



Ministère de l'Industrie,  
des Postes et Télécommunications  
et du Commerce extérieur



AGENCE DE L'EAU  
SEINE-NORMANDIE

DOCUMENT PUBLIC

*Utilisation d'une image satellitale Landsat TM  
pour la détection de résurgences en Manche  
entre le Havre et Dieppe.*

*(rapport d'avancement)*

Étude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 96 D 427

Janvier 1997  
R 39 398



Étude réalisée dans le cadre des  
actions de Service public du BRGM



# Synthèse

Le Service Géologique Régional de Basse-Normandie (BRGM) a été chargé, par l'Agence de l'Eau du bassin Seine-Normandie (Direction des Rivages Normands, Honfleur), d'une étude à caractère méthodologique destinée à analyser le potentiel de l'imagerie satellitale pour la détection d'émergences d'eau douce en milieu marin. En effet, ces émergences pourraient, dans certaines conditions, être vecteur de pollution.

Une première phase à caractère exploratoire a permis d'établir les modalités de la méthodologie projetée. Compte tenu des caractéristiques du seul capteur opérationnel fonctionnant dans le domaine infrarouge thermique (canal 6 de Landsat Thematic Mapper), il était nécessaire d'aborder l'étude de manière régionale, puis de focaliser sur des secteurs d'intérêt.

La zone étudiée entre Le Havre et Dieppe avec l'aide du canal thermique d'une image Landsat TM montre des indices de résurgences en mer.

Quatre zones de la côte d'Albâtre peuvent être soulignées à partir de leurs caractéristiques spectrales (thermiques) :

- la côte constituée de la craie cénomaniennne et turonienne (du Havre à Fécamp), exempte d'indices de résurgences ;
- la côte constituée du toit de la craie marneuse turonienne et de la craie blanche à silex sénonienne, riche en indices de résurgences ;
- les débouchés de vallées pérennes et sèches, bien caractérisés par leur thermicité. Il s'agit principalement des zones de Saint-Valery-en-Caux/Saint-Aubin-sur-Mer, Saint-Pierre-en Port, Veulettes-sur-Mer, Quiberville-sur-Mer/Dieppe ;
- de Sotteville-sur-Mer jusqu'au large de Saint-Valery-en-Caux, où il existe un vaste panache d'eau froide.

## Sommaire

<b>1. Contexte de l'étude .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Principes méthodologiques .....</b>	<b>7</b>
2.1. Généralités.....	7
2.2. Choix des données satellitales.....	8
2.3. Zone géographique couverte - caractéristiques hydrogéologiques .....	8
<b>3. Validation de la méthodologie.....</b>	<b>9</b>
<b>4. Application au littoral haut-normand .....</b>	<b>10</b>
<b>5. Premières conclusions et suite de l'étude .....</b>	<b>11</b>
Figure 1 - localisation.....	5

### Annexes.

Figure 2 - Image Landsat TM (canal rouge) en niveaux de gris

Figure 3 - Image Landsat TM (canal thermique) en pseudocouleurs

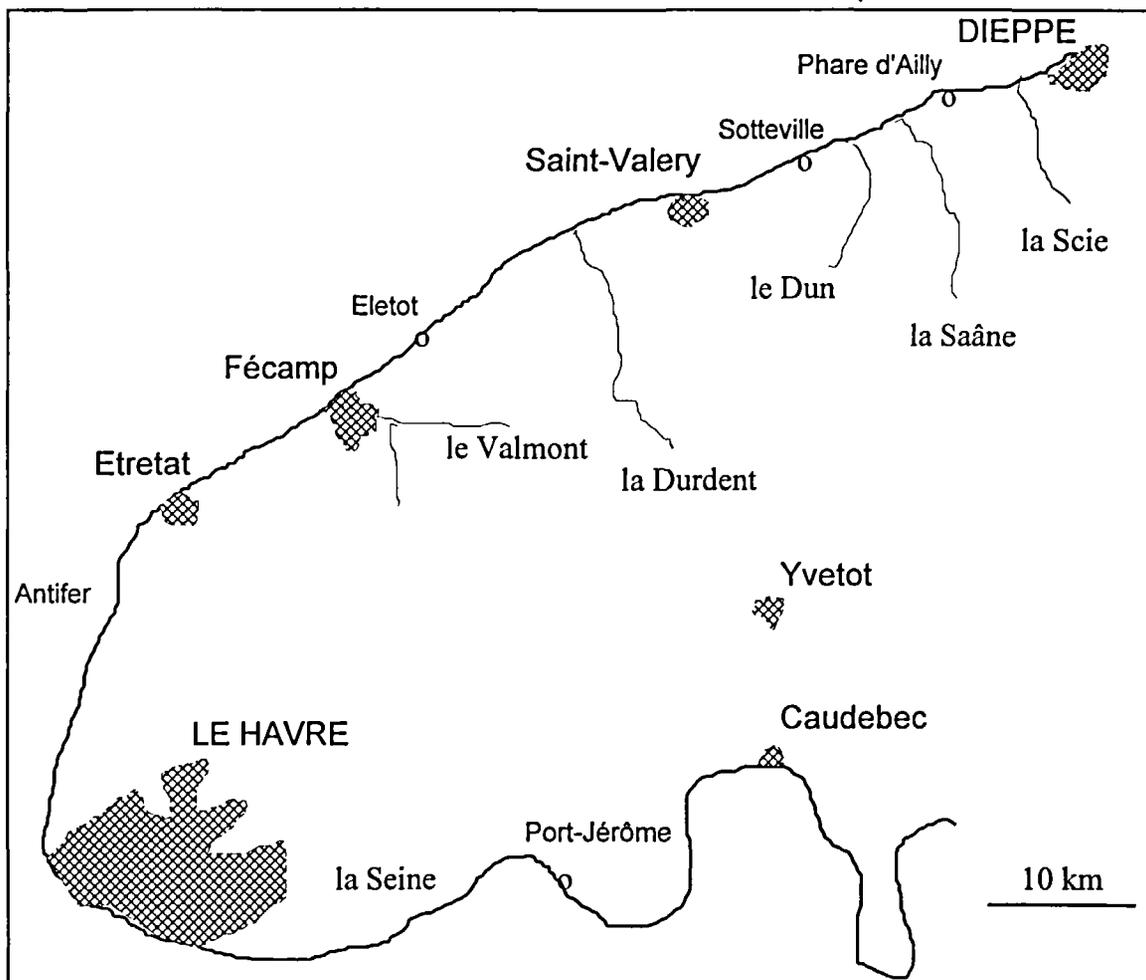


Fig. 1. Localisation de la côte d'Albâtre

## **1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE**

Le Service Géologique Régional de Basse-Normandie (BRGM) a été chargé par l'Agence de l'Eau du bassin Seine-Normandie (Direction des Rivages Normands, Honfleur), d'une étude à caractère méthodologique destinée à analyser le potentiel de l'imagerie satellitale pour la détection d'émergences d'eau douce en milieu marin.

Compte tenu des caractéristiques du seul capteur opérationnel fonctionnant dans le domaine infrarouge thermique (canal 6 de Landsat Thematic Mapper), il était nécessaire d'aborder l'étude de manière régionale, puis de focaliser sur des secteurs d'intérêt. Une première phase à caractère exploratoire a permis d'établir les modalités de la méthodologie projetée. Elle fait l'objet du présent rapport d'avancement.

Conformément aux règles internes du BRGM, l'image a été commandée par le Département " Centre de Gestion des Données Géologiques et Géophysiques " du Service Géologique National auprès de EURIMAGE (Italie), concessionnaire exclusif des données Landsat pour l'Europe. Après un retard consécutif à des problèmes de commercialisation des données propres à EURIMAGE, l'image Landsat a été acquise puis traitée au Centre Thématique " SURF " du Service Géologique National à Orléans. La donnée (CD-ROM) a été lue et stockée pour être traitée par le logiciel Imagine de ERDAS (version PC-NT).

Cette note technique rend compte de la première phase (exploratoire) de l'opération qui porte sur la faisabilité de la méthode, sur la base d'un examen visuel de la côte du Havre à Dieppe. Elle a tenu lieu de document de référence pour la réunion de travail du 16 décembre 1996 à Honfleur. Cette réunion a entériné la poursuite de l'opération qui donnera lieu à un rapport final de synthèse.

## 2. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

### 2.1. GÉNÉRALITÉS

Les résurgences d'eau douce peuvent théoriquement être caractérisées sur des images satellitales soit dans le domaine visible (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ) si elles s'accompagnent de turbidité, soit dans le domaine infrarouge thermique (10-14  $\mu\text{m}$ ) si les contrastes de températures sont suffisamment importants.

Dans la présente étude, l'accent est porté sur l'utilisation de l'infrarouge thermique. Ce domaine du spectre électromagnétique est le seul à quantifier un paramètre physique : la température. Ainsi, des valeurs importantes de niveaux de gris (*digital numbers*) correspondent-elles à des températures plutôt chaudes et des valeurs basses à des températures plutôt froides.

Toutefois, en l'absence de toute opération de calibration effectuée sur le terrain en même temps que l'acquisition satellitale, il est impossible d'associer les valeurs de niveaux de gris et les températures correspondantes. De plus, le seul capteur infrarouge thermique disponible de manière opérationnelle – Thematic Mapper embarqué à bord du satellite américain Landsat V (lancé en 1986) – offre une résolution spatiale fruste (pixel de 120 x 120  $\text{m}^2$ ) et il est très bruité (défaut sur la donnée numérique), ce qui ne permet que de suivre des grandes tendances. En outre, des phénomènes tels que les vents (déplacement de masses d'air) et les courants marins (notamment en fonction de la marée) peuvent perturber la réponse spectrale dans la zone côtière. Du fait de la résolution (un pixel couvre 1,44 ha), le volume d'eau douce doit être suffisamment important pour abaisser la température moyenne de l'eau de mer de manière significative (plusieurs degrés).

Le contraste de température entre l'éventuelle résurgence d'eau douce et le domaine maritime ne peut généralement être reconnu que s'il est suffisamment contrasté. Le choix d'une image acquise en hiver semble pouvoir mettre en évidence une eau maritime plutôt chaude par rapport aux eaux continentales froides. Cependant, si les eaux fluviales présentent nécessairement un fort contraste thermique avec l'eau de mer, il n'est pas certain que le contraste soit aussi fort avec des résurgences d'eau ayant circulé dans des réseaux karstiques souterrains.

## 2.2. CHOIX DES DONNÉES SATELLITALES

L'image Landsat Thematic Mapper choisie parmi les données d'archives est la scène n° 201-25 du 31 janvier 1987 (Figure 2 en annexes). Cette scène hivernale est *a priori* favorable à la détection des contrastes thermiques, mais elle a l'inconvénient de produire des ombres portées importantes, car l'image est acquise non seulement en hiver, mais encore tôt le matin (vers 10h45 locales).

Les images Landsat TM possèdent 7 canaux correspondant au domaine bleu (1), vert (2), rouge (3), infrarouge proche (4), infrarouge moyen (5 et 7) et infrarouge thermique (6).

Deux documents ont été réalisés :

- un extrait du canal 3 (rouge) utile pour repérer les principales unités de paysage régionales (teinte et morphologie) de la zone terrestre et permettant de percevoir les phénomènes de turbidité (sensu lato) dans le domaine côtier (contrairement au canal 4 qui aurait un meilleur rendu dans la partie terrestre mais qui serait plus homogène dans le domaine maritime) ;

- un extrait du canal 6 (infrarouge thermique), pseudo-coloré en utilisant une table de couleur standard (du rouge au blanc), en seillant de telle manière que seul l'espace maritime est rendu.

## 2.3. ZONES COUVERTES - CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES ET CLIMATIQUES

La zone étudiée entre Le Havre et Dieppe correspond à un secteur de falaises crayeuses. Seul le secteur situé entre Fécamp et Dieppe présente des cours d'eau pérennes : le ruisseau de Valmont à Fécamp, la Durdent à Veulettes-sur-Mer, le Dun à Saint-Aubin-sur-Mer, la Saâne à Quiberville-sur-Mer et la Scie à Pourville-sur-Mer.

La géologie de ce secteur montre globalement une évolution de terrains crayeux du Cénomaniens et du Turonien dans la région sud-ouest (Le Havre, la Hève) vers des terrains crayeux situés plus hauts stratigraphiquement vers le nord-est : coniaciens (Antifer, Fécamp), puis santoniens à campaniens (région de Dieppe).

<sup>1</sup>Fin janvier 1987, une invasion froide a conduit à un régime anticyclonique et un flux s'orientant à l'est. Le temps est clair et bien ensoleillé les 30 et 31 janvier. Les températures, douces les 23 et 24 (3 à 4° C en moyenne au Havre et à Dieppe), diminuent jusqu'à -4° C (Le Havre) et -8° C (Dieppe et Rouen) le 31 janvier. Ce jour-là, l'humidité moyenne est de 60% à Rouen et 70 % environ à Dieppe et au Havre. Les précipitations de janvier 1987 ont été faibles et surtout concentrées en tout début de mois. Les hauteurs de précipitations observées dans le secteur littoral sont déficitaires par rapport aux normales : Antifer (30 mm/61 mm)<sup>2</sup>, Le Tréport (32 mm/66 mm), Sainte-Adresse (33 mm/61 mm), Saint-Valery-en-Caux (34 mm/63 mm), Neuville-lès-Dieppe (38 mm/65 mm), Fécamp (43 mm/66 mm). Ce phénomène n'est *a priori* pas favorable à l'obtention de forts débits pour les fleuves côtiers et les rivières.

### 3. VALIDATION DE LA MÉTHODOLOGIE

Grâce à la présence de l'estuaire de la Seine, il est possible de vérifier, mais pour de très gros volumes d'eau douce, que l'eau continentale plus froide tend à refroidir les eaux de la baie de Seine au large du Havre (Figure 3 en annexes).

Le courant de la Seine est particulièrement bien visible suivant une direction NW-SE. Le gradient entre les deux masses d'eau est particulièrement important à partir du Cap de la Hève. Le rôle de la chenalisation apparaît aussi clairement, les digues sud et ouest maintenant des eaux plus chaudes le long de la côte du Havre et de Sainte-Adresse, et rejetant les eaux froides de la Seine vers le large.

---

<sup>1</sup> D'après le Bulletin climatologique de Haute-Normandie, 229, janvier 1987, 31 p.

<sup>2</sup> Le premier nombre correspond à la hauteur de précipitations (mm) du mois de janvier 1987, le second à la moyenne.

## **4. APPLICATION AU LITTORAL HAUT-NORMAND**

La côte entre Sainte-Adresse et Fécamp ne présente pas d'indices de résurgences d'eau douce. La température moyenne de l'eau de mer tend à diminuer entre Etretat et Fécamp (Figure 3 en annexes).

À partir d'Életot, au NE de Fécamp, il apparaît un liseré correspondant à des températures très froides (relativement). A l'arrivée des vallées sèches d'Ecretteville-sur-Mer, d'Ancretteville-sur-Mer et de Sassetot-le-Mauconduit (région de Saint-Pierre-en-Port), le liseré est plus développé. Ce dernier redevient très fin jusqu'à l'embouchure de la Durdent qui montre bien l'apparition d'eau douce froide dans la mer plus chaude ; le phénomène est toutefois d'extension limitée compte tenu du faible débit du fleuve.

À partir d'Életot, la craie affleurant dans la falaise est celle du Sénonien inférieur. Le toit du Turonien sous-jacent (craie marneuse) et le Sénonien inférieur sont des niveaux traditionnellement riches en sources.

Les secteurs de Paluel et de Saint-Valery-en-Caux ne présentent pas de manifestations caractéristiques de résurgence.

Entre Saint-Valery-en-Caux et l'embouchure de la Saône, les eaux sont apparemment froides. Ceci ne semble pas pouvoir être expliqué par la seule présence du Dun et de la Saône dont les débits sont insuffisants. Un panache important apparaît au large de Sotteville-sur-Mer.

Autour de la falaise du phare d'Ailly, les eaux sont froides. Il existe de très nombreuses valleuses qui affectent les formations éocènes.

À Pourville-sur-Mer, la Scie produit un léger contraste thermique, un peu comme la Durdent.

## **5. PREMIÈRES CONCLUSIONS & SUITE DE L'ÉTUDE**

La zone étudiée entre Le Havre et Dieppe avec l'aide du canal thermique d'une image Landsat TM montre des indices de résurgences en mer.

Quatre aspects peuvent être soulignés, en conservant à l'esprit que ces conclusions préliminaires sont liées à l'utilisation d'un capteur à faible résolution spatiale ( $120 \times 120 \text{ m}^2$ ) :

- la côte constituée de la craie cénomaniennne et turonienne (du Havre à Fécamp) est exempte d'indices ;
- la côte constituée du toit de la craie marneuse turonienne et de la craie blanche à silex sénonienne est riche en indices ;
- les débouchés de vallées pérennes et sèches sont bien caractérisés par leur thermicité : principalement les zones de Saint-Valery-en-Caux/Saint-Aubin-sur-Mer, Saint-Pierre-en-Port, Veulettes-sur-Mer, Quiberville-sur-Mer/Dieppe ;
- de Sotteville-sur-Mer jusqu'au large de Saint-Valery-en-Caux, il existe un vaste panache d'eau froide.

La poursuite éventuelle de l'étude devrait s'attacher à faire la part des variations thermiques dues au domaine maritime et celles spécifiquement liées à la présence d'eau douce.

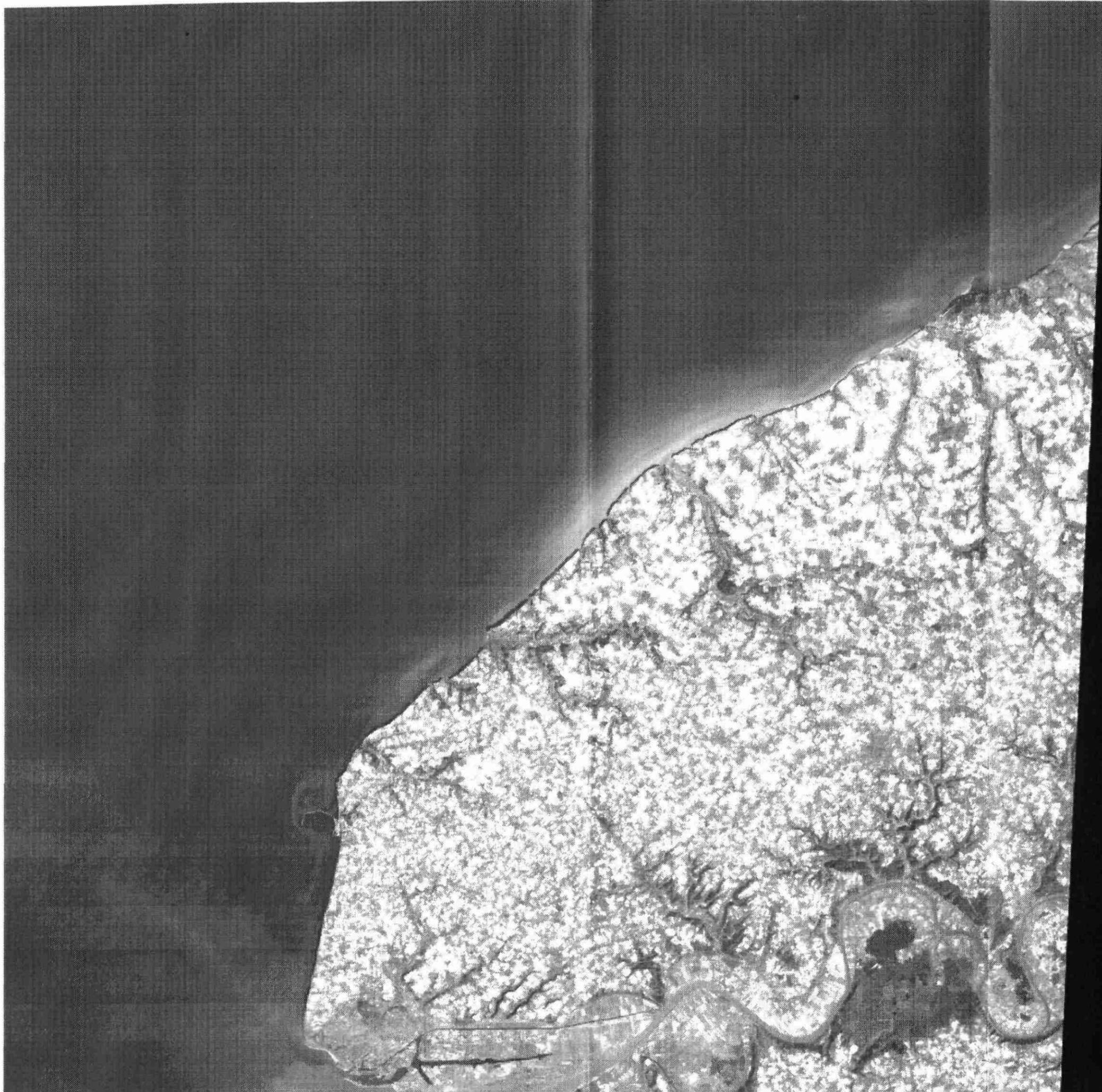
La liaison apparente entre les valleuses et les résurgences devrait faire l'objet d'une étude plus approfondie à partir de l'analyse détaillée de la lithologie, de la fracturation et du potentiel hydrogéologique des niveaux concernés.

## **Annexes**

Figure 2. Extrait du canal 3 (rouge) de l'image TM.

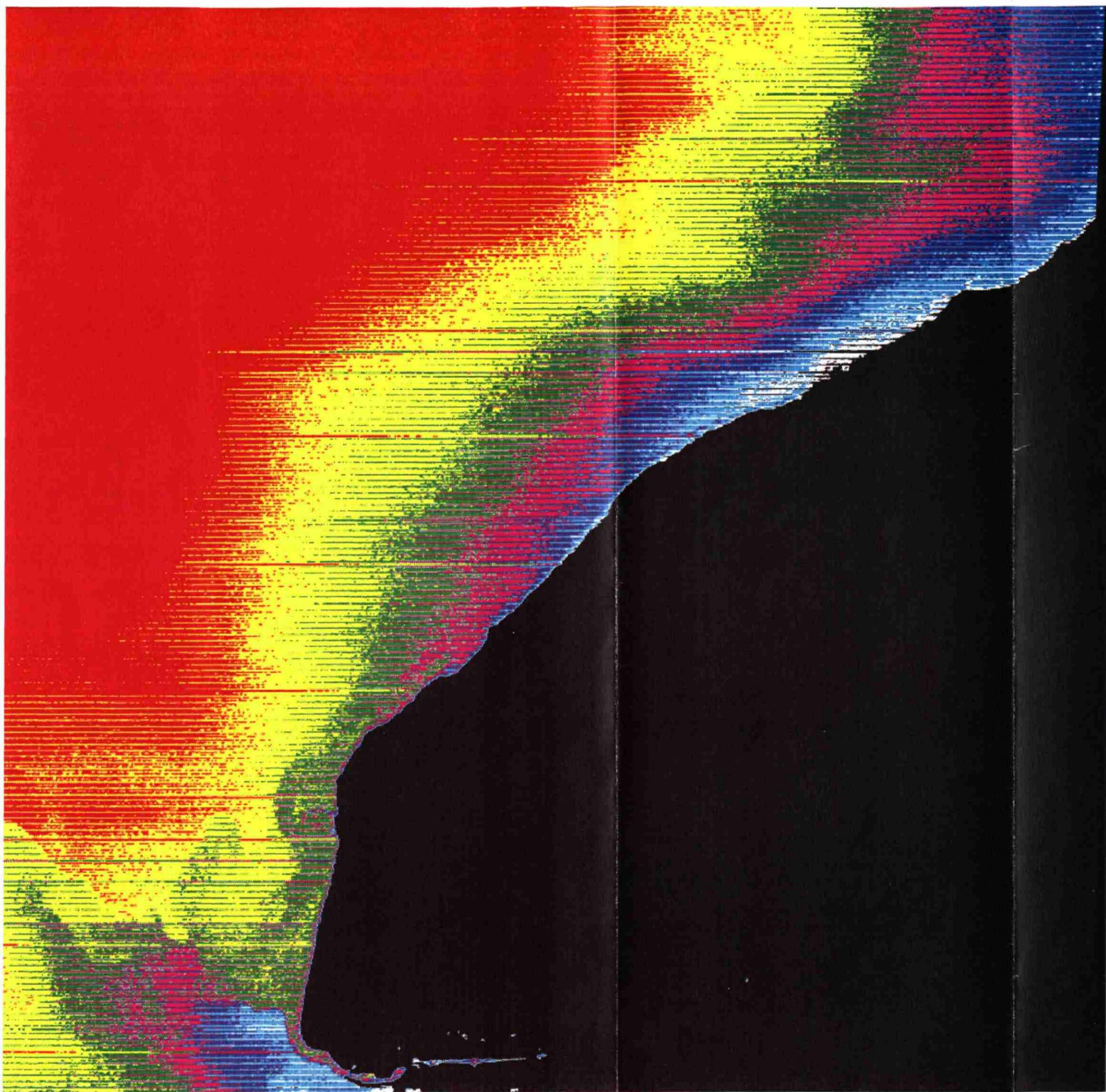
Figure 3. Pseudocoloration du canal 6 (thermique) de TM. Les températures les plus chaudes sont en rouge ; les plus froides sont en bleu.

Région le Havre - Dieppe



Landsat TM 201.25 - 31/01/87

0 12 km



Région le Havre - Dieppe

Landsat TM 201.25 - 31/01/87

0 12 km