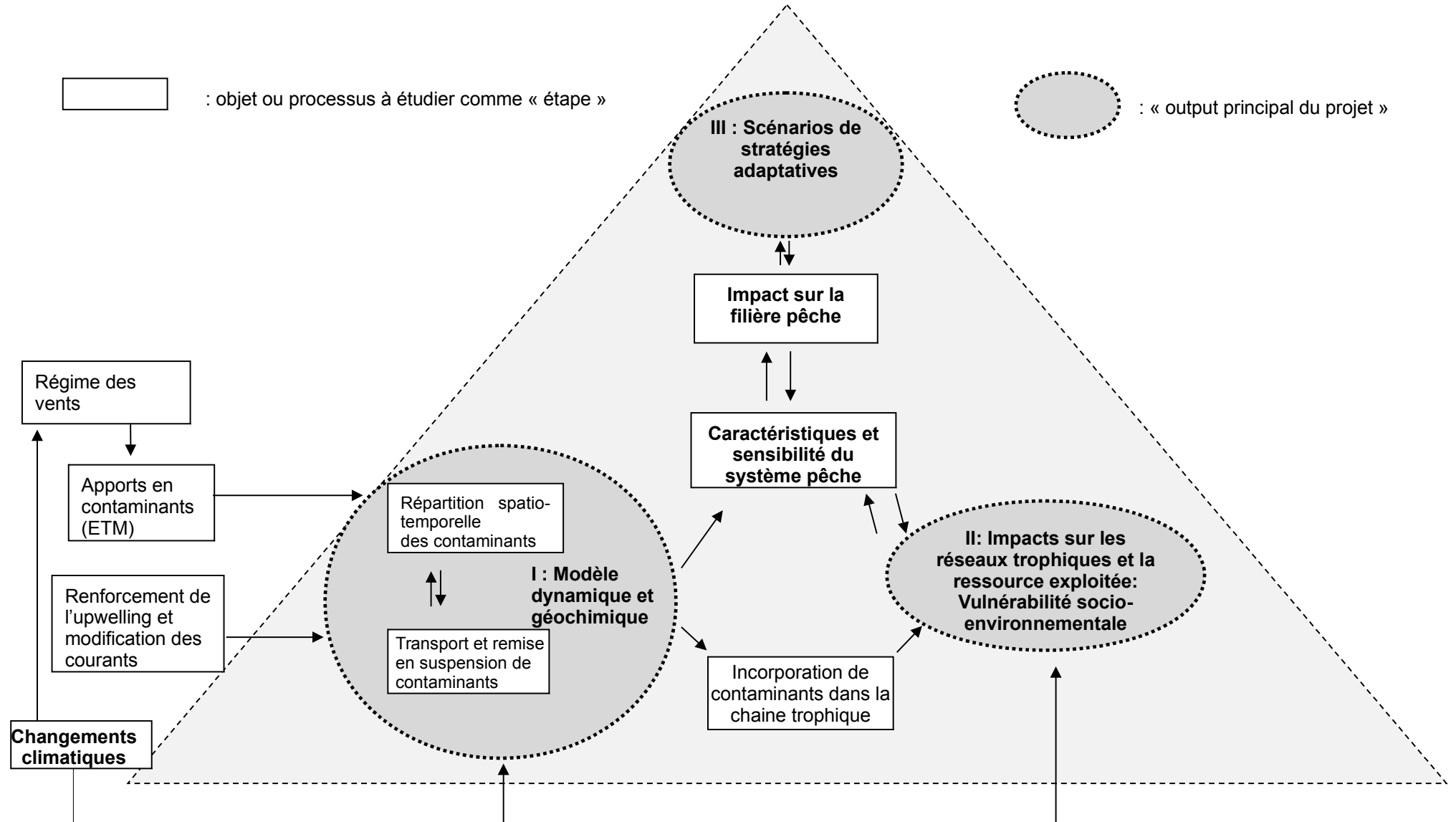
Schéma conceptuel du projet



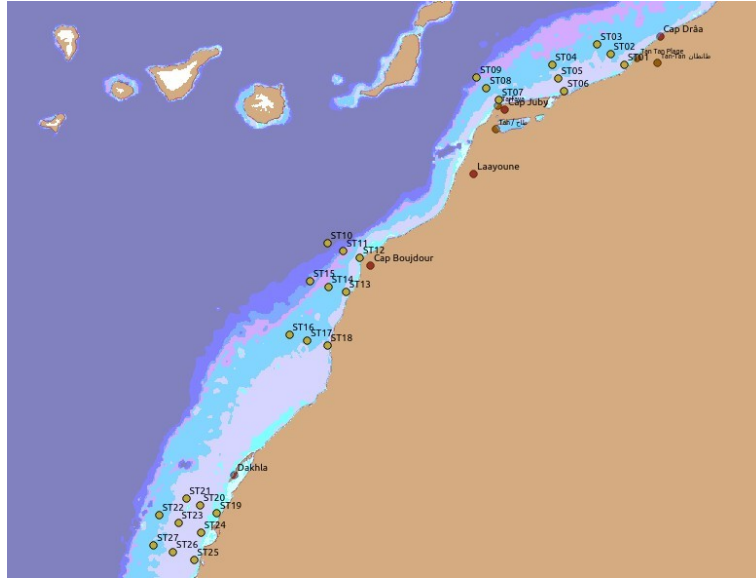
: objet ou processus à étudier comme « étape »



: « output principal du projet »



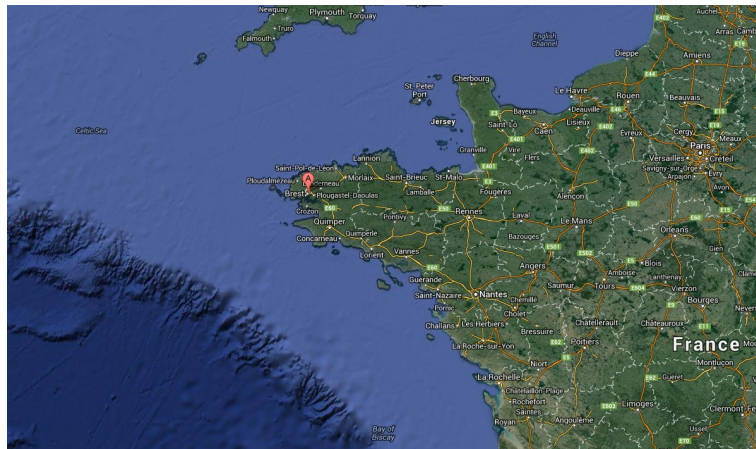
Zone d'étude et expérimentations



Zone d'étude principale

Du sud d'Agadir : $29^{\circ}35'$ Nord,
au sud de Dakhla : $22^{\circ}50'$ Nord.

+ Données complémentaires du
Sénégal.



Expérimentation

Opérations de calibration et
d'expérimentation dans des sites
français (Rade de Brest) et les
laboratoires et bassins à la
disposition des équipes à
Casablanca (INRH) et au CEDRE à
Brest).

Description des tâches

Étude des processus physiques

TÂCHE P1

Modélisation du devenir des masses d'eau enrichies en ETM à l'aide d'un modèle couplé physique / biogéochimie.

Responsables : Karim Hilmi (INRH) et Eric Machu (UMR LPO)

TÂCHE P2

Dosage des métaux trace (ETM) dans l'eau et leur spéciation, cas du Cadmium.

Responsables : Samir Benbrahim (INRH) et Ricardo Riso (UMR LEMAR)

TÂCHE P3

Mesure des sédiments mis en suspension et déposés par les courants marins.

Responsables : S. Benbrahim (INRH) et F. Floc'h (UMR DO)

Description des tâches

Étude des processus Biologiques : incorporation des micropolluants dans le réseau trophique et les organes d'accumulation

TACHE B1

Enregistrements spatio-temporels (eau, sédiments, coquilles et otolithes).

Responsables : A. Benhra (INRH) et M. Labonne (UMR LEMAR)

TACHE B2

Distribution et composition des échelons trophiques intermédiaires par acoustique et filets.

Responsables : O. Ettahiri (INRH) et A. Lebourges-Dhaussy (UMR LEMAR)

TACHE B3

Évaluation des transferts de contaminants et des risques pour les écosystèmes et la pêche.

Responsables : H. Maaski (INRH) et R. Laë (UMR LEMAR)

Description des tâches

Étude des processus Sociétaux

TACHE S1

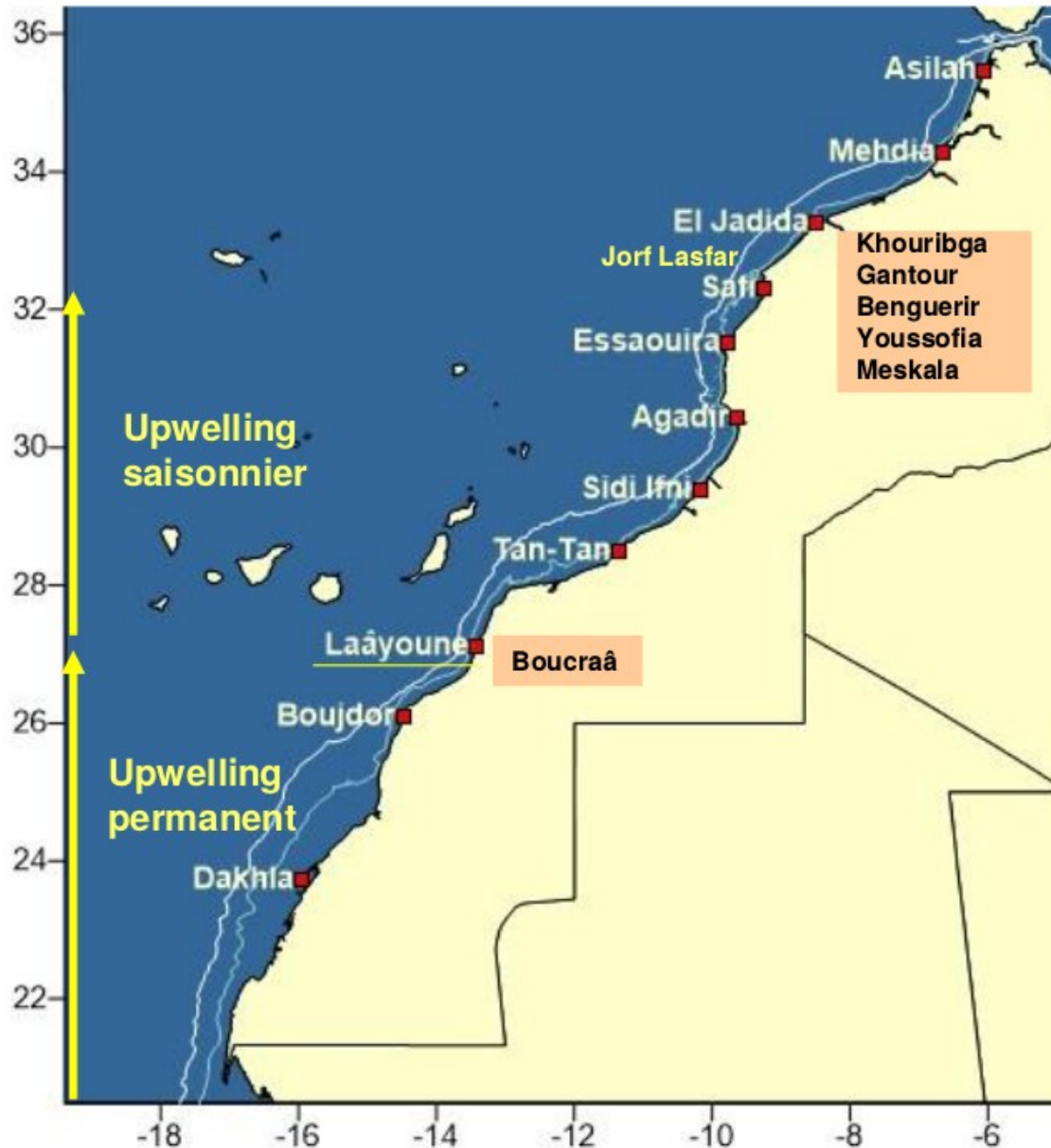
Impact des contaminants, vulnérabilités environnementales et stratégies adaptatives de la filière pêche.

Responsables : M. Amrani (INRH) et J.-Y. Weigel (UMR PRODIG).

Durée du projet : 2012 - 2016

- *Première réunion plénière à Casablanca en février 2012.*
- *Constitution de bases de données sur la durée du projet*
 - Suivi des ETM : eau, sédiments, phyto et zooplancton, poissons (campagnes en mer)
 - Évolution des peuplements (campagnes en mer)
 - Étude des courants et sédiments (campagnes en mer)
 - Évolution des débarquements de la pêche (enquêtes)
 - Expérimentations sur contamination au Cd (coll. LEMAR/CEDRE)
 - Stations de prélèvement de poussières atmosphériques
- *Campagnes*
 - Année 2012 : campagne (bateau INRH) petits pélagiques avec eau, sédiment, phyto et zoo.
 - Année 2012 : prélèvement de mollusques et poissons sur toute la côte (2 saisons). Maille 100 km (achats auprès des pêcheurs et utilisation de petites embarcations depuis la côte).
 - Année 2013 : Campagnes **ANTEA** (DO/LEMAR) en juin/juillet et novembre/décembre.

B1/B3 Echantillonnage dans les ports



Onze ports échantillonnés

Upwelling

- temporaire au nord
- permanent au sud

Exploitation de phosphate

Mines

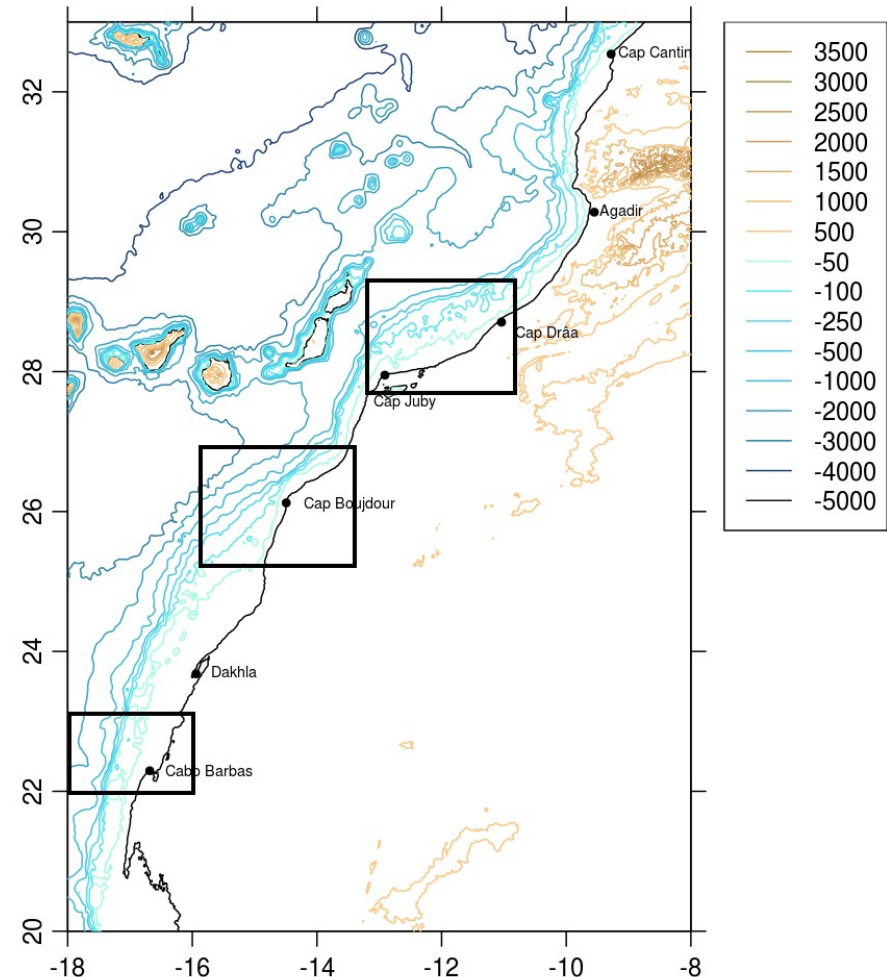
- Khouribga
- Gantour
- Benguerir
- Youssefia
- Meskala
- Boucraâ

Ports

- Jorf Lasfar
- Safi
- Laayoune

Les campagnes EPURE se sont déroulées sur 4 legs à deux périodes de l'année : autour du mois de juillet (période de fort upwelling, Legs 1 et 2) et en novembre (période de faible upwelling, Legs 3 et 4).

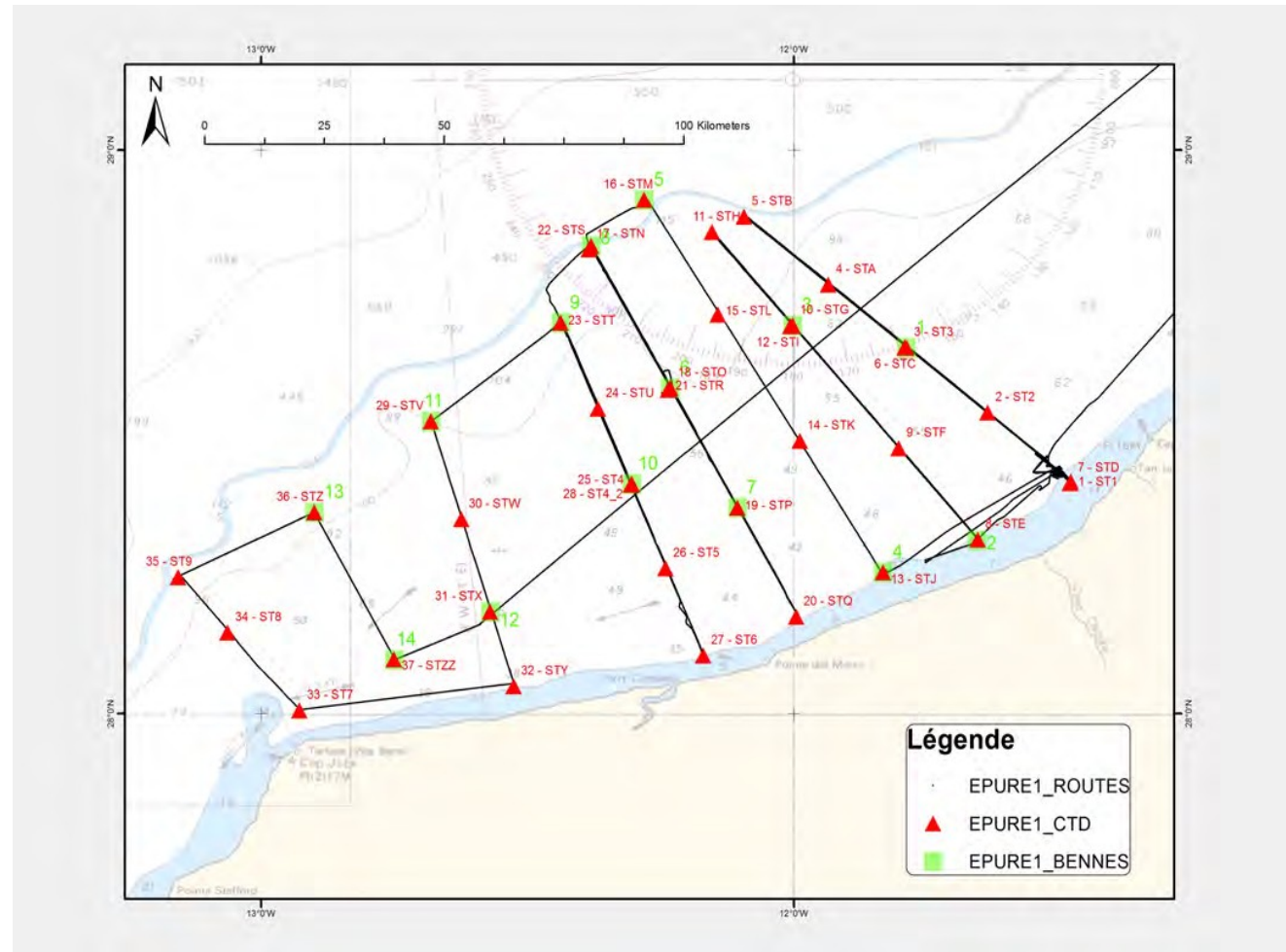
Les opérations conduites lors de chacune de ces deux périodes ont été identiques : le Leg 1 et le Leg 3 représentent les mêmes opérations, et se déroulent au voisinage d'Agadir. Les legs 2 et 4 sont menés sur une aire plus vaste entre Agadir et une zone au sud de Dakhla).



Deux campagnes similaires, l'une en période de fort upwelling, l'autre de faible upwelling.

Legs 1 et 3 (DO-INRH)

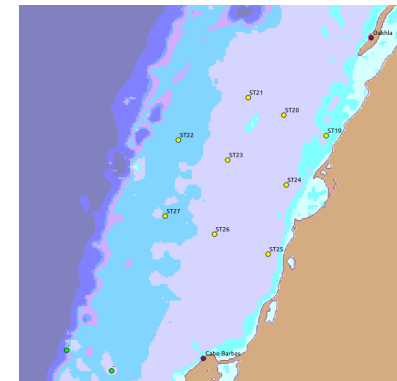
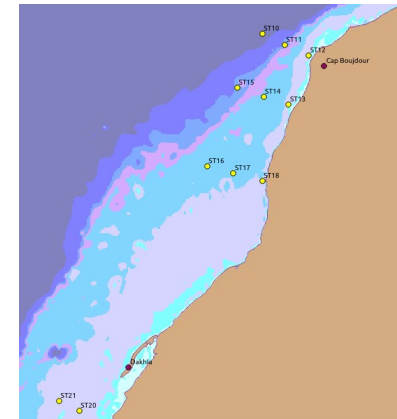
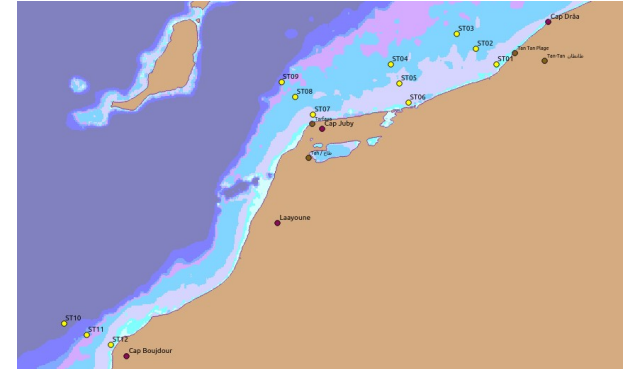
En période de forte activité de l'upwelling, la quantité de sédiments remise en suspension serait plus importante et entraînerait des concentrations plus fortes de certains métaux. Il s'agissait donc de prélever et mesurer la quantité de sédiments en suspension dans la colonne d'eau à différentes périodes de temps pour préciser les liens entre quantité de sédiments en suspension et déposés, l'intensité des courants et les concentrations en métaux lourds.



Deux campagnes similaires, l'une en période de fort upwelling, l'autre de faible upwelling.

Legs 2 et 4 (LEMAR-INRH)

Des échantillons biologiques ont été prélevés sur des animaux de différents niveaux trophiques (zooplancton, mollusques, poissons), vivant à différents niveaux du plateau continental. Des échantillons de sédiment, d'eau et de phytoplancton ont également été prélevés pour analyse ultérieure et des mesures in-situ ont été réalisées par différents capteurs en station et par acoustique en continu.



Avancement et premiers résultats P1/P2 (LPO-LEMAR)

Estimation of Cd sources to the productive coastal zone (0-100km)

Upwelling : 700-1400 t/yr
= Volume transport ($4.10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) * $[\text{Cd}^{2+}]$
($0.05\text{-}0.1 \mu\text{mol}/\text{m}^3$)

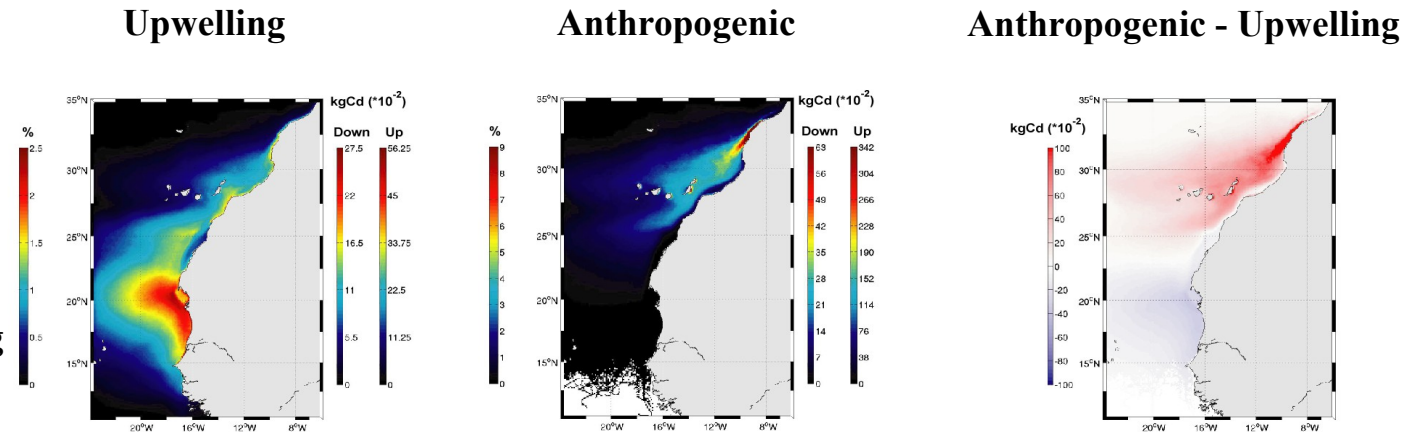
Atmospheric deposition : 100 t/yr
= Particle flux (5.10^6 tons/year) *
[Cd in phosphate rocks] (40ppm)

Anthropogenic : 144-825 tons/year
= Phosphogypse production ($27.5.10^6 \text{ tons/year}$) * [Cd in phosphate rocks] (7-40 ppm) * Leaching rate (75%)

References : Aristégui et al. (2009), Yeats et al. (1995), Annual Report of Office Chérifien des Phosphates (2012), Gaudry et al. (2007), Al-Masri et al. (2004), Prospero (1996), Neuer et al. (2004)

Cd-Dispersion

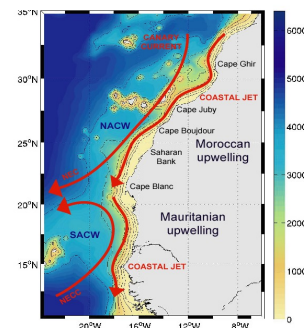
Particle counting
(%, kgCd)



3D biogeochemical hindcast
(ROMS-PISCES - 1/12° - 1980-2009)

Particle tracking (ARIANE lagrangian tool)

Particle release function of Cd sources
-> Upwelling source waters (75-300m depth)
-> Phosphate industry nearshore at 33°N



Le signal anthropique est plus fort au large du Maroc et il est au moins égal au signal naturel d'upwelling au large de la Mauritanie (Auger, P.A., Machu, E., Gorgues, T., Grima, N., Waeles, M., 2015)

Methods

Conclusion

Le premier Master "estampillé" EPURE

Analyse comparative multi-capteurs de la mesure de la turbidité en milieu marin



Analyse comparative multi-capteurs de la
mesure de la turbidité en milieu marin

Rapport de projet de fin d'études

Auteur : Guillaume Bastide
Promotion 2012
Hydrographie-Océanographie

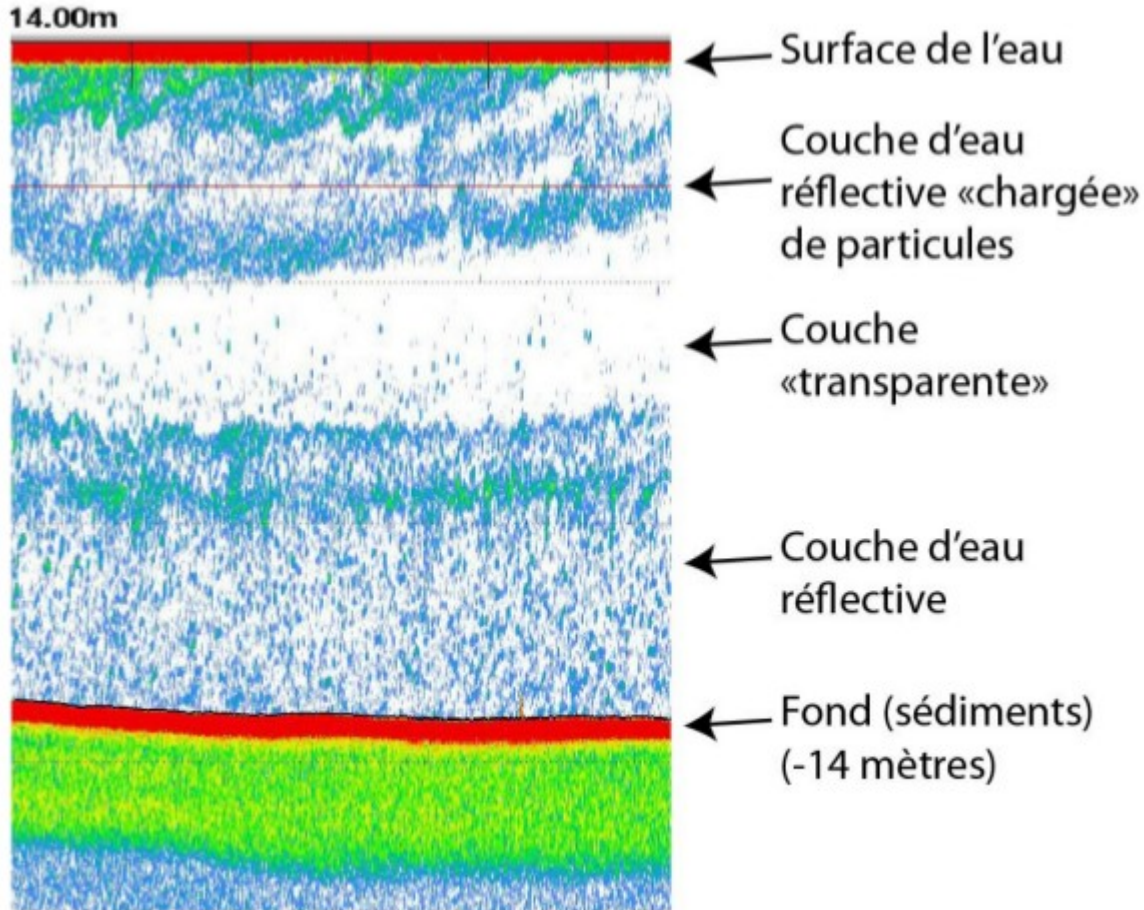


Encadrement : Docteur Anne Deschamps (LDO - IUEM)
Docteur Yannick Perrot (LEMAR - IUEM)

Réalisé sous la direction conjointe d'Anne Deschamps (DO - IUEM) et de Yannick Perrot (LEMAR - IUEM) ce travail a été un travail préliminaire au traitement des données issues du programme EPURE.

BASTIDE G. Analyse comparative multi-capteurs de la mesure de la turbidité en milieu marin. Mémoire d'ingénieur. Plouzané, France : ENSTA-Bretagne, 2012. 74 p.

P3 - Thèse sur les matières en suspension (DO - LEMAR)



Guillaume Fromant

**Mesure des matières en
suspension (MES) dans
la colonne d'eau par
combinaison de
méthodes acoustiques
et optiques. Date de
début : 1 octobre 2012**

**Les encadrants sont Christophe Delacourt (DO), Yannick
Perrot et Anne Lebourges-Dhaussy (LEMAR).**

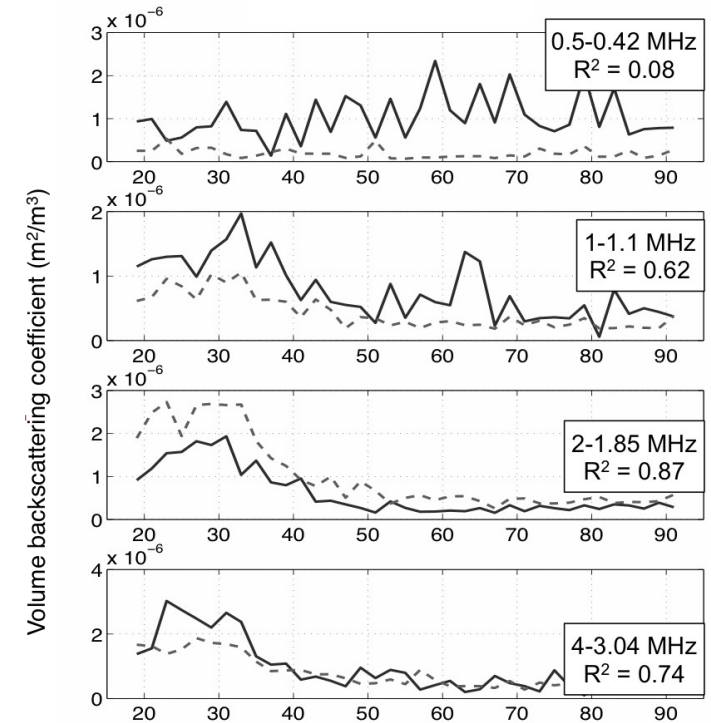
Premiers résultats P3 (DO - LEMAR)

Acoustic inversion using two multifrequency profilers: the Aquascat 1000S and the TAPS (G. Fromant, A. Lebourges-Dhaussy, A. Deschamps, F. Floc'h, H. Piété, Y. Perrot, G. Roudaut, N. Le Dantec (congrès PIE 2014, Danemark).



A total of 50 profiles were collected using the TAPS and Aquascat mounted on the same down casting structure off the Moroccan coasts. A pairwise comparison of the profiles obtained with similar frequencies by the two instruments was done and NNLS algorithm used to inverse the acoustic profiles is based on the hypothesis that the measured backscattered intensity is linearly related to the abundance of particles and organisms in presence into the sampled volume.

The pairwise comparison of the close-frequency profiles of the TAPS and Aquascat, showing volume backscattering coefficient as a function of depth. Dashed lines represent Aquascat data (0.5 – 1 – 2 – 4 MHz), solid lines the TAPS data (0.42 – 0.7 – 1.1 – 1.85 – 3.04 MHz). Results are encouraging for the possibility of using the Aquascat as a micro/meso- zooplankton profiler, far from its primary field of application, provided that lower frequency channels can be added to the overall instrument.



Depth (m)

Methods

Results

Conclusion

P1/P3 - Un travail de Master associant DO et LPO



**Sub Inertial and Super Inertial Dynamics of a Continental Shelf
Region in the Northwest African Upwelling System from In-situ**

Data

Paul Juby

Supervised By

Dr France Floc'h (Laboratoire Domaines océaniques, France)

Dr Thomas Meunier (Laboratoire de Physique des océans, France)

Dr Anne Deschamps (Laboratoire Domaines océaniques, France)

Professor Marcello Vichi (University of Cape Town, South Africa)

Minor dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master
of Science in Applied Marine Science

Department of Biological Sciences

University of Cape Town

March 2015



ICEMASA
International Centre for Education,
Marine and Atmospheric Sciences
over Africa



Réalisé sous la direction conjointe de F. Floc'h, A. Deschamps (DO), T. Meunier (LPO) et M. Vichi (Univ. Cape town), ce travail a analysé une partie des données sur les upwelling au cours des campagnes Epure1 et 3 :

The Epure mission showed coastal upwelling in both cruises with stronger upwelling in E1.

The presence of a shelf break upwelling in the region is exciting and sheds new light on the upwelling processes. In E1 the surface jet from the shelf break upwelling is hypothesized to connect with the jet at Cape Juby caused by the coastal upwelling. In E3 the surface jet associated with the shelf break upwelling was present but only just fell within the sampled region and therefore valid interpretations were not possible.

Premiers résultats des échantillonnages à terre

Poster INRH/LEMAR

Les signatures chimiques des otolithes (obtenues sur les petits individus) caractérisent bien les différentes zones le long de la côte marocaine atlantique.

Les apports en Cd sont marqués uniquement pour les Sardines dans la région de Layoune et Dakhla et semblent liés à l'upwelling permanent.

Signatures microchimiques des otolithes dans la zone atlantique marocaine Concentrations variables en ETM suivant la taille et le niveau trophique des espèces



Hicham Masski¹, Maylis Labonne², Imane Tai¹, Raymond Lae^{1,2}, Fatima Zohra Bouthir¹, Jean Marie Munaron², Eric Dabas², Claire Bassoullet³, Luis Tito de Morais²

1-INRH, Bd Sidi Abdelrahman Ain Dab, Casablanca, Maroc
2-UMR 6539 BIOCHIMISUD (LEMAR, IUEM, Place ouverte, 29020 Plouzané, France
3-UMR 3113 PEO, IUEM, Place ouverte, 29020 Plouzané, France



Figure 1: Carte des sites de prélèvements sur la côte marocaine

Contexte

Les zones d'upwelling (remontées d'eaux profondes riches en éléments nutritifs) sont particulièrement productives et concentrent une bonne part de l'exploitation halieutique dans le monde et notamment au Maroc. Ces zones, fortement anthropisées, se trouvent sous la menace

1) du changement global qui permettrait la remobilisation de contaminants au travers des modifications apportées à la dynamique des upwellings, 2) des pollutions d'origine terrestre.

Au Maroc il a été mis en évidence :

➢ Une augmentation de certains Eléments Traces Métalliques au moment où l'upwelling est le plus fort (été) ou juste après la saison de fort upwelling (automne)

➢ Des concentrations en ETM plus fortes dans des zones où l'upwelling est le plus intense

Des variations d'intensité de l'upwelling ces dernières années

➢ Une augmentation globale des micro-contaminants observée ces dernières années

Espèces échantillonnées



Les espèces sur lesquelles le choix s'est porté pour la réalisation de l'étude sont la sardine européenne, et le Merlu. Ces espèces devaient répondre à trois critères principaux : se situer à différents niveaux du réseau trophique avec des habitudes alimentaires différentes, se répartir sur la totalité de la côte Atlantique marocaine et enfin, être accessibles à travers les débarquements de la pêche côtière.

La sardine (*Sardina pilchardus*), espèce planctonophage à régime mixte (Phytoplancton), est l'espèce pélagique dominante en termes de biomasse en Atlantique marocain ainsi que dans les débarquements de la pêche (TL=179 18mm).

Le pageot acaré (*Pageolus acaré*) est une espèce omnivore qui se nourrit principalement de crustacés et mollusques. Cette espèce est présente sur la totalité de la côte marocaine où elle est surtout exploitée malgré sa faible valeur commerciale. Deux tailles ont été échantillonnées: petits et grands (TL=192 18,25 30mm).

Le merlu (*Merluccius merluccius*), espèce prédatrice majoritairement piscivore, est une espèce de forte importance commerciale au Maroc. Les abondances de cette espèce diminuent graduellement quand on se rapproche de sa limite de distribution située dans la zone saharienne du Maroc au profit du merlu noir (*M. senegalensis* et *M. polli*). Trois tailles ont été échantillonnées: petits, moyens, grands (TL=276 32, 412 68, 476 43mm).

Résultats

On observe :

1- Les concentrations en éléments chimiques peuvent être très différentes d'une espèce à l'autre, tel le lithium enrichi chez les sardines ou le Rubidium et Manganèse enrichi chez les merlus. Les concentrations en strontium sont très faibles chez les sardines et par contre très enrichies chez les pageots grands.

2- Les concentrations sont sensiblement différentes entre le Nord et le Sud d'Agadir pour la plupart des éléments chimiques.

3- Les concentrations des éléments typiquement traceurs d'upwelling tel le Baryum ou l'Uranium, sont plus élevées dans les échantillons des zones situées au sud d'Agadir.

4- Le Cadmium est présent à très faible teneur dans les échantillons de sardine uniquement et au Sud. On peut envisager un lien entre ces concentrations en Cd, les apports profonds de l'upwelling et le niveau trophique de l'espèce (filoteur).

5- Les Terres rares sont présentes dans les échantillons du Sud pour toutes les espèces liées aux apports éoliens du Sahara et peuvent être considérées comme traceurs chimiques de cette région.

6- La comparaison pageots petits/grands indique qu'il y a très peu de variations de concentrations hormis l'augmentation de Si chez les plus grands. On retrouve l'enrichissement sur les échantillons du Sud notamment en Scandium et en Uranium dus aux apports éoliens.

Conclusion

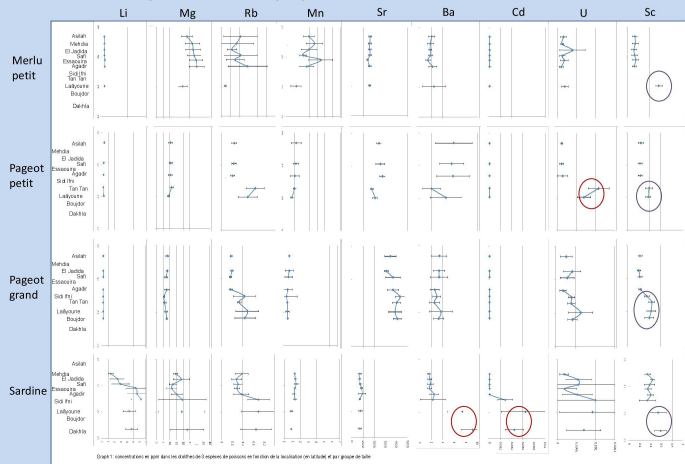
Les signatures chimiques des otolithes (obtenues sur les petits poissons) caractérisent bien les différentes zones le long de la côte marocaine atlantique.

Elles permettront dans une seconde phase de retracer et de comprendre les migrations longitudinales entreprises par ces poissons, à partir des otolithes des grands individus.

Les apports en Cd sont marqués uniquement pour les Sardines dans la région de Layoune et Dakhla et semblent liés à la présence de l'upwelling permanent. Ces résultats seront comparés aux études menées actuellement sur la concentrations des métaux lourds dans les tissus mous prélevés sur les mêmes échantillons de poissons.

Un lien avec le niveau trophique de l'espèce peut être envisagé et les études sur les concentrations d'ETM dans les échantillons de plancton récoltés dans le cadre du projet Epure permettront de préciser ce point.

Variations spatiales/niveau trophique



Signature upwelling

Les otolithes de sardines confirment les premiers résultats

Poster INRH/LEMAR

Les signatures chimiques des otolithes de sardines confirment bien les premières différences observées le long de la côte marocaine atlantique.

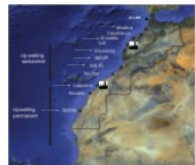
Les concentrations sont plus élevées dans les échantillons provenant de la partie Sud du Maroc et certains éléments chimiques comme le Baryum et l'Uranium sont des traceurs des upwellings ou de la contamination par des usines de phosphogypses.



Identification de 3 signatures chimiques des otolithes de sardines (*Sardina pilchardus*) le long de la côte marocaine atlantique

Labonne, M.¹, Masski, H.², Tai, L.², Loe, R.^{1,2}, Talba, S.², Bassoullet, C.³, Tio de Mosis, L.¹

¹ UMR 8539 IRD/CHRSUBO LEMAR, UEM, Place copernic, 26020 Plozévet, FRANCE
² INRH, Bd Sidi Abdelhamid An Diah, Casablanca, MOROCCO
³ UMR 5173 PIS, UEM, Place copernic, 26020 Plozévet, FRANCE



Contexte et sujet d'étude

La sardine (*Sardina pilchardus*) est largement présente, de la mer Méditerranée à l'océan Atlantique, le long de la côte marocaine atlantique. Elle est une espèce très importante pour la pêche artisanale et commerciale. Elle est également une espèce très importante pour l'aquaculture. Elle est une espèce très importante pour la pêche artisanale et commerciale. Elle est une espèce très importante pour l'aquaculture.



Echantillonnage et méthodologie

Les poissons (*Sardina pilchardus*), ont été échantillonnés sur des marchés en juin 2012 pour la partie nord du Maroc. Ils ont été échantillonnés sur des marchés en juin 2012 pour la partie nord du Maroc. Ils ont été échantillonnés sur des marchés en juin 2012 pour la partie nord du Maroc.

Concentrations dans les otolithes

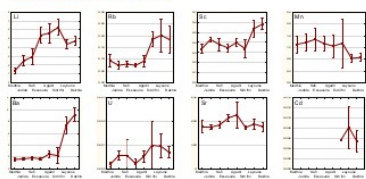


Fig. 2 Concentrations chimiques dans les otolithes

Analyses discriminantes

Les analyses discriminantes ont été réalisées pour identifier les groupes de poissons provenant de différentes zones de la côte marocaine atlantique. Elles ont été réalisées pour identifier les groupes de poissons provenant de différentes zones de la côte marocaine atlantique.

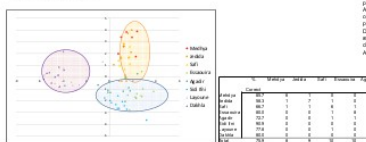


Fig. 4 Analyse discriminante et tableau de classement

Pour aller plus loin, nous avons utilisé les concentrations de sardines collectées lors d'une campagne de pêche en 2012 (données de Tai et al., 2012) pour identifier les groupes de poissons provenant de différentes zones de la côte marocaine atlantique.

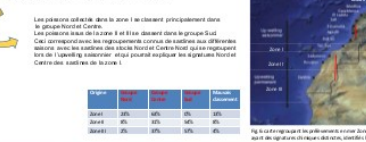


Fig. 5 Localisation des points de prélèvement le long de la côte marocaine atlantique

Analyses multi-élémentaires à la drille

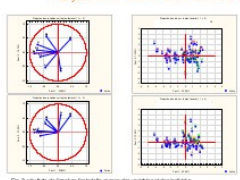


Fig. 3 Résultats de l'analyse multi-élémentaire à la drille

Comparaison aux données existantes

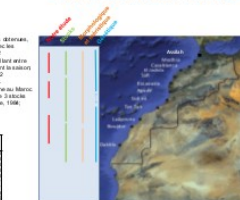


Fig. 6 Cartographie des données existantes sur les sardines

Conclusions

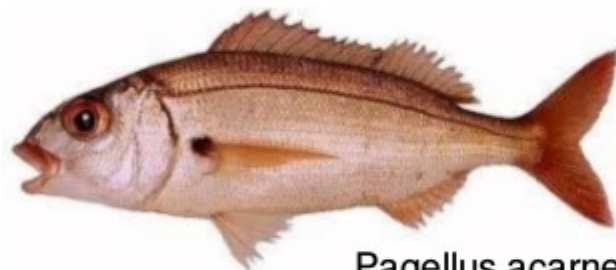
Les concentrations, qui sont élevées dans les échantillons provenant de la partie Sud du Maroc, confirment les premières différences observées le long de la côte marocaine atlantique. Elles confirment les premières différences observées le long de la côte marocaine atlantique.

Protocole d'échantillonnage

396 foies et muscles



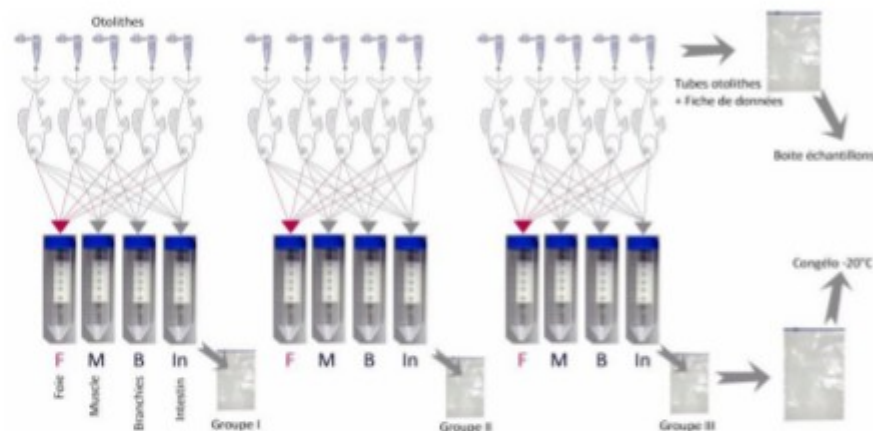
Sardina pilchardus



Pagellus acarne



Merluccius merluccius



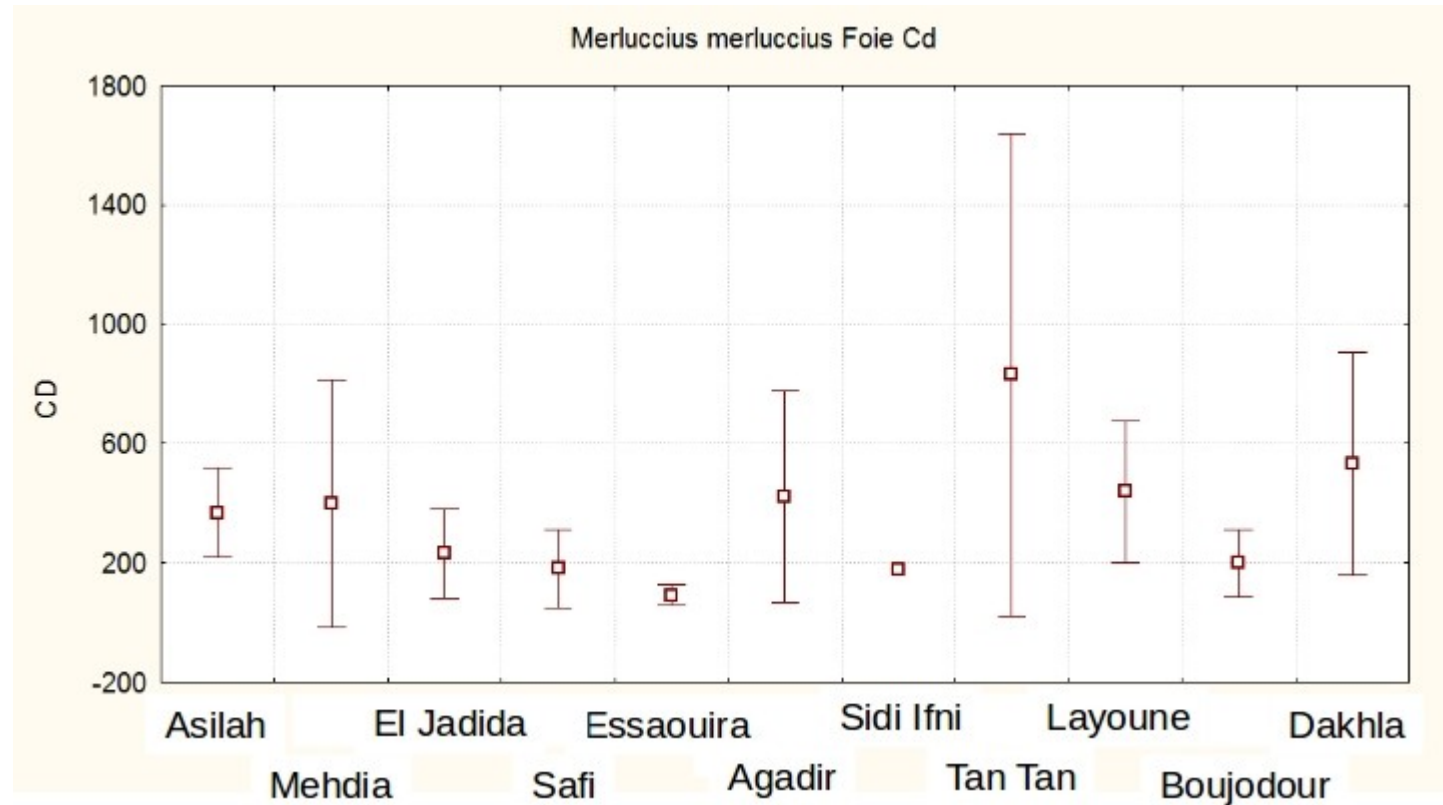
Lyophilisation

Minéralisation

Dosage à l'ICP

Li, Mg, Cr, Mn, Fe, Co, Ni,
Cu, Zn, As, Sr, Cd, Pb, U

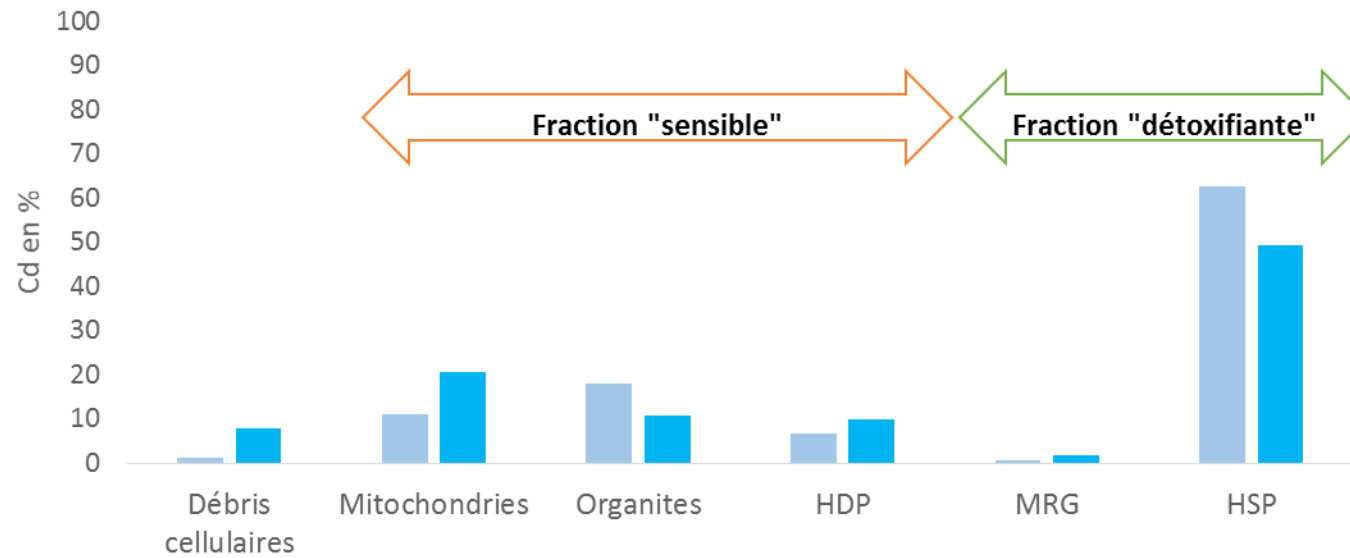
Contaminations observées chez *M. merluccius*



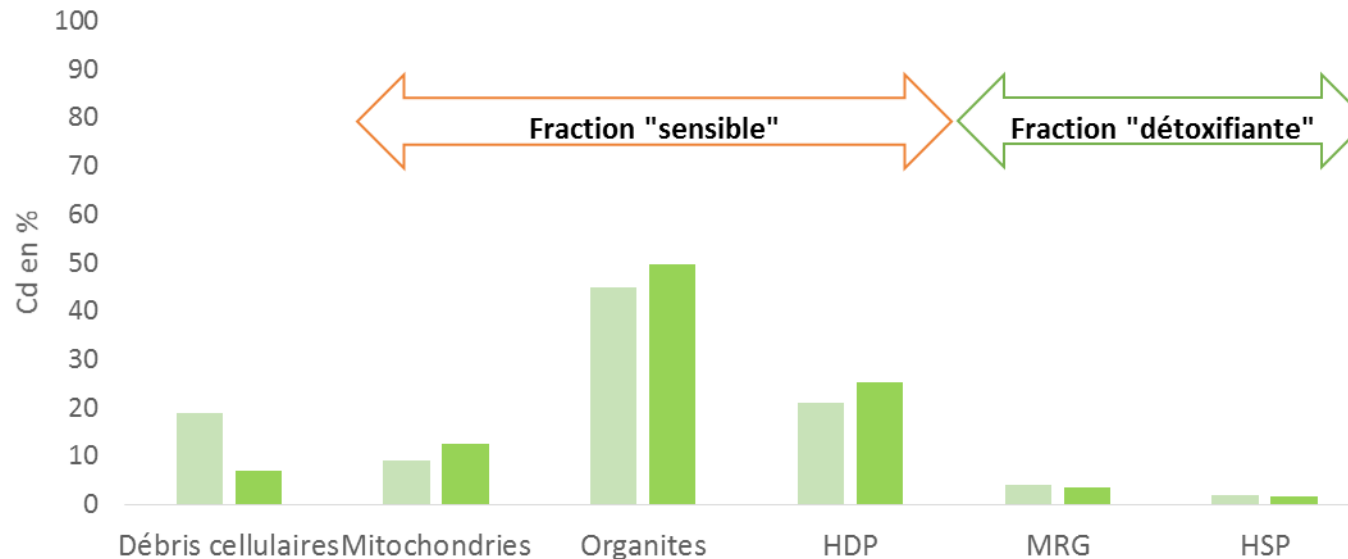
En général, comme dans l'exemple du Merlu, les contaminations au Cadmium les plus élevées ont été rencontrées entre Agadir et la zone de Layoune (mine de Boucrâa).

Ceci semble confirmé par les résultats obtenus sur les autres espèces et en particulier sur les >5000 échantillons récoltés au cours des campagnes en sur l'ANTEA (traitement en cours)...

Bar



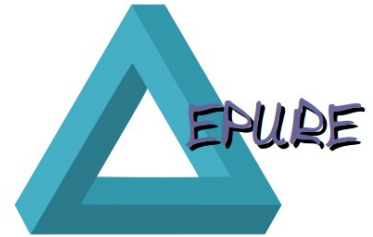
Sole



Répartition du Cd (en %) dans fractions subcellulaires hépatiques chez le bar (en haut, en bleu) et la sole sénégalaise (en bas, en vert). Les couleurs claires correspondent aux témoins, les couleurs vives aux contaminés à la fin de la période d'accumulation (T60).

Il y a des différences marquées entre espèces (Thèse de G. Le Croizier et master de V. Penicaud)

Merci de votre attention !



<http://anr-epure.net>

AGENCES NATIONALES DE LA RECHERCHE
ANR

