



## **Contribution à l'évaluation de la pollution des eaux marines sur la côte Ouest d'Alger en utilisant l'imagerie satellitale**

**Fouzia HOUMA<sup>1</sup>, Nour El Islam BACHARI<sup>2</sup>, Samir BACHOUCHE<sup>1</sup>,  
Abderrahmane KASSAR<sup>1</sup>, Rabah BELKESSA<sup>1</sup>**

1. Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.  
Campus Universitaire de Dely Ibrahim Bois des Cars, 16320 Alger, Algérie.  
*bacharifouzia.ocean@gmail.com ; bachouche.samir@gmail.com ;  
abderrahmanek@gmail.com ; belkessarabah@yahoo.fr*
2. Université des Sciences et de Technologie Houari Boumediene. Faculté des Sciences  
Biologiques U.S.T.H.B, BP 32 EL ALIA 16111 Beb Ezzouar, Alger  
*bachari10@yahoo.fr*

### **Résumé :**

La mer méditerranéenne est soumise à un problème grave de pollution dû à l'accroissement des apports anthropogéniques côtiers de ses pays riverains en voie d'industrialisation. La civilisation moderne et l'activité de l'homme sont indéniablement les causes principales de la contamination de l'hydrosphère.

La région algéroise est l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible. Le littoral algérien est pratiquement touché par diverses pollutions, on constate une densité urbaine importante sur la côte qui déverse ses rejets dans les eaux marines et des usines qui rejettent leurs déchets industriels et contribuent à polluer le milieu sous l'effet des substances toxiques et corrosives.

L'objectif de ce travail, est l'évaluation spatio-temporelle de la pollution marine dans les baies Ouest d'Alger par l'utilisation des images satellitaires. Cette méthodologie permet de quantifier les matières en suspension, la turbidité et la concentration de la chlorophylle de l'eau de mer en surface et dans les profondeurs des baies étudiées.

Une surveillance directe accrue de la qualité de l'eau, couplée avec la réflectance de la mer calculée à partir des capteurs satellitaires, peut améliorer grandement notre connaissance de l'état des eaux côtières.

### **Mots-clés :**

Pollution marine – Réflectance – Image Satellite – Modélisation – Cartographie polluants

### **1. Introduction**

L'élaboration de modèles d'inversion des données satellitaires pour la cartographie des paramètres physiques du milieu naturel a permis d'entrevoir de nouvelles possibilités d'analyse. Les multiples combinaisons possibles entre les propriétés optiques de l'eau et les particules permettent d'estimer les concentrations des diverses composantes de

l'eau. L'exploration des propriétés optiques des eaux et la recherche d'algorithmes permettent alors d'inverser le spectre de réflectance de ces eaux et d'identifier la nature de la pollution. (ABDELLAOUI *et al.*, 1986 ; FROIDEFOND *et al.*, 2002).

L'utilisation des images satellites de Landsat a permis une cartographie relative de la turbidité, sans pouvoir y distinguer les apports des sédiments en suspension et de la chlorophylle (JAQUET & WEBER, 2002) et la température de surface de l'eau de mer (FAOUR *et al.*, 2004), validé par la Bande Infrarouge Thermique du Capteur TM de Landsat-7 utilisée aussi pour la détection de la pollution de l'eau de mer.

Enfin, des relations sont établies avec les réflectances de l'eau de mer. L'inversion de ces relations permet d'obtenir des images transformées à partir du logiciel de traitement d'image afin d'estimer pour chaque pixel le degré de pollution du milieu. Nous présentons dans ce travail :

- a) Les mesures physico- chimiques des stations de différentes qualités d'eaux.
- b) Les résultats des réflectances obtenus à partir des données numériques, Spot, Seawifs, et Landsat TM et MSS (MOREL & BELANGER, 2006 ; HOUMA, 2009).
- c) La modélisation entre les indicateurs de pollution et les réflectances dans chaque bande spectrale du satellite (HOUMA, 2007 ; HOUMA & BACHARI., 2008).
- d) Les images satellites traitées et transformées en images indicatrices de la pollution marine.

## **2. Matériels et méthodes**

### 2.1 Zone d'étude

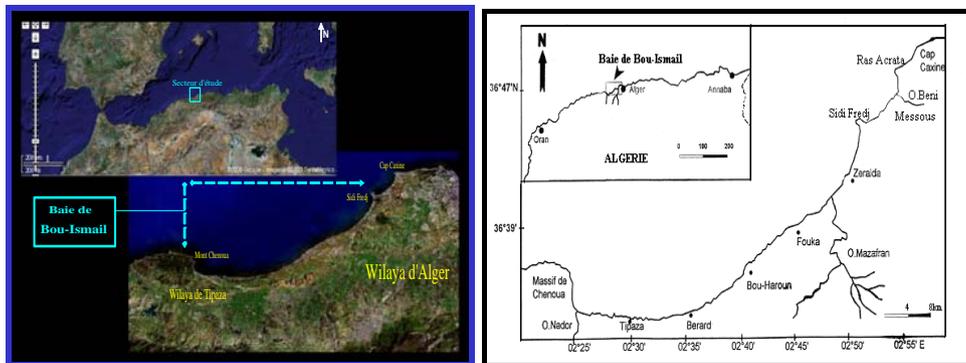
Notre site d'étude correspond à la baie de Bousmail (ex : Golfe de Castiglione), qui est limité à l'est par le promontoire de Ras-Acrata et à l'ouest par le cap du Mont Chenoua. (Voir figure1). Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d'El Djamila, couvrant une superficie de 350 km<sup>2</sup> avec une ouverture de 40 km orientée du Sud-Ouest au Nord- Est , soit 2°54' Est et 36°48' Nord à 2°24' Est et 36°38' Nord.

La région de Bousmail est une zone à vocation touristique et agricole ; sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable. Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels; à cela s'ajoute la pollution due l'activité de la pêche (HOUMA, 2009).

### 2.2 Prélèvement d'eau et analyse des paramètres

Le prélèvement d'eau de mer a concerné 15 stations, s'est effectué à l'aide de bouteilles de prélèvements à clapets du type *Vandorm* de capacité à immersions 0 m, 5 m, 10 m, 20 m ou 25 m immergées aux différentes profondeurs Ces échantillons sont destinés à

l'analyse des paramètres physico-chimiques et des paramètres indicateurs de la pollution (RODIER, 2005).



*Figure 1. Situation géographique de la baie de Bousmail.*

### 2.3 Méthodologie

Pour notre étude, nous avons utilisé le logiciel de traitement d'images satellites PCSATWIN développé par BACHARI et al. (1997) et qui permet de réaliser une analyse multispectrale. Lors de la prise des images et des échantillons cités, nous avons noté les données des conditions atmosphériques enregistrées au niveau de la *Station de l'Office National de Météorologie*. Les conditions météorologiques sont presque stables (mer non agitée) durant toutes les campagnes et présentent une température d'air de l'ordre de 20°C, une vitesse de vent inférieure à 4 m/s et un taux d'humidité de 75%. Nous avons utilisé ces informations comme étant des données d'entrée pour le calcul de la réflectance.

*Calage et échantillonnage.* L'image satellite est calée dans l'outil de cartographie. Au moment de l'échantillonnage, des photos sont prises pour les régions étudiées. En utilisant le même logiciel, chaque point d'échantillonnage lui a été affecté ses coordonnées images.

Pour minimiser les erreurs, nous avons pris la moyenne radiométrique du pixel et de ses proches voisins tel que :

$$CN(i, j) = \frac{1}{5} [CN(i, j) + CN(i-1, j) + CN(i+1, j) + CN(i, j-1) + CN(i, j+1)]$$

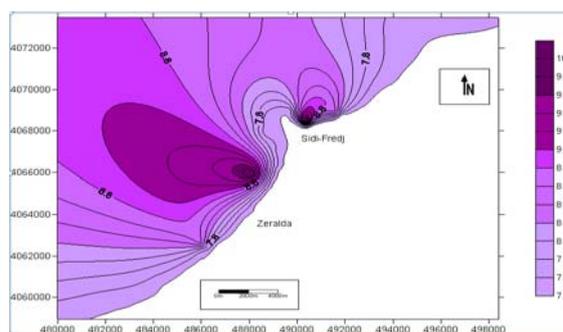
Où  $i$  et  $j$  sont les coordonnées image du pixel et  $CN$  le compte numérique du pixel

Nous avons donc calé les photos des lieux par rapport à l'image satellite et nous avons positionné les points d'échantillonnage sur l'image satellite. En ces lieux, nous avons calculé les réflectances de chaque pixel à partir du modèle développé.

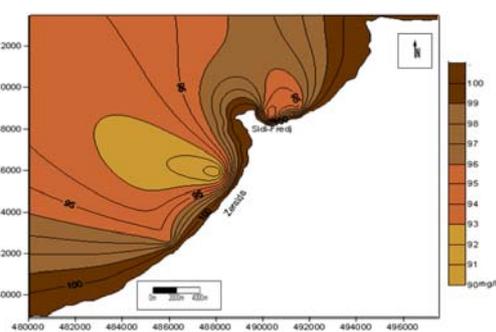
### **3. Résultats et discussion**

#### 3.1 Variation des paramètres physico chimiques et indicateurs de pollution

Les teneurs en oxygène dissous de la baie de Bou-Ismaïl varient entre 7.46 et 10.4 mg/l avec une moyenne de 8.61 mg/l et écart type de 0.97. Ces concentrations indiquent une consommation d'oxygène dans le processus de reminéralisation de la matière organique. L'agitation des eaux, et la diminution de la température augmentent l'oxygène dissous. Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et limitent alors le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent être aussi responsables de l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies (RODIER, 2005). L'évolution remarquable de la teneur d'oxygène dissous avec la turbidité provoque l'eutrophisation des milieux et peut aller jusqu'à l'élimination de certaines espèces et la limitation de la vie aquatique en ces zones excessivement polluées (BACHARI & HOUMA, 2005 ; HOUMA *et al.*, 2010).



*Fig. 2. Distribution spatiale de l'oxygène dissous en surface de la baie Bousmail.*



*Figure 3. Spatialisation de la matière en suspension en surface de l'eau.*

#### 3.2 Analyse des réflectances

La réflectance au niveau des points pollués est relativement forte par rapport à celle des points de moindre pollution, ceci explique parfaitement que la mesure satellite des zones chargées est plus importante que celle des zones moins chargées.

Ces résultats prouvent l'existence d'un lien entre la réflectance, la qualité et la charge de l'eau. Cependant, la mesure multispectrale est aussi importante pour les points proches des rejets caractérisés par une forte hétérogénéité radiométrique expliquée par l'existence de déchets industriels et urbains (HOUMA *et al.*, 2004 ; BELKESSA *et al.*, 2008).

#### 3.3 Modélisation des paramètres

L'inversion des meilleures corrélations trouvées dans la modélisation des paramètres satellitaires et les paramètres indicateurs de la pollution dans les eaux de la baie d'Alger,

permet d'exprimer le paramètre choisi en fonction de la réflectance de l'eau de mer dans le canal satellite considéré. L'inversion des relations linéaires concerne un seul canal, les équations obtenues sont utilisées pour convertir les scènes d'images de la zone d'étude en une image montrant la distribution spatiale du paramètre indicateur de la pollution en baie d'Alger (BACHARI *et al.*, 1997 ; BRICAUD, 1988).

#### 4. Conclusions

Ce travail nous a montré la possibilité d'estimer certains paramètres physico-chimiques et des paramètres indicateurs de la pollution à partir des images satellitaires qui peuvent être un moyen de suivi de la pollution des zones côtières ; l'image révèle en effet une vision globale et instantanée de l'état du milieu et permet de situer l'échantillon dans son milieu. L'analyse corrélative a rendu réalisable la détermination des paramètres indicateurs de la pollution à partir des satellites.

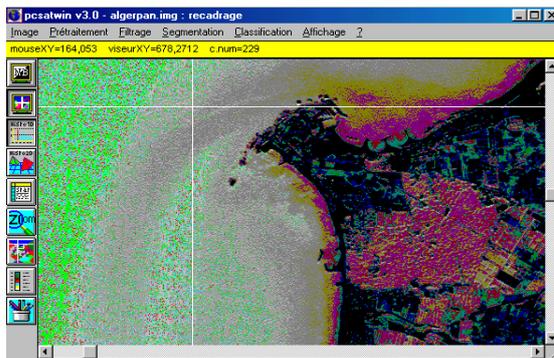


Figure 4. Image SPOT Panchromatique transformée image matière en suspension. Zone Est de la baie de Bousmail.  $MES = -3.1 + 355.9 * Ref(Spot1)$ .

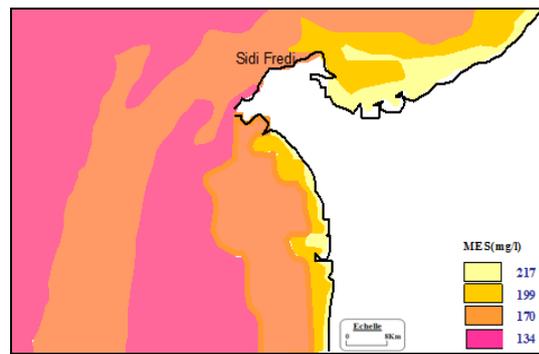


Figure 5. Cartographie des Matériaux en suspension (SPOT1/SPOT2).

#### 5. Références bibliographiques

- ABDELLAOUI A., BECKER F., OLORY-HECHINGER E. (1986). *Use of METEOSAT for mapping thermal inertia and evapotranspiration over a limited region of Mali*. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 25, n° 11, nov. 1986; pp 1489-1506. doi:10.1175/1520-0450(1986)025<1489:UOMFMT>2.0.CO;2
- BACHARI N.E.I., HOUMA F. (2005). *Combinaison de données sols et données extraites des images satellites pour l'enquête de la baie d'Alger*. MS'05 6-8 juillet, Rouen, France.
- BACHARI N., BENABADJI N., ABDELLAOUI A. (1997). *Développement du logiciel d'analyse spectrale et temporelle des images satellite type Spot, Landsat et Météosat*. AMSE J., Vol. 38, n° 1 et 2, pp 15-34.

- BRICAUD A. (1988). *Modèles de réflectance diffuse de l'océan; Applications à la détermination satellitaire des concentrations des substances présentes dans l'océan de la mer*. Remote sensing from space physical aspects and modeling, Toulouse 88, pp 605-623.
- FAOUR G., SHABAN A., JAQUET J. (2004). *Apport de la bande infrarouge thermique du capteur Etm+ De Landsat-7 dans la détection de la pollution de l'eau de mer sur le littoral libanais*. Télédétection, vol. 4, n° 2, pp 197-209.
- FROIDEFOND J.M., GARDEL L., GUIRAL D., PARRA M., TERNON J.F. (2002). *Spectral Remote Sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence*. Remote Sensing of Environment, Vol. 80, pp 225-232. doi:10.1016/S0034-4257(01)00301-7
- HOUMA F. (2007). *Caractérisation des polluants de la côte oranaise et algéroise par analyse physico-chimique et corrélation avec les données satellites*. Thèse de doctorat d'état, USTHB Alger, Océanographie biologique et environnement marin, 225 p.
- HOUMA F. (2009). *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire*. Thèse de doctorat de l'Université du Val de Marne Paris XII, Sciences de l'Univers et Environnement, 235 p.
- HOUMA F., BACHARI N.E.I. (2008). *Utilisation des techniques satellitaires pour l'identification des fronts thermiques. Application à la baie d'Alger et la baie d'El Djamilia*. International Conference on Monitoring & Modeling of Marine pollution (INCOMP 2008), KISH 1-3 /12.
- HOUMA F., BELKESSA R., KHOUIDER A., BACHARI N.E.I, DERRICHE Z. (2004). *Etude Corrélatrice des Paramètres Physico- Chimiques et des Données Satellites IRSIC pour Caractériser la pollution aquatique*. Application à la baie d'Oran, Algérie. Revue Sciences de l'eau, volume 17/4, pp 429- 446.
- HOUMA F., ABDELLAOUI A., BACHARI N.E.I., BELKESSA R., (2010). *Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymetric analysis of coastal sea bottom. Application to Algiers bay, Algeria*. Journal Physical Chemical News, Vol. 53, pp 57-61.
- JAQUET J.M., WEBER B. (2002). *Suivi multi-temporel de la concentration de la chlorophylle en Méditerranée Orientale à l'aide de SeaWiFS et de Landstat TM*. Rapport de stage au GRID; Université de Genève; 86 p.
- MOREL A., BE'LANGER S. (2006). *Improved detection of turbid waters from ocean color sensors information*. Remote Sensing of Environment 102, pp 237-249. doi:10.1016/j.rse.2006.01.022
- RODIER J. (2005). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*. Edition DUNOD, 8<sup>ème</sup> édition, Paris, 1384 p.