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

GHALEB FAOUR a,1, AMIN SHABAN a et JEAN-MICHEL JAQUET b,2

- ^a Conseil National Libanais de la Recherche Scientifique, Centre National de Télédétection, B.P. 11-8281, Beyrouth, Liban Téléphone : +961 4 409845/6 ; télécopieur : +961 4 409847 ;
- ^b Unité d'Observation de la Terre, DEWA-Europe/GRID-Genève
 11, Chemin des Anémones, CH-1219 Genève, Suisse
 Téléphone : (41 22) 917-8294/95 ; télécopieur : (41 22) 917-8029 ;

couriel^(1,2): gfaour@cnrs.edu.lb; jean-michel@grid.unep.ch

(soumis : 23 juin 2004 ; révisé : 5 juillet 2004 ; accepté 4 août 2004)

L'environnement marin au Liban a été récemment affecté par la pollution d'origine côtière. Ce problème concerne les régions où l'activité urbaine est dense. Cette pollution menace l'écosystème marin et affecte, par contrecoup, les populations humaines. Tout au long du littoral, s'étendant sur 225 km, 75 cours d'eau permanents ou temporaires déchargent des eaux usées et polluées dans la mer, à quoi s'ajoutent de nombreux rejets d'égouts. Ces apports polluants sont répartis en quatre classes principales : 1) eaux usées ; 2) sédiments et débris ; 3) effluents thermiques ; 4) liquides oléochimiques. L'étendue régionale réelle de ces pollutions n'est pas encore bien identifiée et nécessite donc une surveillance attentive et continue des eaux continentales. Les bandes thermiques des images satellitaires ETM+ de Landsat-7 peuvent être utilisées avec succès à cette fin. Le principe de cette identification est basé sur une discrimination thermique entre les températures de l'eau de mer et de l'eau polluée. Avec cette cartographie thermique, on a identifié 49 sources principales de pollution de l'environnement marin libanais, dont la nature a été vérifiée sur le terrain. La plupart sont liées à des activités humaines incontrôlées comme les déversoirs d'égouts, les raffineries et les usines. Ces résultats devraient fournir aux décideurs une base pour déterminer les mesures convenables à leur réduction.

Mots-clefs : pollution ; anomalies thermiques ; zone côtière ; images satellitaires ; ETM+ de Landsat ; océanographie.

CONTRIBUTION OF THE THERMAL INFRARED BAND OF LANDSAT-7 ETM⁺IN THE DETECTION OF SEAWATER POLLUTION ALONG THE LEBANESE SHORELINE

The marine environment in Lebanon has been recently affected by land-derived pollution. This problem mostly concerns areas with dense urban activities. While threatening the marine ecosystem, it also affects, as a consequence, the human populations. Along the 225 km shoreline, 75 permanent or temporary watercourses discharge polluted and wastewater into the sea, with also numerous sewage outlets and oil spills. These pollution inputs are categorized under four major classes : 1) wastewater inflows ; 2) river-transported sediments and debris ; 3) thermal inflows ; 4) chemical and oily fluids. The true areal extent of these pollutions is not well identified yet, which requests a comprehensive and continuous observation of the coastal waters. The thermal bands of satellite images of Landsat-7 ETM⁺ can be successfully utilized for this purpose. The principle of this identification relies upon thermal discrimination between seawater and polluted water temperatures. This thermal mapping has identified 49 major sources of pollution in the Lebanese marine environment, the nature of which has been checked in the field. Most of them are related to uncontrolled human activities, such as sewage outfall, refineries and factories. These results should provide decision-makers with a sound base for implementing the necessary mitigation policies.

Keywords : pollution ; thermal anomalies ; coastal zone ; satellite images ; Landsat ETM+ ; oceanography.

1. INTRODUCTION

La pollution de l'eau de mer est un grave problème géo-environnemental qui touche aussi l'environnement côtier de l'est de la Méditerranée (PNUE/MEDPOL, 2000). Elle affecte les régions à grande densité démographique, laquelle suscite souvent une forte activité industrielle. La côte libanaise est typique des régions où la pollution côtière menace l'écosystème maritime.

Au Liban, rares sont les années où une grave maladie liée à un aspect de la pollution marine, ne touche pas le pays (Kouyoumijian et al., 2001). En effet, tout au long des 225 km de la côte, on trouve un grand nombre de cours d'eau distants l'un l'autre de moins de 3 km. Se jetant dans la mer, certains d'entre eux deviennent un véhicule de transport des polluants des résidus industriels ainsi qu'un déversoir pour les eaux usées. Outre ces cours d'eau, il existe un grand nombre de déversoirs d'égouts se déversant directement dans la mer et des dizaines de déversements de produits pétroliers. Les quatre principales sources de pollution, à savoir les eaux usées, les sédiments et débris transportés, les effluents thermiques ainsi que les liquides chimiques et pétroliers, sont en croissance continue (Shaban and Khawlie, 1998). Bien que la majorité des polluants soient faciles à repérer à leur lieu d'épanchement dans la mer, leur configuration et leur hydrodynamique ne sont pas identifiées. L'identification des déversoirs de la population tout au long du littoral aide à définir leurs sources sur terre et, par le suite, les décideurs peuvent élaborer des mesures adéquates pour réduire de tels problèmes environnementaux.

Au Liban, toutes les études précédentes sur la pollution de l'eau de mer ont suivi des méthodes d'analyses conventionnelles. Les études se sont concentrées uniquement sur les sites locaux pour traiter du contenu, de la chimie et de la pollution microbienne (Harakeh, 1978; Kayal, 1981; Yezbek, 1990; Kouyoumijian and Nuwayhed, 1995; Chatila, 2000) alors que les nouvelles technologies, telle la télédétection, n'ont pas été encore appliquées, à l'exception de quelques rares cas (NCRS, 1999; Faour et Shaban, 2002; Kabbara *et al.*, 2002).

La télédétection thermique apparaît comme une source d'information potentiellement importante pour la détection de la pollution marine. Le principe de la détection thermique dépend de la discrimination des différentes températures de l'eau de mer. En d'autres termes, l'eau polluée venant de la terre a, la plupart du temps, une température différente de celle de l'eau marine. Il est connu que l'analyse des radiations thermiques émises par l'eau pourrait apporter des informations utiles sur la présence d'eaux polluées (Khazenie and Richardson, 1993; Geraci et al., 1997). Plusieurs capteurs satellitaires, tels AVHRR de NOAA, MERIS d'ENVISAT, TIR d'ASTER et TM de Landsat, sont actuellement disponibles pour la surveillance de la pollution avec des capacités diverses en termes de résolution spatiale, de sensibilité, de bandes spectrales et de fréquence de passage.

Le satellite Landsat-7, lancé en 1999, est équipé d'un nouveau capteur, ETM+, qui est muni d'une version améliorée de la bande infrarouge thermique, laquelle est caractérisée par une résolution spatiale de 60 m, la meilleure actuellement, et qui fonctionne en deux modes, soir haute et basse résolutions radio métriques.

L'objectif de cette étude est de tester la capacité du nouveau capteur thermique amélioré ETM+ de Landsat-7 guidée par une base de données cartographiques dans la détection de la pollution marine du littoral libanais. Un modèle de calibrage sera appliqué pour déterminer la température de la surface de la mer à partir de sa bande thermique. La transformation de la bande thermique en carte de température de surface est nécessaire afin de mesurer la différence en température entre les anomalies thermiques et l'eau de mer. En effet, cette différence permet d'aider dans l'analyse et l'interprétation des données. De plus, une base de données géographiques sur les différentes sources de pollution est montée.

2. DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE

La région étudiée se situe entre les latitudes 33° N et 35° N et les longitudes 35° E et 36° 30' E (figure 1). L'altitude de la côte s'élève rapidement, surtout dans le centre (plus de 1 000 m d'altitude à moins de 8 km du rivage derrière Jounieh). De ce fait, la plaine côtière est très étroite, sauf au nord dans Akkar et au sud autour de Tyr, voire absente (massif Ras ech-Chaqaa).

Le trait de côte, orienté du sud-ouest vers le nordest, est très peu échancré. Il présente toutefois un tracé marqué par une succession de promontoires rocheux, dont le plus important est celui de Beyrouth.

Le rivage est soumis localement à une érosion importante. Il subit de plein fouet les tempêtes hivernales, à cause de la situation du Liban à l'est de la Méditerranée. Ce risque a été aggravé par l'extraction du sable des plages et, sans doute, par la réduction de la recharge en sédiments de la côte depuis l'installation des grands barrages sur le Nil. En effet, le courant principal qui se dirige d'ouest en est, depuis le détroit de Gibraltar en passant par les côtes nord-africaines, atteint la région du delta du Nil pour s'infléchir vers le NNE. De là, le courant épouse les côtes levantines en se dirigeant vers le littoral libano-syrien. Ce courant principal prend une vitesse considérable en contournant le cap Ras Beyrouth à cause de la configuration des côtes et des vents très forts soufflant vers le NE. Les remblais, récents ou en cours, du littoral nord de Beyrouth sont un autre facteur de modification de l'hydrodynamique littorale.

Les activités humaines et, par conséquent, les effets environnementaux sur la région sont bien observables. Une série d'industries, de raffineries et de centrales électriques se concentrent sur le littoral, en plus d'une concentration démographique dense (60 % de la population). Plus haut sur les pentes le long de la côte, l'agriculture est dominante ainsi que l'extraction dans quelques carrières.



FIGURE 1 Localisation de la région d'étude. Localization of the study area.

3. MÉTHODOLOGIE

La télédétection infrarouge thermique consiste à mesurer l'énergie radiative émise par la surface terrestre, ce qui permet de déduire la température de surface. Par conséquent, en détectant le rayonnement émis, il est possible de cartographier de petites variations de température à la surface de la mer et d'identifier les anomalies thermiques (Jensen, 2000). La plupart des travaux menés ces dernières années ont permis d'obtenir des cartes de la température de surface de la mer d'une résolution spatiale de 1 km avec les données du capteur AVHRR de NOAA. L'utilisation de telles données présente l'avantage de proposer un suivi temporel quasi journalier. Cependant, la résolution spatiale considérée est confrontée à un problème d'hétérogénéité à l'intérieur des pixels, ce qui est un facteur limitant pour la détection et l'identification de la pollution côtière. Le capteur TM du satellite Landsat-5 possède également une bande spectrale thermique dont la résolution spatiale est de 120 m. Les images obtenues à cette résolution sont utilisées pour les études plus détaillées en milieu côtier (Thomas et al., 2002).

La bande 6 du capteur ETM+ est conçue pour détecter la température de la surface terrestre. Cette bande thermique est sensible à la radiation émise dans l'intervalle des longueurs d'ondes de 10,4-12,5 µm où l'effet de l'atmosphère est minimal (Bartolucci et al., 1988). L'amélioration de la résolution spatiale à 60 m, ainsi que l'amélioration de la sensibilité radiométrique sont susceptibles de favoriser l'utilisation de ce capteur. De plus, les paramètres de calibrage pour calculer la radiance sont périodiquement mis à jour et corrigés. D'autres capteurs satellitaires comme AVHRR de NOAA et ATSR de ERS permettent aussi d'obtenir des images thermiques, mais ETM⁺ est plus adéquat pour les applications thermiques à plus grande résolution, tel qu'il est requis dans notre étude.

La méthodologie suivie se résume en trois étapes :

- 1) traitement des images thermiques;
- 2) cartographie des sources de pollution ;

3) interprétation des anomalies thermiques.

3.1. Traitement des images thermiques

Dans cette section, sont présentées les étapes de traitement permettant d'obtenir les cartes de températures de surface de la mer, soit le prétraitement des images, les transformations intermédiaires en radiance et la conversion finale en températures.

3.1.2. Prétraitement des images thermiques

Plusieurs images du capteur ETM+, couvrant la zone côtière au Liban, ont été acquises les 21 mars 2003, 16 juin 2001, 26 octobre 1999 et 14 janvier 2000.

Une analyse préalable de ces images a été effectuée et a montré clairement que les images acquises en juin 2001 et en mars 2003 permettent de détecter seulement les pollutions thermiques provenant des deux usines électriques présentes sur la côte. Les images acquises en octobre 1999 et en janvier 2000, elles, ont été utilisées pour cartographier la température de surface de la mer. Les images ont été projetées dans le système libanais Lambert Conformal Conic (ellipsoïde: Clark 1880). Ce système a été choisi puisque la majorité des données spatiales disponibles au Liban sont disponibles dans cette projection. L'orthorectification a été appliquée en utilisant un modèle numérique d'altitude d'une précision verticale de 10 m. Les points de calage ont été prélevés des cartes topographiques à l'échelle du 1/20 000. La bande 4 dans le proche-infrarouge de ETM⁺ a été utilisée pour créer un masque séparant la terre de la mer.

3.1.2. Modèle de calibrage des températures

Le capteur ETM⁺ a un calibrage radiométrique absolu de 5 % (NASA, 2000 ; Barsi et al., 2003). Il permet l'acquisition des deux bandes dans l'infrarouge thermique, soit en haute (HRR) et basse résolutions (BRR) radiométriques. La différence entre ces deux modes correspond à une différence de précision ΔT , meilleure dans le mode haute résolution, et qui est proportionnelle à la différence entre deux comptes numériques (CN) successifs. Dans le mode haute résolution, l'intervalle des mesures est réduit (3,2-12,65 W.m⁻²), ce qui permet d'avoir une carte de température plus fine (un CN équivaut à 0,3 °C). L'intervalle des mesures en mode de basse résolution est plus large mais moins précis (0-17,04 W.m⁻²).

Un des problèmes concernant le mode haute résolution est que le capteur peut être plus facilement saturé. Dans le mode faible résolution, l'échelle est étendue pour permettre plus de contraste dans l'image (ex : neige) et sans le risque de saturation du capteur.

La neige et le verglas peuvent produire des valeurs négatives. Nos couples d'images ont été pris en automne et en hiver, périodes où la masse d'air sur la terre est très froide. Ceci peut aussi affecter les températures calculées (fausse valeur négative aux données s'approchant de 0). Nous avons vérifié les deux modes pour les deux couples d'images et avons trouvé que les capteurs n'étaient pas saturés. En outre, nous avons vérifié l'absence de brouillard en utilisant la combinaison des bandes 5-3-1 de ETM^+ .

La conversion des CN en 8 bits à des radiances et des températures « au capteur », passe par les étapes de conversion en radiances et de conversion en températures.

A) Conversion en radiances

Les pixels des images sont convertis en des unités de radiance absolue. L'équation suivante est utilisée :

Radiance = Gain * CN + compensation

Pour les calculs, nous avons utilisé l'expression équivalente :

$$Radiance = \left(\frac{LMax - LMin}{QCALMax - QCALMin}\right) \\ \times (QCAL - QCALMin) + LMin$$

Où :

QCALMin = 1 ; QCALMax = 255 ; QCAL = CN ; Lmin = 0 (BRR), 3,2 (HRR) ; Lmax = 17,04 (BRR), 12,65 (HRR) ;

où LMin et LMax sont les paramètres d'étalonnage radiométrique (NASA, 2000) aux CN 1 et 255 (*i.e.* QCALMin, QCALMax).

Un biais a été trouvé dans le calibrage de prélancement par l'équipe de chercheurs de Landsat-7. Le calibrage a été corrigé dans le système de traitement LPGS qui a commencé le 20 décembre 2000 (NASA, 2000). Pour les données traitées avant cette date, les radiances des images données par la transformation susmentionnée sont trop élevées, soit de 0,31 W.m⁻² sr-1 μ m⁻¹.

B) Conversion en températures

Les données de la bande 6 de ETM+ peuvent être ainsi converties de la radiance spectrale à une variable plus utilisable physiquement : il s'agit de la température effective du système terreatmosphère, avec l'hypothèse d'une émissivité unitaire, et en utilisant les constantes du calibrage pré-lancement (NASA, 2000). La formule de conversion est :

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

où :

 $T = température effective au capteur en Kelvin ; K_2 = 666,09 ;$

 $K_1 = 1 282,71;$

 L_{λ} = = radiance spectrale en W m⁻² sr⁻¹ µm⁻¹.

Deux algorithmes ont été écrits pour ERDAS Model Maker en vue d'appliquer la conversion des valeurs de CN à la température dans les deux modes d'acquisition de la bande infrarouge thermique, soit HRR et BRR.

3.2. Cartographie des sources de pollution

Des données géographiques diverses ont été collectées et traitées afin d'aider dans l'interprétation des anomalies thermiques extraites des images ETM+. En association avec Greenline et Greenpeace, nous avons ainsi effectué une campagne en bateau le long de la côte afin de saisir au moven d'un GPS les coordonnées des sources de pollution directes (égouts, décharges, centres balnéaires et industries). Ces données ont été classifiées et intégrées dans un SIG en projection Lambert Nous avons aussi converti les coordonnées des sources de l'eau douce en mer cartographiées durant une campagne aérienne effectuée le 17 septembre 1997 par notre Centre dans le cadre d'un projet exécuté en coopération avec le Ministère de l'eau au Liban.

De même, les cartes des cours d'eau, des usines et de l'utilisation du sol à l'échelle du 1/50 000 (CNRS, 2000) ont été utilisées dans la classification des différentes anomalies thermiques. Plusieurs données extraites des études précédentes (El-Souri, 1996) ont été intégrées au SIG afin de l'exploiter dans l'interprétation des résultats.

3.3. Notions de signature et anomalies thermiques

Pour être utilisables, les signatures thermiques (Bonn et Rochon, 1992) liées à la pollution doivent marquer un contraste clair par rapport à celles de l'ensemble de l'eau marine. On parlera ainsi d'anomalies thermiques positives lorsque la température de l'eau polluée est supérieure à celle de la mer (par exemple point A sur la figure 2) et d'anomalies négatives dans le cas contraire (point B sur la figure 2).

Ces anomalies peuvent être d'origine diverses : fronts thermiques liés à la dynamique marine, apports d'eau douce des cours d'eau et des sources sous-marines (NCRS, 1999) ou encore effluents pollués.

En ce qui concerne les anomalies thermiques liées à la pollution, elles existent toute l'année pour la signature des effluents liés aux centrales thermiques (point A sur la figure 2), alors qu'elles sont limitées à la période hivernale pour celles des cours d'eau et des égouts. Nous les avons classifiées selon quatre types (Faour and Shaban, 2002) précisés dans la section 3.4.

La vérification et l'échantillonnage des anomalies thermiques ainsi identifiées seront nécessaires

FAOUR et al.

pour confirmer leur existence et leur emplacement ainsi que pour discerner les différents aspects de la pollution. Ceci sera obtenu par une reconnaissance sur le terrain pour analyser leur composition chimique, et confirmer ainsi leur origine.



FIGURE 2 Série d'anomalies thermiques de l'eau de mer extraite de la bande thermique de ETM⁺ de Landsat-7. Thermal anomalies of seawater extracted from thermic band of Landsat-7 ETM⁺.

3.4. Typologie de la pollution

La pollution de l'eau de mer peut être identifiée à partir de la forme et de la différence de température des anomalies détectées sur les images satellitaires (figure 3), d'analyses de laboratoire et de la vérification de terrain. L'interprétation visuelle et l'analyse des différentes anomalies thermiques extraites de la carte des températures de surface nécessitent la reconnaissance des caractéristiques spatiales de chaque type de pollution. Une série de visites sur le terrain l'analyse desphotographies aériennes \mathbf{et} thermiques (NCRS, 1999) ont permis d'établir ses caractéristiques.

3.4.1. Eaux usées

À part le cas de Beyrouth, où il existe une station de traitement primaire, les eaux usées des agglomérations urbaines se déversent sans traitement dans la mer (PNUE/MEDPOL, 2000) : on en trouve de trois types :

- Déversements à travers des conduits construits spécialement dans ce but ; sur la figure 3 (point A), il y a bon exemple dans la région d'Ouzai-Sud de Beyrouth, où l'écoulement longitudinal est clair à partir des deux déversements parallèles le long des conduits;

 Rejet des égouts et eaux résiduelles des usines dans les cours d'eau, avec transport ultérieur des polluants vers la mer;

- Apports diffus résultant des fuites et des dépenditions provenant de l'habitat dispersé.

3.4.2. Sédiments et débris transportés des rivières

Au Liban, il existe 12 rivières à régime permanent se déversant dans la Méditerranée, ainsi que 35 wadis temporaires. Ces cours d'eau transportent des sédiments et des débris avec l'eau turbide et les matériaux transportés peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres en mer. Normalement, ce phénomène s'accentue durant les périodes de pluies torrentielles, ce qui explique pourquoi leur identification est restreinte à ces périodes. Sur la figure 3 (point B), on aperçoit une grande différence de température à cause de l'énergie élevée du flux le long de la rivière El-Awali.

TÉLÉDÉTECTION ET POLLUTION DE L'EAU



FIGURE 3 Aspects de la pollution le long du littoral libanais. A) Exemple de déversoirs des eaux usées ; B) Exemple des sédiments et débris transportés le long des rivières ; C) Exemple des eaux chaudes provenant d'une centrale électrique ; D) Exemple des liquides chimiques et pétroliers mélangés à l'eau des ruisseaux. Pollution aspects along the Lebanese shoreline. A) Water outfalls ; B) Transported sediments and debris along rivers ; C) Warm waters from an electric power station ; D) Chemical and petroleum fluids mixed with stream waters.

 $\mathit{T\acute{e}l\acute{e}d\acute{e}tection},$ vol. 4, n° 2, p. 197-209

3.4.3. Pollution thermique

L'emplacement de quelques centrales électriques sur la côte produit une pollution de type thermique qui peut être nuisible pour la faune et la flore marine (MEDD, 2003, chap. 4.2). Les pompes de décharge sont toujours situées sur des digues pour tenter d'éloigner l'eau chaude à plusieurs centaines de mètres de la côte. D'autres sources d'eau chaude émanent de petites usines dispersées le long de la côte et ayant une décharge intermittente et de portée limitée (Faour and Shaban, 2002). Un exemple de cartographie de l'impact d'une centrale thermique par télédétection est donné par Gibbons et al. (1989). Sur la figure 3 (point C), on présente un exemple de pollution thermique produite par la centrale électrique de Zouk Mkayel, détectée par une température plus élevée sur le point de rejet que l'eau avoisinante.

3.4.4. Liquides oléochimiques

Des usines, raffineries, tanneries, réservoirs pétroliers, centres hospitaliers et nombre d'autres implantations industrielles sont dispersés directement sur le littoral de la côte libanaise. Toutes ces activités produisent des déchets liquides, essentiellement des produits chimiques, des eaux usées et des huiles.

Bien que leur décharge soit normalement intermittente et restreinte à quelques périodes, elles occupent de larges surfaces. La présence de liquides huileux provient aussi de déversements, accidentels ou non, de produits pétroliers en mer. On en trouve un bon exemple dans la baie de Saint-Georges (figure 3, point D).

Notons qu'il existe encore un type supplémentaire d'anomalie thermique provenant de la terre. Il est provoqué par les sources d'eau douce sous-marines, dont l'existence a été mise en évidence par une campagne aéroportée de mesures thermiques (NCRS, 1999). Les critères d'identification des eaux polluées sur les images utilisées sont résumés sur le tableau 1.

Aspects de la pollution de l'eau de mer	Aspect de l'afflux vers la mer seaward	Différences de températures détectables	Forme du modèle thermique	Dimensions approximatives (m)	
				Longueur	LARGEUR
	Le long des déversoirs d'égouts	Normalement inférieure à l'eau de mer environnante de 2-2,5 °C	Forme d'éventail, presque perpendiculaire au littoral	Jusqu'à 600	Jusqu'à 200
Eaux usées	Le long des cours des rivières	Normalement inférieure à l'eau de mer environnante de 0,5-1 °C	Idem	Jusqu'à 1 500	Jusqu'à 500
	Sources diffuses	Normalement inférieure à l'eau salée environnante de 1-2 °C	Chaotique, en épanchement presque parallèle à la côte	Jusqu'à 200	Plusieurs kilomètres le long du littoral
Sédiments et débris transportés	Afflux le long des cours des rivières et des sources	 Température inférieure à l'eau salée environnante de 2-2,5 °C Optiquement, les bandes 2, 3 et 4 montrent une couleur bleue * 	Forme de flamme, élongée et perpendiculaire à la côte	Jusqu'à 5 000	Jusqu'à 2 000
Pollution thermique	Afflux des eaux pompées	Supérieure à l'eau de mer environnante de 2-3 °C	Forme de flamme, élongée et perpendiculaire à la côte	1 000-1 500	50-500
		Température supérieure à l'eau de mer environnante	Soit élongée perpendiculaire à la côte (taux de décharge		

TABLEAU 1 Critères d'identification de l'eau de mer polluée sur les images thermiques de ETM+ de Landsat-7. Criteria of identification of seawater pollution using ETM+ thermal images.

预览已结束,完整报告链接和二维码如下:



https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=5 10087