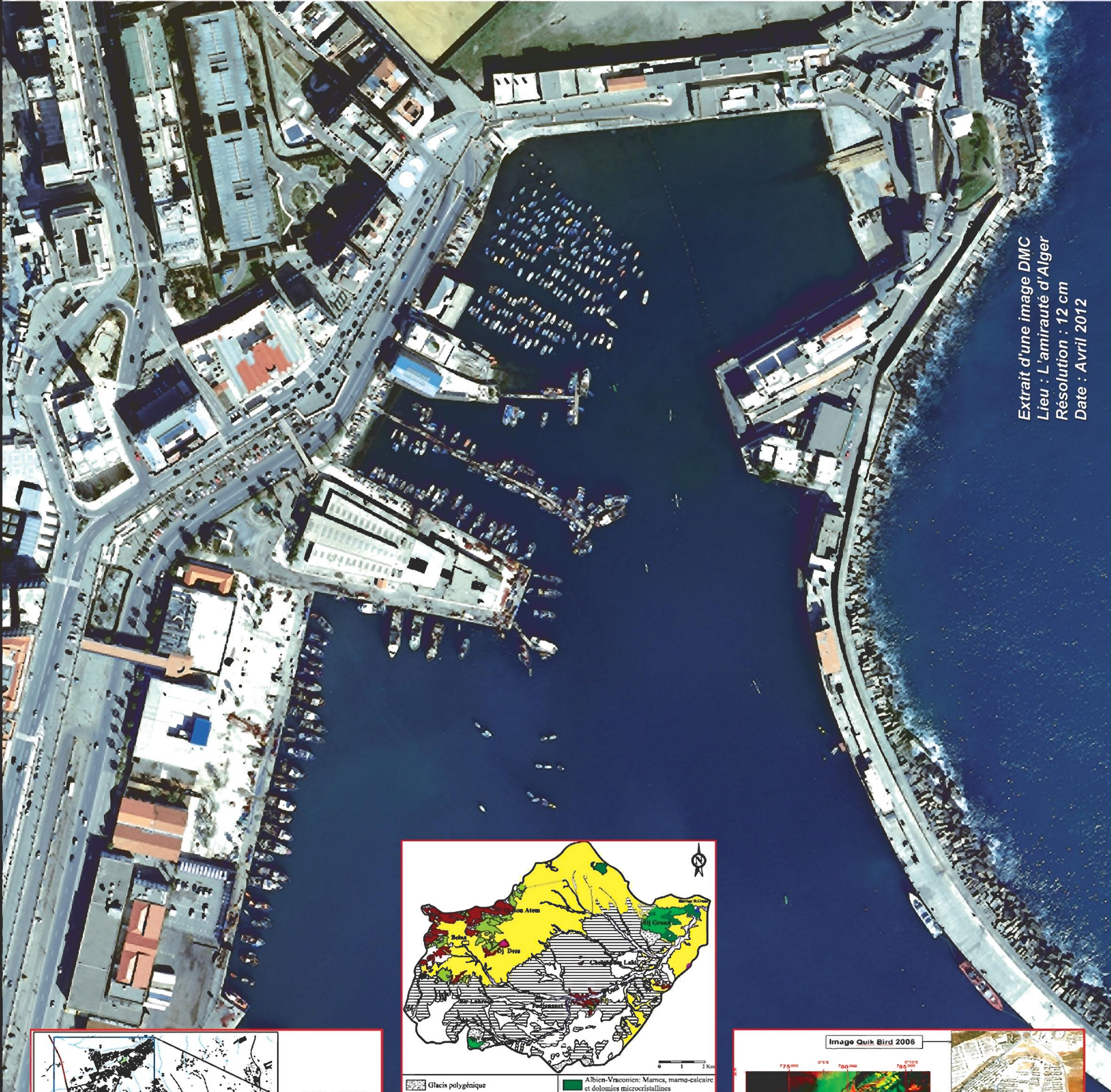


Bulletin des Sciences Géographiques

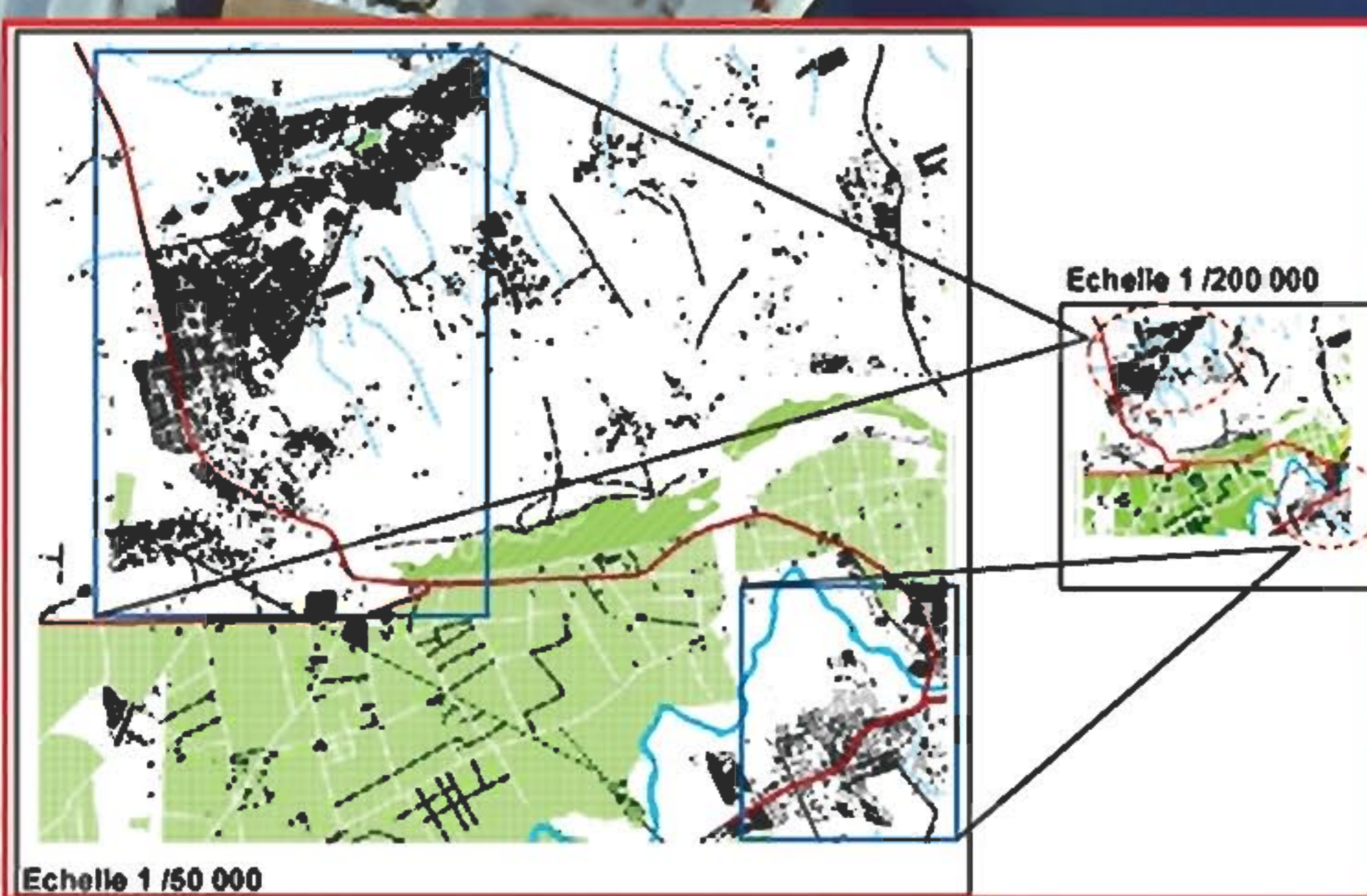
N° 28

Édité et publié par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection

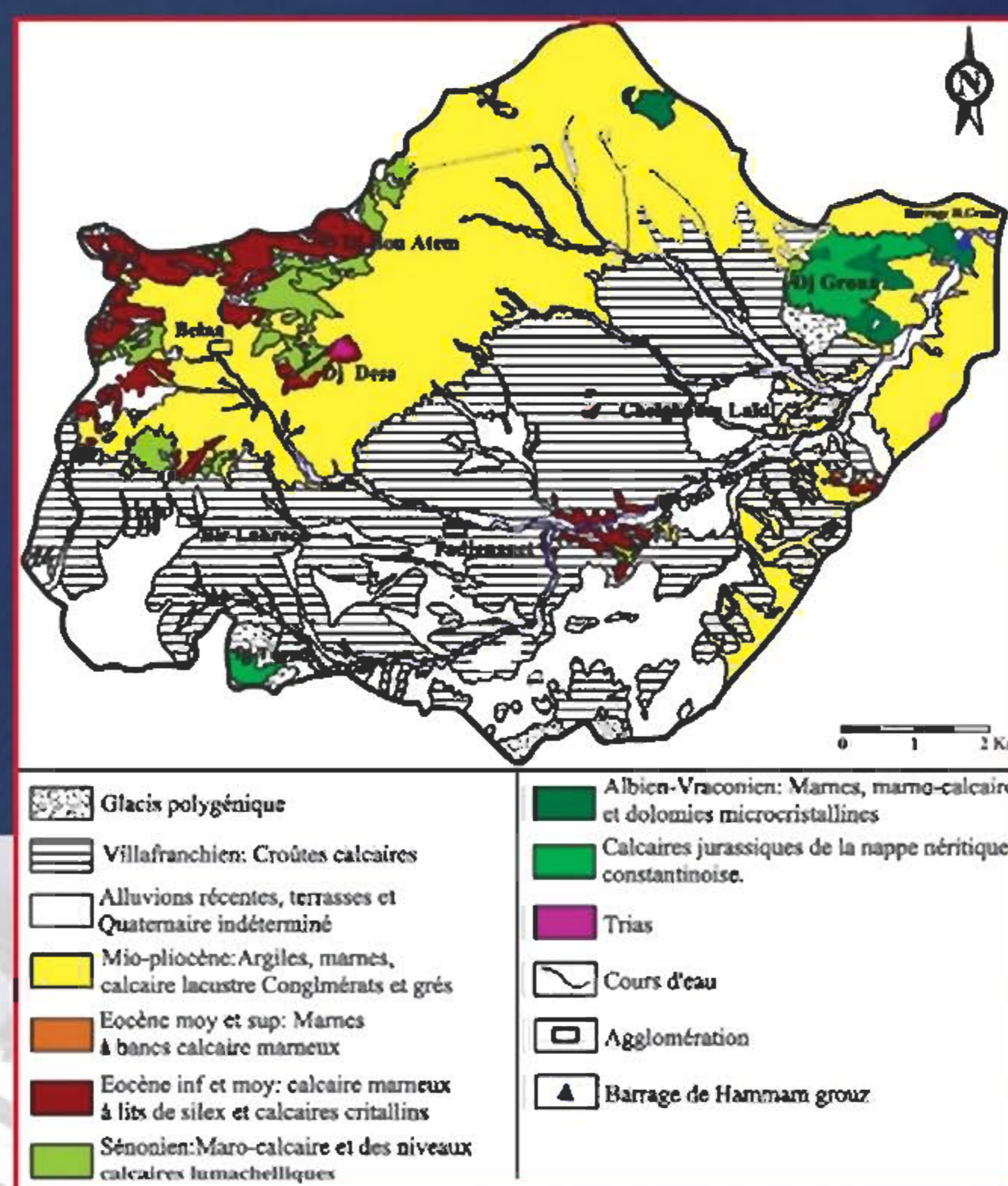
1^{er} Semestre 2013 • 16^{ème} année • Prix 40 DA • Étranger 15 € • ISSN 1112-3745



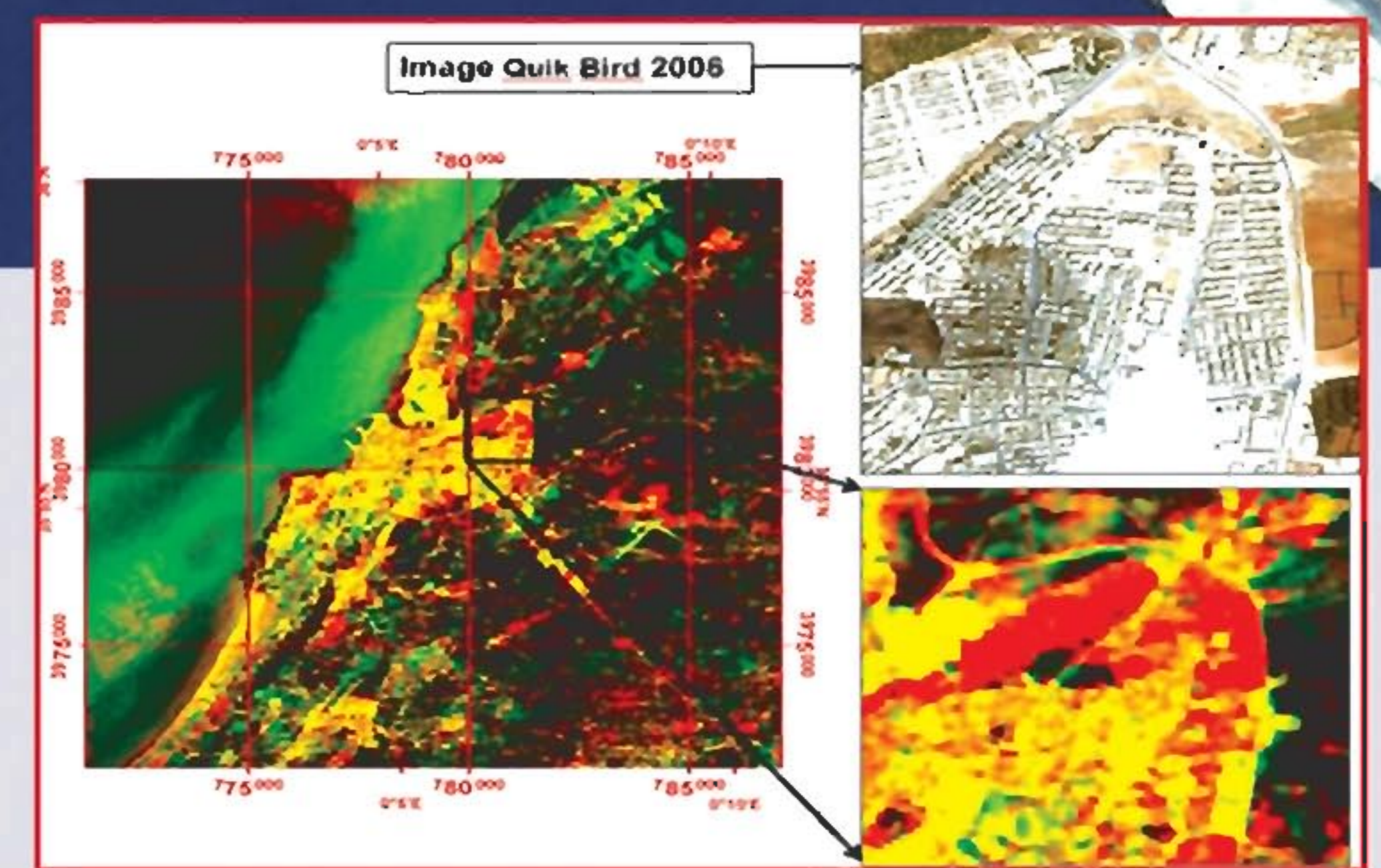
Extrait d'une image DMC
Lieu : L'amirauté d'Alger
Résolution : 12 cm
Date : Avril 2012



La généralisation cartographique
Processus d'automatisation et mise
en œuvre à l'INCT



Hydrologie et bilans d'eau d'un barrage en zone karstique semi-aride: Hammam Grouz (Oued Rhumel, Algérie)



Analyse de l'étalement urbain de la ville de Mostaganem à l'aide des données satellitaires multi-dates

Le Bulletin des Sciences Géographiques (BSG) est une publication semestrielle de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), Algérie.

Le BSG, est une revue internationale, fondée en Octobre 1997.

Directeur de la Publication :
KESRAOUI Arezki, Directeur Général de l'INCT

Rédaction et administration :
Centre de Documentation et de Conservation de l'Information Géographique de l'INCT

Adresse : Bulletin des Sciences Géographiques, INCT, 123, rue de Tripoli Hussein Dey 16040, BP 430, Alger, Algérie.

Tél: (021) 49 16 94

(021) 49 16 95

(021) 49 16 97

Fax: (021) 49 16 91

(021) 49 16 88

E-mail : contact@inct.dz ; bsg@inct.dz

Rédacteur en Chef :

GUEMDANI Razika,

Sous Directeur de la Recherche et Développement / INCT

Comité de Rédaction :

BOUKHEROUBA Sabredinne,

Centre de Réception et d'Exploitation de l'Imagerie Satellitaire (CREIS) ;

AOUAMER Toufik,

Sous Directeur des Travaux Spécifiques et Arts Graphiques / INCT ;

KADDOUR DJEBBAR Abdelghani, Chef de Département Bases de Données Géographiques / INCT;

CHOUDEH Mohamed Tahar,

Chef de Département Analyses & Synthèses / INCT

Secrétariat de Rédaction:

MEBARKI Radia, OUAHCENE Dounia,

BOUDJELAL Lydia, SELLAM Karima,

KHELIFI Malika, KAIS Nacima,

ALOUI Liza & KHEBIL Nacer

Conception et maquette:

BOUGUENDOURA Naziha & DAOUDI Khaled

Impression :

Complexe des arts graphiques / INCT

Dépôt Légal :

N°28 - 1^{er} Semestre 2013

ISSN 1112-3745

Tirage :

1000 Exemplaires

Tout droit réservé pour tous pays, textes, illustration, photos. ©

■ Cartographie

La généralisation cartographique: Processus d'automatisation et mise en œuvre à l'INCT

Par A. KADDOUR DJEBBAR.....2

■ Géodésie

Analyse des déformations dans un réseau géodésique d'auscultation d'ouvrage d'art

Par A. BELHADJ, B. GHEZALI, S. KAHLOUCHE & N. BOUHOUCHE.....17

Variabilité de surface océanique à partir des données des altimètres Topex, Jason-1 et Jason-2

Par M. HADDAD, H.TAIBI, R. RAMDANI & EH. BAYOUD.....27

■ Hydro-géologie

Hydrologie et bilans d'eau d'un barrage en zone karstique semi-aride : Hammam Grouz (Oued Rhumel, Algérie)

Par N. MIHOUBI, A. MEBARKI & B. LAIGNEL.....37

■ Géophysique

Quelques procédures pouvant améliorer la qualité d'un réseau gravimétrique

Par M. IDRES, A. BOURMATTE, M. OUYED & M. S. BOUGHACHA.....45

■ Télédétection

Analyse de l'étalement urbain de la ville de Mostaganem à l'aide des données satellitaires multi-dates

Par N.BENTEKHICI & D.YOUSFI.....51

■ Urbanisme

Le M'zab : De la Pentapole à la " Métropole"

Par H M. MAACHOU.....63

■ Manifestations scientifiques internationales.....71

- Second Forum de Haut niveau sur la Gestion Globale de l'Information Géospatiale (UN.GGIM)

- 3^{ème} édition de la Semaine Forestière Méditerranéenne (III SFM)

- 16^{ème} conférence d'AGILE sur la science de l'information géographique

- Symposium international sur les grands séismes méditerranéens : du passé vers le présent

- 5^{ème} conférence internationale sur les missions de vol en formation des engins spatiaux et les technologies

- Colloque international sur les risques de Tsunami et de séisme sur les deux rives de la Méditerranée

■ Calendrier des manifestations scientifiques.....78

■ Livres.....81

Comité de lecture du BSG



CÔTE Marc
Professeur émérite
Université de Provence.



SEMMOUD Bouziane
Professeur des Universités en
Géographie, Université Paris
8-Vincennes-Saint-Denis, Paris.



HADJ ZOBIR Soraya-Irmgard
Docteur, Faculté des Sciences de la Terre,
Université d'Annaba.



OMRANE Naceur
PhD, Directeur Technique
INCT.



LABORDE Jean-Pierre
Professeur des Universités,
rattaché à l'Université Nice Sophia
Antipolis.



OUABADI Aziouz
Professeur, Faculté des Sciences de la Terre,
de Géographie et de l'Aménagement
du Territoire, USTHB-Alger.



HADEID Mohamed
Docteur, Faculté des Sciences de la Terre,
de Géographie et de l'Aménagement
du Territoire, Université d'Oran.



ABDELLAOUI Hacem
Magister, Service Géographique
et de Télédétection de l'ANP
(SGT-ANP).



LAIGNEL Benoit
Professeur des Universités,
rattaché à l'Université de Rouen.



IDRES Mouloud
Professeur, Faculté des Sciences de la Terre,
de Géographie et de l'Aménagement
du Territoire, USTHB-Alger.



KAHLOUCHE Salem
Docteur, Centre des Techniques Spatiales (CTS)
Arzew, Oran.



RUAS Anne
HDR, Institut Français des Sciences
et Technologies des Transports,
de l'Aménagement et des Réseaux
(IFSTTR-France).



MEBARKI Azeddine
Professeur, Faculté des Sciences de la Terre,
de Géographie et de l'Aménagement du
Territoire, Université de Constantine.



BELHOCINE Mahmoud
Docteur, Centre de Développement des Technologies
Avancées (CDTA).



SOUIAH Sid-Ahmed
Professeur des Universités en
Géographie, Université de
Cergy-Pontoise.



SMARA Youcef
Professeur, Faculté d'Electronique et
d'Informatique, USTHB-Alger.



ABTOUT Abdeslam
Docteur, Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique
et Géophysique (CRAAG).

La généralisation cartographique Processus d'automatisation et mise en œuvre à l'INCT

A. KADDOUR DJEBBAR
Institut National de Cartographie et de Télédétection
123, rue Tripoli, Hussein Dey, Alger
E-mail : contact@inct.dz

ملخص: إن تقليل الوقت و بالتالي تكلفة إنتاج خريطة يشكل دائما هدف محترفي رسم الخرائط. و من بين الوسائل لبلوغ ذلك "التعميم" و هذا يعني استخراج، من خريطة مرجعية، المعلومات الخاصة بحاجة معينة و تبسيط تمثيلها: خريطة جديدة معممة (مشتقة) هي إذا جاهزة للاستغلال. و مع ذلك، فإن لهذه التقنية مساوئ كونها منجزة يدويا من طرف رسام الخرائط. مؤخرا، أدى تطور الخرائطية الرقمية أصل أوتوماتيكية تقنيات معالجة المعطيات الجغرافية إلى ظهور التعميم الآلي.

أدركت مختبرات مختصة مبكرا أهمية التعميم في عملية إنتاج الخريطة. إستأنف المخبر الفرنسي COCIT أبحاثه فيما يخص أوتوماتيكية عملية التعميم سنة 1991 مع الالتزام بأسلوبين: من جهة تصميم الخوارزميات لإنجاز العمليات الأولية للتعميم (تعميم مستقل) و من جهة أخرى دراسة الاستراتيجيات التي يجب وضعها من أجل استعمال هذه الخوارزميات (تعميم نصي).

يندرج هذا العمل ضمن هذا النوع من الأبحاث و يهتم خاصة بالتعميم الخرائطي. هذا الأخير كان موضوع عدة أعمال بحث و التي قمنا بدراستها و ذلك من أجل إحصاء المشاكل العديدة و المعقدة لوضع منهج يمكن إدماجه في السلسلة الإنتاجية الخاصة بمعهدنا و الذي يحتوي على جميع الخوارزميات لمعالجة مختلف التداخلات التي تواجهنا أثناء عملية التعميم. العملية التي نقترحها تعتمد على تسلسل عدة برامج لمعالجة التعميم موجهة بمعاملات خاصة و هذا حسب ترتيب تنفيذي محدد مسبقا.

الكلمات الأساسية: عملية التعميم، تعميم آلي، خوارزميات، تداخل، إثراء

Résumé: Minimiser le temps et donc le coût de production d'une carte constitue depuis toujours, l'objectif des professionnels de la cartographie. Un des moyens pour y parvenir, consiste à « généraliser », c'est-à-dire extraire, à partir d'une carte de référence, les informations servant un besoin particulier et simplifier leur représentation: une nouvelle carte généralisée (dérivée) est alors prête à l'exploitation. Cependant, cette technique présente l'inconvénient d'être réalisée manuellement par le cartographe. Récemment, le développement de la

cartographie numérique à l'origine de l'automatisation des techniques de traitement des données géographiques a donné naissance à la généralisation automatique.

Des laboratoires spécialisés ont constaté très tôt l'importance de la généralisation dans le processus de production cartographique. Le laboratoire français COGIT a commencé ses recherches sur l'automatisation du processus de généralisation en 1991 avec un engagement dans une double démarche : d'une part, la conception d'algorithmes réalisant les opérations élémentaires de généralisation (généralisation indépendante) et d'autre part, l'étude des stratégies à mettre en œuvre pour utiliser ces algorithmes (généralisation contextuelle).

Ce travail s'intègre dans cet axe de recherche et s'intéresse plus spécifiquement à la généralisation cartographique. Cette dernière a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche que nous avons exploré afin d'en recenser les nombreux et complexes problèmes et ce, pour mettre en place un processus intégrable dans la chaîne de production de notre institut, et contenant tout opérateur en mesure de traiter les différents conflits rencontrés lors de la généralisation. Le processus que nous proposons prendra en charge le séquençage de plusieurs programmes de traitement de généralisation orientés par un paramétrage spécifique et ce, dans un ordre d'exécution prédéfini.

Mots clés: Processus, généralisation automatique, opérateur, conflit, enrichissement.

Abstract: Minimizing both time and cost of production of a map has always been the goal of cartographic professionals. One of ways to do, is "generalize", which consists in extracting from a reference map, information for a particular need and simplify their representation: a new generalized is then ready for exploitation . Meanwhile, this technique is disadvantageous, for it is manual way. Recently, the development of digital cartography, in origin of the automation of geographic data treatment has given birth to the automatic generalization.

Specialized laboratories found early the importance of the generalization in the cartographic production

process. The French laboratory COGIT began his research on automating the generalization process in 1991 with an involvement to a dual approach: first, developing algorithms that provide elementary generalization operations (independent generalization) and then, the study of strategies to implement in order to use these algorithms (contextual generalization).

This work joins a research axe and it is interested specifically on cartographic generalization. This latter has been the object of a lot of researches which have been studied in order to solve a big complex number of problems and this, in the objective to define a process which contains every operator able to take charge of a sequence of many generalization program, oriented by a specific parameterizing and this, in a predefined execution order.

Key Words: Process, automatic generalization, operator, conflict, enrichment.

I. Introduction

La cartographie est une représentation plane et conventionnelle d'une partie ou de l'ensemble de l'espace géographique. La généralisation quant à elle est la sélection et la simplification de cet espace. Elle est définie par l'ACI (Association de Cartographie Internationale) comme étant *"la sélection et la représentation simplifiée de détails en fonction de l'échelle et des objectifs de la carte"*.

Nombreux sont les problèmes et conflits qui se manifestent lors du changement de l'échelle de représentation de la carte. Des conflits de niveau local, caractérisés par la non perception des objets au dessous des seuils, la non séparation d'objets identiques, alignés ou non ou bien la non interprétation d'objets. Ces conflits sont liés principalement aux limites de la perception humaine, d'où la nécessité de définir des seuils de perception selon l'échelle de représentation, ce qui demande certains traitements tels que l'amplification, la suppression ou la schématisation.

Les conflits de niveau global sont définis dans le cadre d'une généralisation globale contextuelle, où l'impact de la généralisation d'un objet au niveau local sur son voisinage est étudié. Ces conflits sont caractérisés par le chevauchement ou la superposition de deux objets de type identique tels que deux tronçons de routes ou deux bâtiments. Ce type de conflits nécessite un traitement de déplacement, de suppression ou de fusion. Autre type de conflit global : la superposition d'objets de type différent telle que la superposition d'un tronçon de route avec un tronçon de l'hydro, ou avec un bâtiment.

La généralisation se faisait soit par une dérivation de la base de données géographiques pour générer une base de données cartographiques, et généraliser ces données manuellement pour chaque échelle, soit par une dérivation pour chaque échelle, d'une base de données cartographiques correspondante. Les deux méthodes sont coûteuses en termes de délais et présentent des risques d'erreurs ou d'oublis.

Afin de remédier à ces conflits et dans le but de mettre en place un processus de généralisation automatique et ouvert selon les objectifs à atteindre, l'INCT fournit depuis quelques années, des efforts qui se sont traduits par un programme ambitieux, à travers un partenariat avec les universités et les institutions de recherche, mais aussi à travers une formation de qualité, dont ce travail fait parti. L'objectif est donc la mise en place d'un processus de généralisation cartographique, automatique et paramétrable, ainsi que son intégration dans la chaîne de production cartographique de l'INCT.

II. Objectifs

Cette étude vise la totalité d'un lot de données et non un thème spécifique. Nous nous plaçons en généralisation contextuelle : *« lorsque nous modifions un objet, c'est l'espace entier qui est impacté »* [Ruas 99]. La difficulté technique de l'automatisation du processus de généralisation vient du choix des bonnes procédures à appliquer: lesquelles ? dans quel ordre ? sur quels objets ? [Brassel & Weibel, 1988 ; Shea & McMaster, 1989 ; McMaster & Shea 1998]. Il suffit de faire quelques essais de traitements globaux pour constater une rapide dégradation de l'information due à l'hétérogénéité des formes et des configurations spatiales.

L'objectif, dans une optique de recherche et d'industrie, est de produire, à partir des données géographiques au 1/50 000, une carte au 1/200 000 par le biais du processus de généralisation contextuel, à mettre en place. Ce processus est basé sur une suite d'opérateurs (programmes) de traitement à appliquer aux objets composants la carte et ce, dans un ordre bien défini [Müller & al 93 ; Reg 98] ayant pour objectif d'offrir une meilleure généralisation et traiter tout type de conflits tout en respectant les formes, les relations, la sémantique et l'harmonie globale de l'espace géographique.

III. Processus

Un processus de généralisation vise à généraliser un objet ou un ensemble d'objets en appliquant à ces derniers un ensemble d'algorithmes de généralisation en fonction de l'ordre d'exécution, des

objectifs tracés, de la qualité du produit attendu et des valeurs (seuils) choisies par méthode empirique.

Les premiers processus de généralisation ont été définis au début des années 1990 (Monmonier, 1991; Müller & Wang, 1992 ; Schylberg, 1992 ; Tallis & Mackaness, 1996 ; Peng & al, 1995, etc.) et concernaient seulement quelques thèmes géographiques. Depuis, de nombreux processus de généralisation, plus génériques et pouvant s'appliquer à différents thèmes, ont été proposés. Ainsi, de plus en plus de méthodes automatiques sont utilisées. Nous citons les travaux de : Le Men 1996; Lemarié 2003; Lecordix et al. 1997 et 2007; Touya 2007, Revell 2004; Revell et al. 2005; Regnaud 2007; Regnaud et al. 2007,

Baella et Pla 2003, etc.

Le processus de généralisation cartographique que nous proposons est basé d'une part, sur la modélisation de la base de données d'origine (1/50 000) remodelée pour correspondre aux résultats du processus (base de données 1/200 000), et d'autre part sur le dictionnaire de données en usage à l'INCT.

« Le processus part des besoins exprimés par un utilisateur jusqu'à l'obtention des données généralisées » [Ruas 99].

Le processus de généralisation cartographique proposé, passe par trois étapes principales comme illustré dans le schéma suivant :

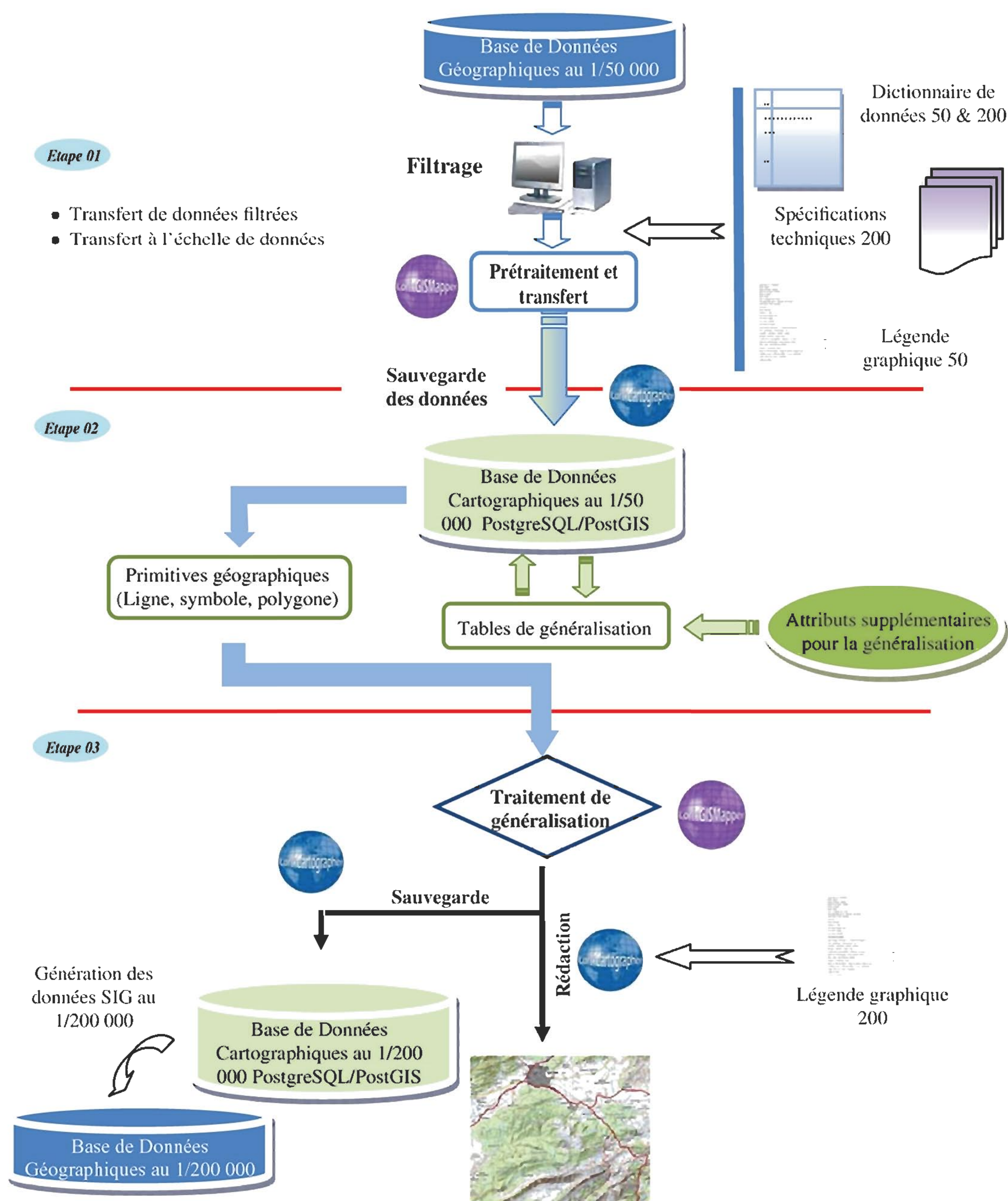


Fig. 1 le processus adopté pour la généralisation 50k – 200k

La première étape du processus consiste à récupérer les données géographiques d'un lot de données au 1/50 000 (15'x15') équivalent à une coupure au 1/200 000 (1°x1°). Ces données subiront un filtrage et des

prétraitements géométriques tels que le filtrage de points, le lissage préliminaire ou bien la connexion des segments d'une route. L'ensemble des données filtrées et prétraitées sont stockées dans une base de données PostgreSQL.

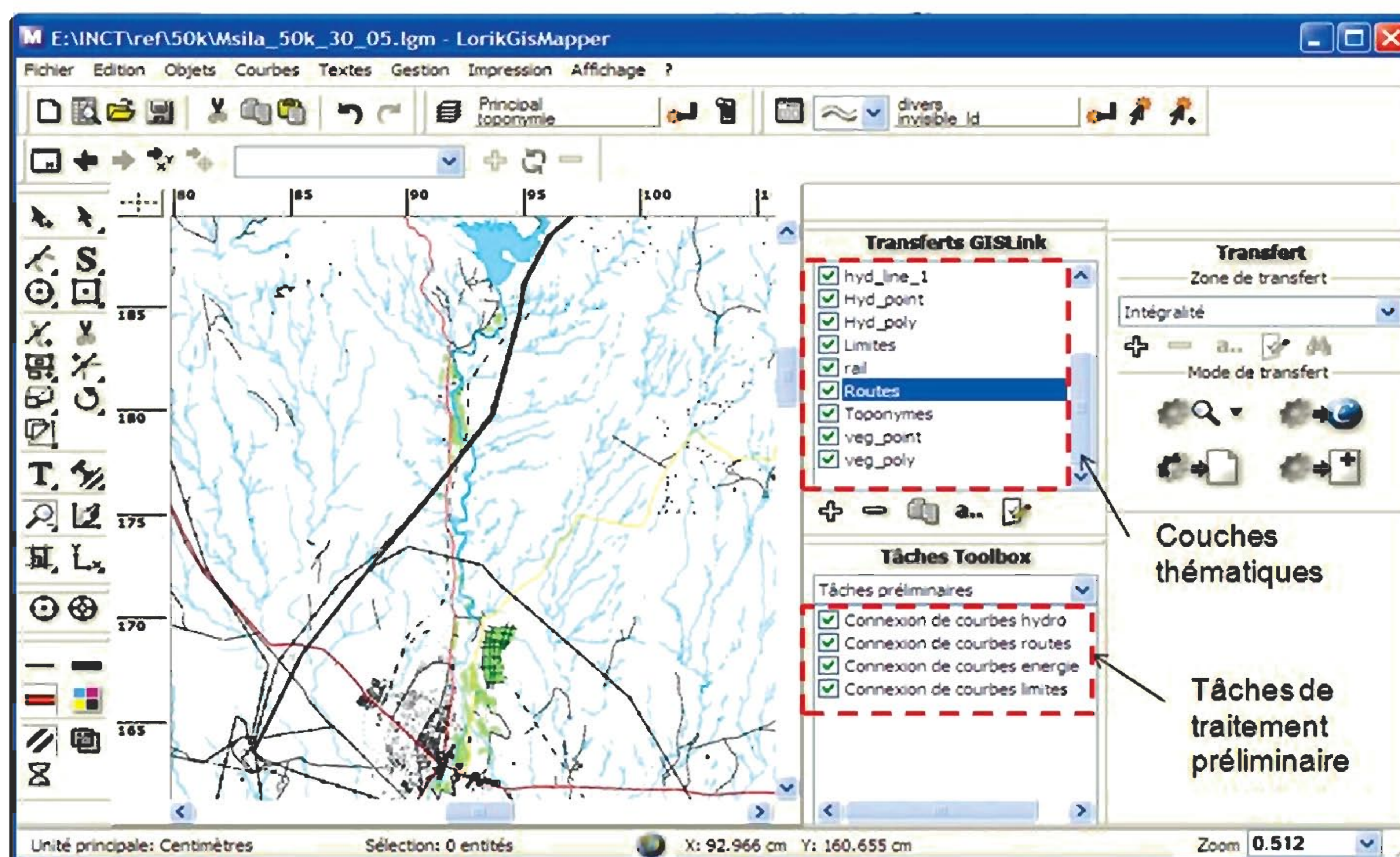


Fig. 2 Interface du transfert des données SIG au 1:50 000

La deuxième étape du processus consiste à ajouter autant d'attributs supplémentaires que nécessaires dans les tables attributaires de chaque objet soumis à la généralisation (figure 3). Ces attributs joueront le rôle de déclencheurs, sous conditions, des différents programmes de traitement de généralisation. Un tronçon de route par exemple, pourra

avoir comme attributs complémentaires, un attribut « filtrage », un attribut « lissage », un attribut « traitement de conflit », etc. Les deux tableaux ci-dessous présentent les attributs complémentaires que nous proposons pour l'enrichissement des tables attributaires relatives aux objets linéaires et surfaciques :

Tableau 1. Attributs complémentaires : cas de lignes

Attributs complémentaires			
Lignes	Filtrage	Lissage	Traitement de conflits
	Conservation Suppression	Point proche Douglas_peucker Gaussien	Faille max (auto conflit, empâtement de virage isolé) Faille min (empâtement de virage non isolé) Déplacement avec priorité (inter conflit, intra conflit) Accordéon (empâtement de série de virages)

Attribut « filtrage » : un tronçon de ligne est conservé ou supprimé (dimension, importance)

Attribut « Lissage » : un tronçon de ligne est lissé par l'un des trois (03) algorithmes (le choix du traitement dépend de l'objectif et la qualité souhaités)

Attribut « traitement de conflits » : un tronçon de ligne peut subir, selon le cas, l'un des quatre (04) traitements.

Tableau 2. Attributs complémentaires : cas de polygones

Attributs complémentaires			
Polygones	Filtrage	Lissage	Traitement de conflits
	Conservation Suppression	Lissage des décrochements	Déplacement avec priorité Amplification Agrégation

Attribut « *filtrage* » : un polygone est conservé ou supprimé (dimension, importance)

Attribut « *Lissage* » : les petits décrochements d'un polygone peuvent être lissés en définissant un seuil

du rapport longueur/largeur

Attribut « *traitement de conflits* » : un polygone peut subir, selon le cas, l'un des trois (03) traitements.

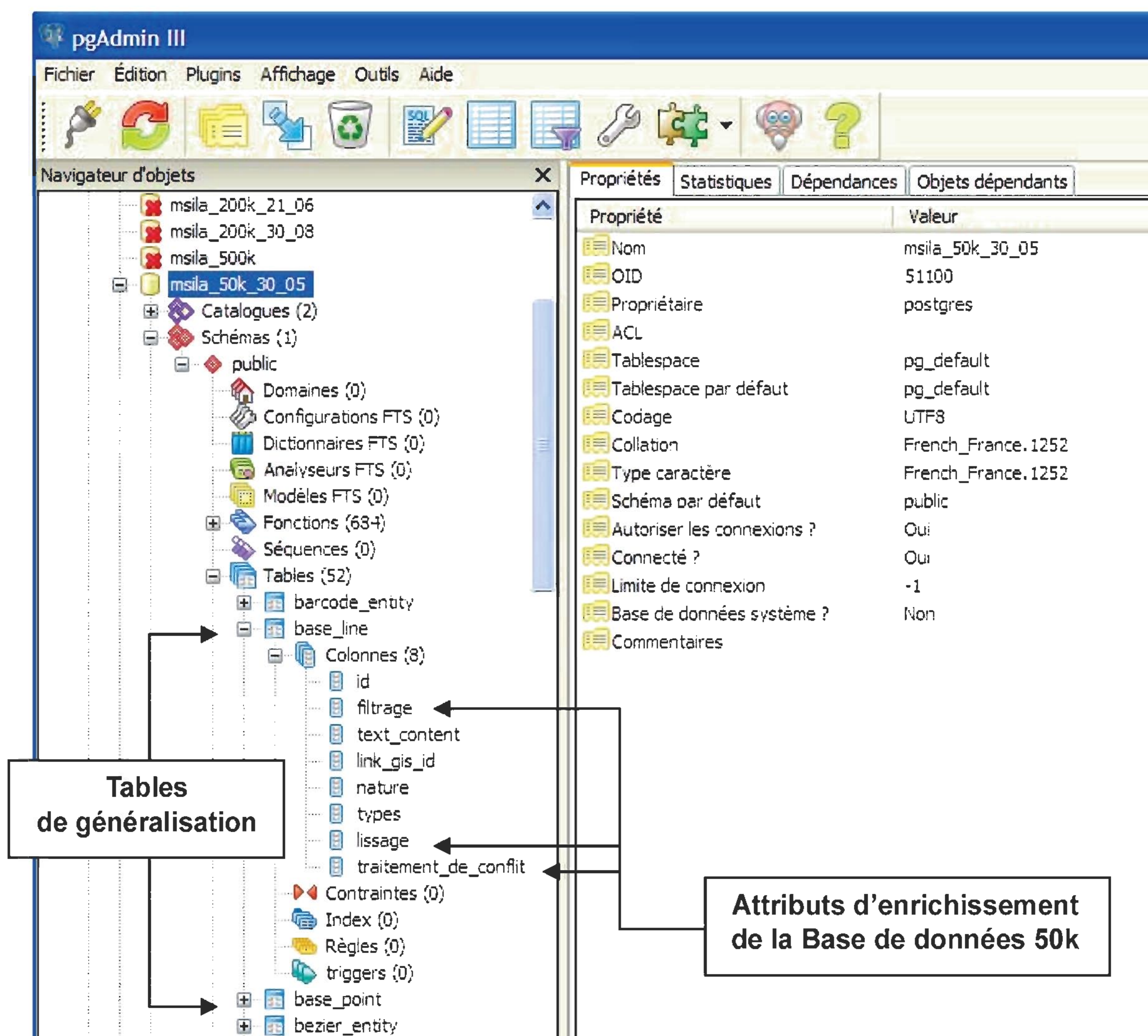


Fig. 3 ajout d'attributs complémentaires dans les tables de la base PostGres

Opérateurs (programmes) de généralisation :

Dans ce contexte, il est indispensable de prévoir tous les cas de figure de conflits pouvant être rencontrés lors de l'opération de généralisation, et proposer pour chaque cas, un ou plusieurs traitements comme valeurs d'attributs complémentaires (dont le paramétrage de chaque programme dépend de l'usage, la précision et l'échelle de représentation) à

appliquer simultanément afin d'avoir un meilleur résultat tout en préservant la qualité, l'exhaustivité et l'harmonie globale de la carte.

Les valeurs correspondant à chaque attribut complémentaire sont les opérateurs (figure 4) à appliquer aux objets soumis à la généralisation. Le système déclenche ainsi automatiquement le traitement correspondant à chaque valeur d'attribut.

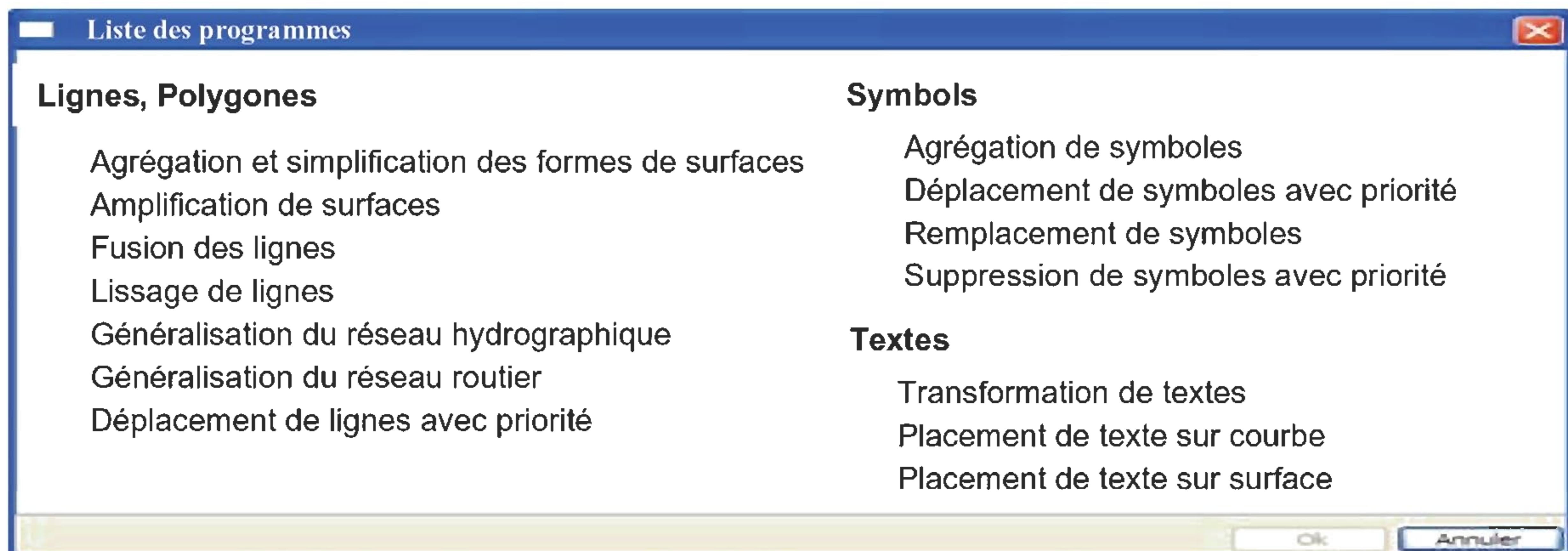


Fig. 4 programmes de généralisation dans le processus adopté

Conflits : sont présents ci-dessous, quelques exemples de conflits rencontrés lors du changement de l'échelle de représentation :

1. Superposition (chevauchement) de deux objets linéaires de nature différente

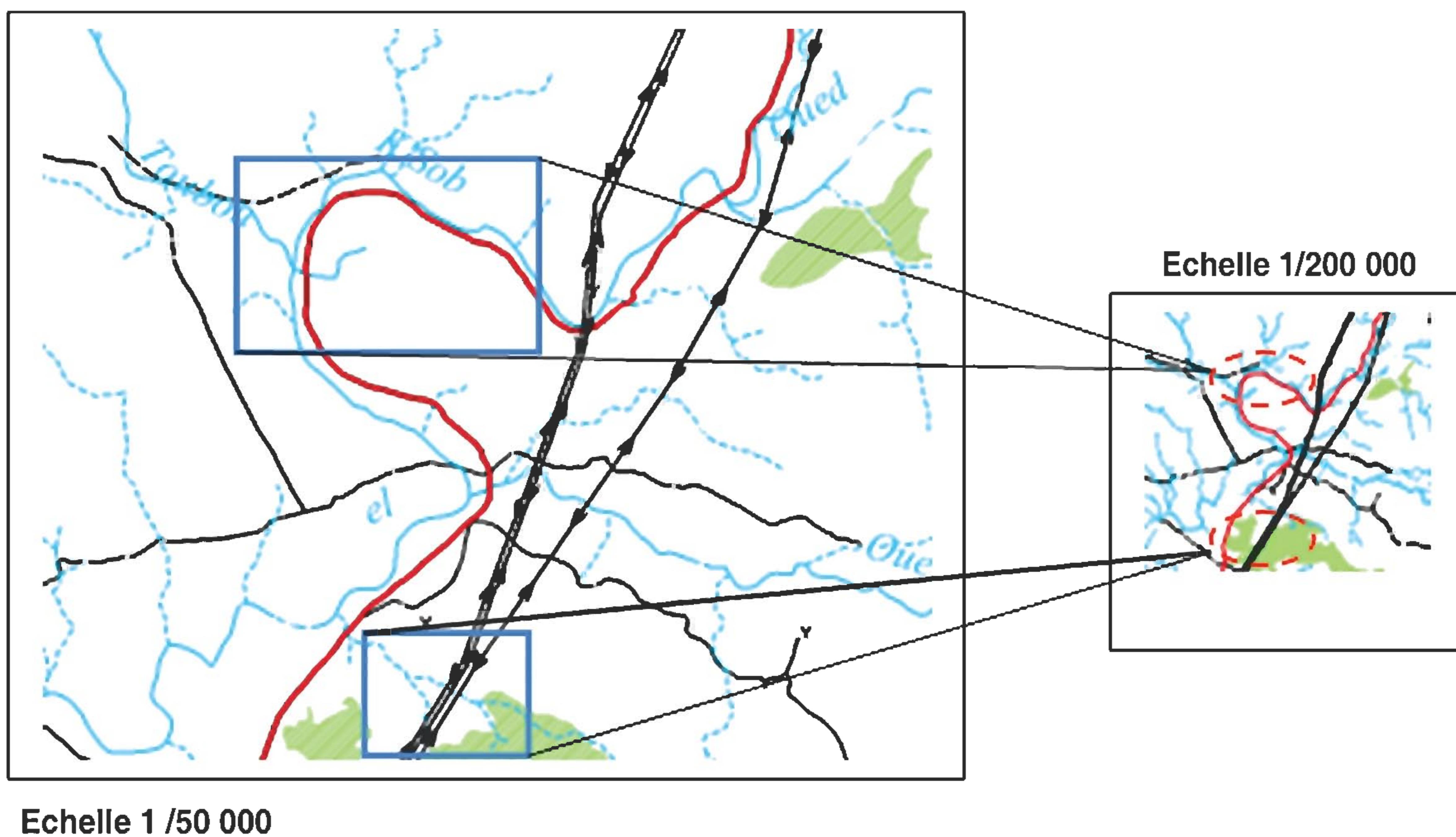


Fig. 5 Non séparation des objets très proches

Dans cette figure, deux conflits sont identifiés. Le premier se traduit par une difficulté de distinction entre la route et le cours d'eau, du fait que la distance qui les séparent est au dessous du seuil de visibilité. Ce même seuil rend impossible de savoir, pour le deuxième conflit, s'il s'agit bien de plusieurs lignes électriques ou d'une seule. Un traitement de déplacement de la route pour le premier cas, et une fusion des lignes pour le deuxième cas, auront à supprimer ces conflits.

2. Forte densité de constructions au niveau d'une agglomération

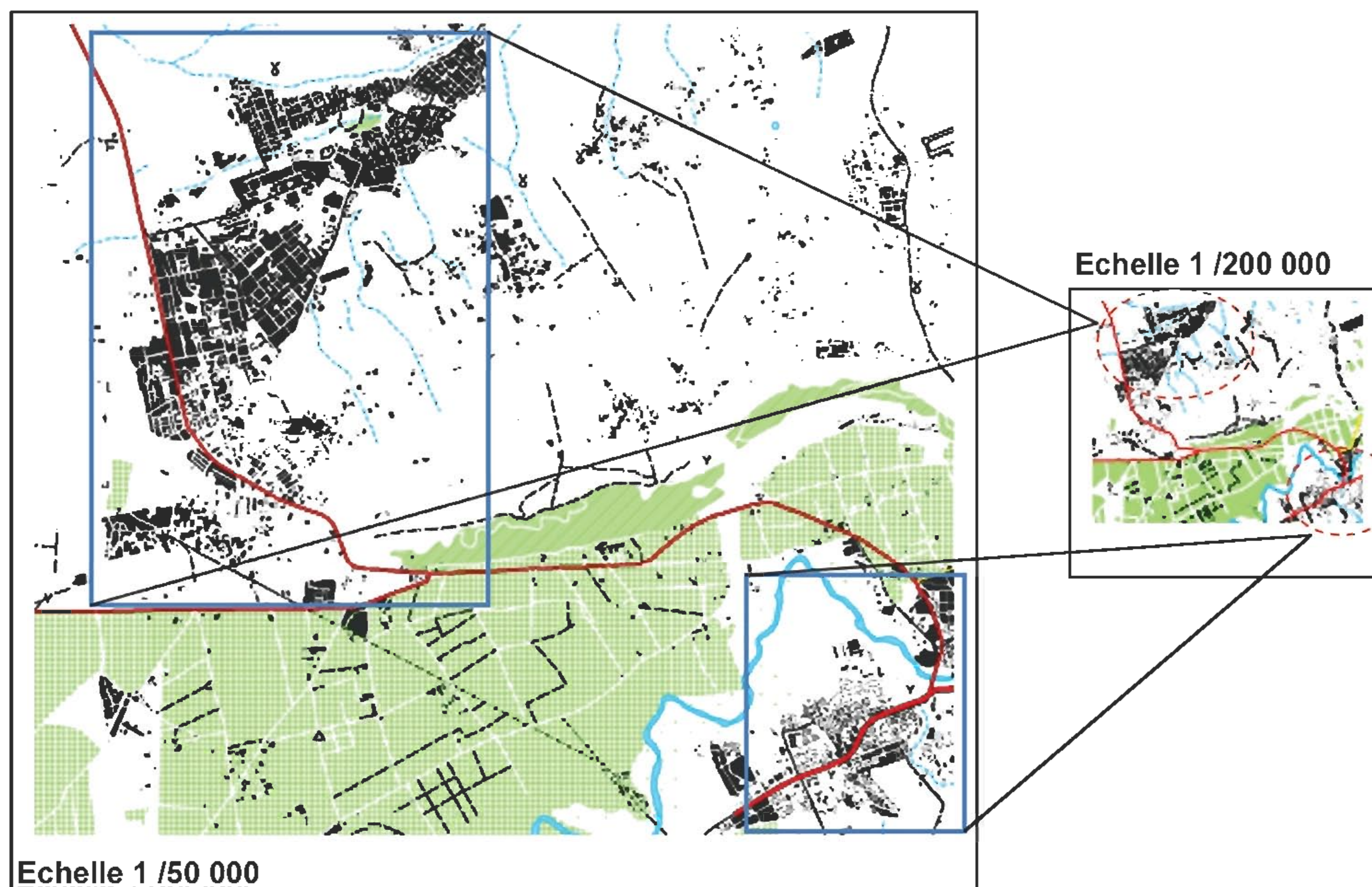


Fig. 6 Forte densité au niveau des agglomérations

Les agglomérations représentées à l'échelle 1/200 000 présentent un conflit de non perception et de non distinction entre constructions, du à la forte densité de ces dernières. Le dit conflit ne se manifeste pas à l'échelle 1/50 000 puisque les objets ont été restitués à cette échelle de représentation. Pour y remédier, un traitement d'agrégation des constructions doit être appliqué.

3. Empâtement d'un virage isolé

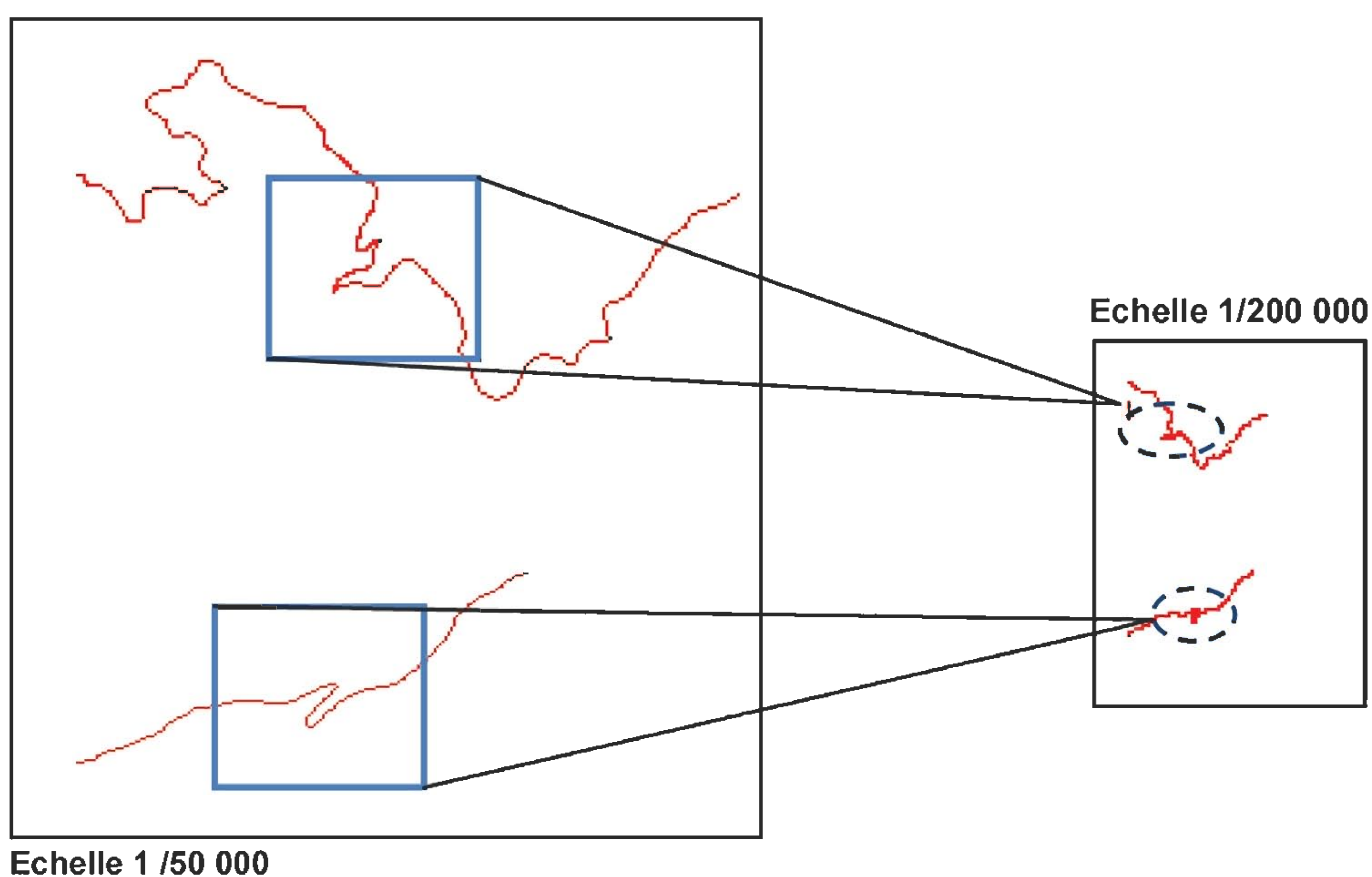


Fig. 7 Empâtement d'un virage isolé

Dans ces deux exemples (figure 7), nous remarquons clairement que la forme du virage isolé n'est pas identifiable dans la représentation au 1/200 000, contrairement à son allure à l'échelle 1/50 000. La solution serait d'écarter ces virages tout en préservant la forme globale de la route.

4. Empâtement d'une série de virages

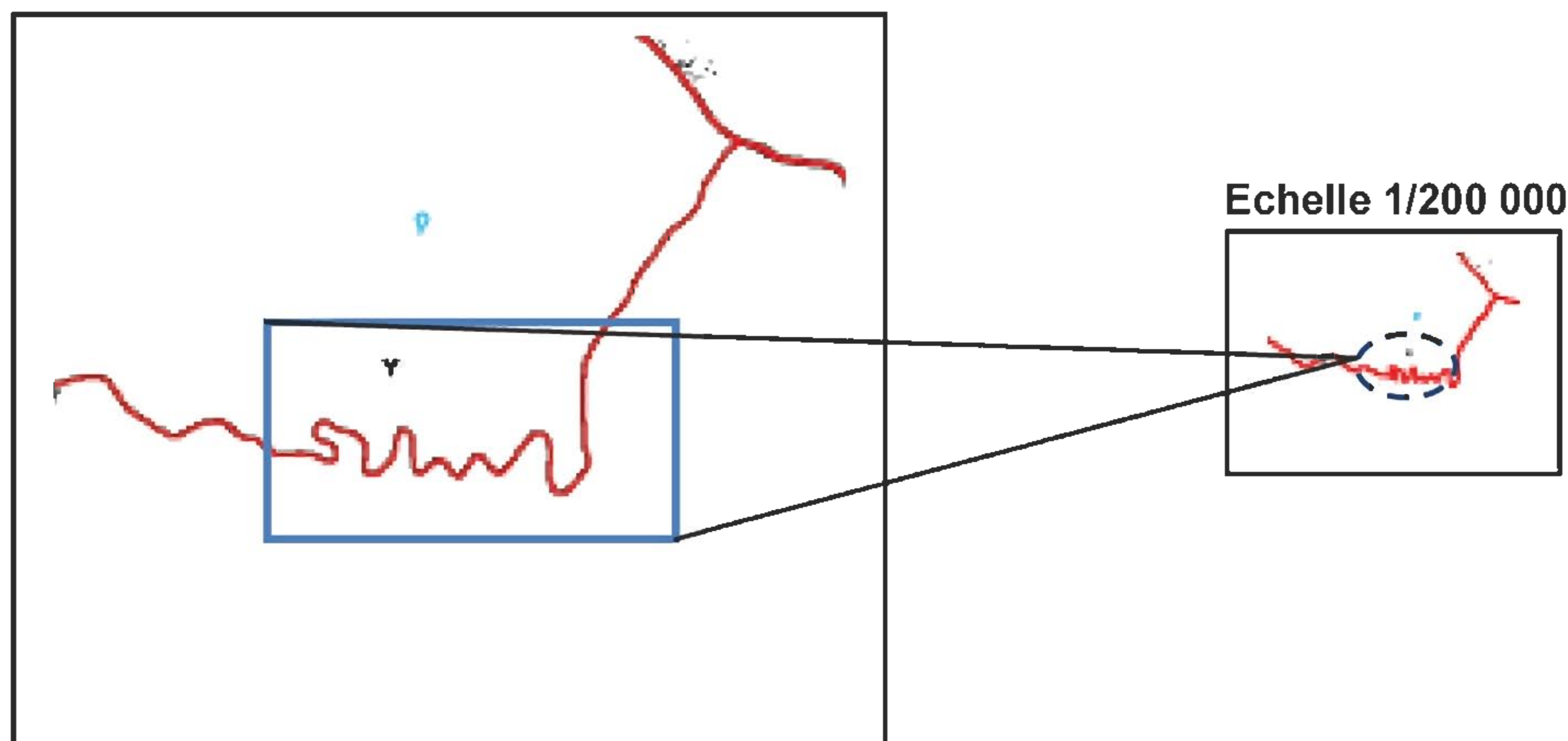


Fig. 8 Empâtement d'une série de virages

La forme de la série de virages (figure 8) n'est pas lisible dans la représentation au 1/200 000, contrairement à son allure à l'échelle 1/50 000.

Traitement de conflits :

Les opérateurs (programmes) de traitement et de généralisation permettront de traiter tout type de conflit se manifestant lors du changement de l'échelle de représentation. Le processus consiste à enchaîner ces opérateurs dans un ordre bien défini selon un modèle statique [Müller & Wang 91 ; Reg 98] et avec un paramétrage spécifique au besoin escompté (zone du nord, zone du sud, l'usage du produit,...).

« La présence de conflits cartographiques constitue des conditions qui doivent déclencher un traitement de généralisation. Ces conflits doivent pouvoir être détectés grâce à des mesures. Pour savoir quel algorithme est alors approprié pour résoudre un conflit donné et avec quelles valeurs paramétriques, il faut avoir préalablement étudié les algorithmes dont on dispose pour connaître leurs conditions d'application : "Once candidate algorithms exist, they should be assessed in terms of their applicability to specific generalization requirements" [Shea et McMaster 1989, p.61]. » [Duchene, 2004 p30].

Un enchaînement d'opérateurs :

« Des tests d'utilisation des algorithmes existants montrent la nécessité d'enchaîner de nombreux algorithmes pour réaliser une généralisation satisfaisante » [Ruas, 98b ; Regnaud, Edwardes et Barrault 99 ; Mustière 2001].

Un ordre d'exécution :

« L'approche par séquence prédéfinie systématique consiste à prédéfinir des séquences figées d'algorithmes à déclencher pour chaque classe d'objets. Les algorithmes sont ensuite appliqués automatiquement les uns après les autres aux objets de chaque classe. Dans cette approche, les algorithmes appliqués prennent en compte uniquement le type des objets et éventuellement certaines de leurs valeurs attributaires. » [Mustière 2001].

[Regnaud, 98] propose le séquençage suivant, qui s'applique au bâti :

- déplacement (par rapport au routier)
- sélection et dilatation
- simplification des contours
- fusion du bâti
- nouvelle simplification de contours

..... Et à l'INCT

Une liste d'opérateurs de généralisation est définie dans le processus. Ce dernier repose sur un séquençage prédéfini, et peut enchaîner à la fois plusieurs traitements qui s'appliquent à un ou plusieurs objets.

Pour le linéaire :

- filtrage : préservation ou suppression d'objets par nature/dimensions) ;
- lissage : suppression de points pour alléger la ligne provenant de la restitution ; suppression de points par comparaison (point_proche) ; Douglas & Peuker;
- déplacement avec priorité – triangulation de Delaunay ;
- fusion de lignes proches, de même nature (remplacement par une ligne médiane) ;
- écartement de virages isolés (solution hybride) ;

Pour le surfacique :

- filtrage : préservation ou suppression d'objets par nature/dimensions) ;
- déplacement du bâti (sur le linéaire) – triangulation de Delaunay ;
- agrégation par remplissage – triangulation de Delaunay ;
- lissage : simplification de contours (solution hybride);
- lissage : suppression des pics ;
- amplification de surfaces isolées, au dessous de la perception (buffer).

Pour le ponctuel :

- filtrage : préservation ou suppression d'objets par nature ;
- déplacement avec priorité - triangulation de Delaunay ;
- agrégation par déplacement/remplacement ;

Un paramétrage spécifique :

La méthode empirique que nous avons adoptée dans nos travaux montre la dépendance du choix des valeurs (seuils) utilisées, aux besoins cartographiques et aux objectifs à atteindre par le processus mis en place. En effet, le producteur de la carte en sa qualité de cartographe, peut juger le résultat de sa généralisation par rapport à ses attentes, et peut s'exprimer sur les limites de cette dernière.

En allant de ce principe, et suite à une série de tests de généralisation d'un espace géographique entier, les seuils de nos traitement ont été fixés et ce, toujours par rapport à nos attentes et nos besoins d'ordre cartographique.

Exemple d'opérateurs paramétrables :

L'ensemble des programmes (opérateurs) de généralisation intégrés dans notre processus, ont été définis sur la base des algorithmes connus dans l'univers de la généralisation. Adaptés aux besoins de la production cartographiques et enrichis par des solutions spécifiques, ces algorithmes ont été codés en langage informatique C++, en partenariat avec la société Lorienne-France, développeur de solutions cartographiques. Nous présentons, dans ce qui suit, quelques exemples de ces opérateurs :

Agrégation de surfaces (conflit de forte densité) :

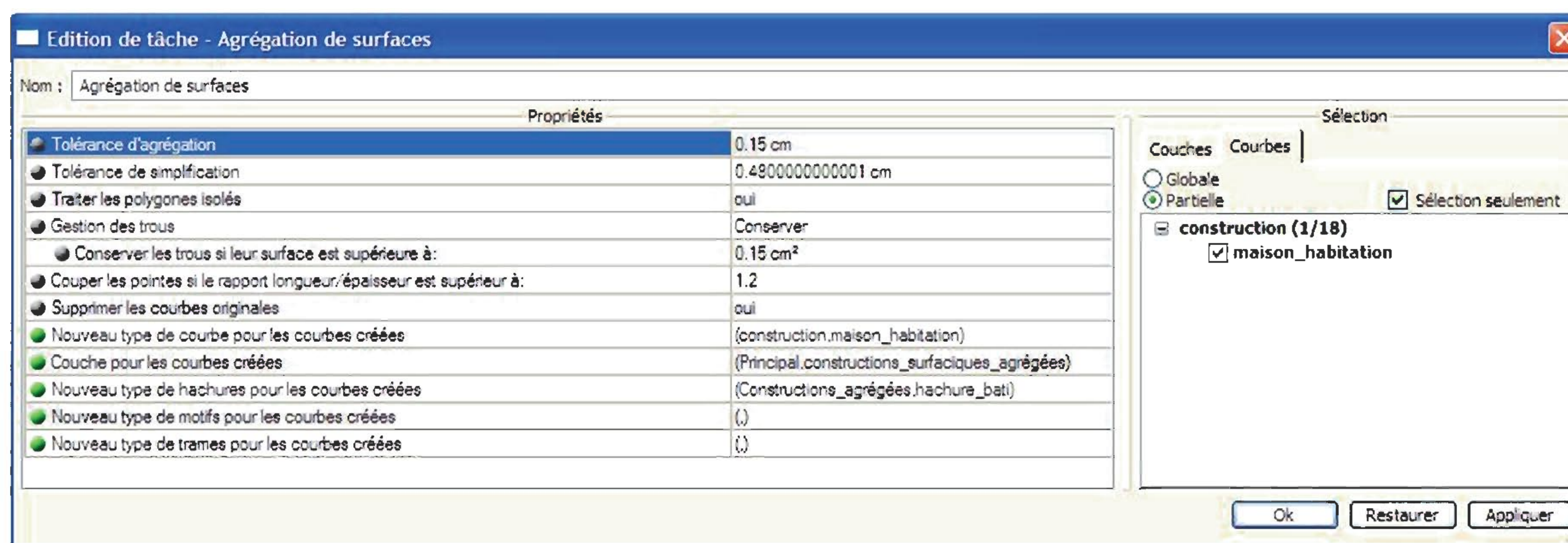


Fig. 9 interface de paramétrage de l'opérateur « Agrégation de surface »

Tolérance d'agrégation : Valeur qui définit la tolérance de recherche pour déterminer quels polygones doivent être agrégés (ceux qui sont éloignés d'une valeur de distance au dessous de la tolérance) ;

Tolérance de simplification : Valeur qui définit la tolérance de simplification sur les polygones

résultants (cette tolérance est comparée à un rapport $R = [Distance\ A-O + Distance\ O-B] / Distance\ A-B$ (*). ce traitement se déclenche si R est supérieur à la tolérance) ;

(*) : A : premier point du tronçon ; B : deuxième point du tronçon ; O : point le plus haut par rapport à la base A-B.

Traitement des polygones isolés : Comportement des polygones isolés, c'est-à-dire les polygones qui ne seront pas agrégés (éloignés d'une valeur de distance supérieur à la tolérance d'agrégation):

- oui: les paramètres s'appliqueront aux polygones isolés.
- non: aucune modification ne sera apportée aux polygones isolés.

Un polygone est considéré isolé s'il n'est pas agrégé avec d'autres.

Gestion des trous : Comportement eu égard aux trous:

- **ignorer:** les trous sont ignorés et ne seront donc pas récupérés ;
- **conserver:** les trous sont récupérés et conservés si leur surface est supérieure à la valeur définie dans le paramètre "Conserver les trous si leur surface est supérieure à: ".

Couper les pointes si le rapport longueur/épaisseur est supérieur à: Les pointes seront coupées si le rapport entre la longueur de la pointe et son épaisseur est supérieur à la valeur renseignée.

Agrégation de points (conflit de forte densité) :

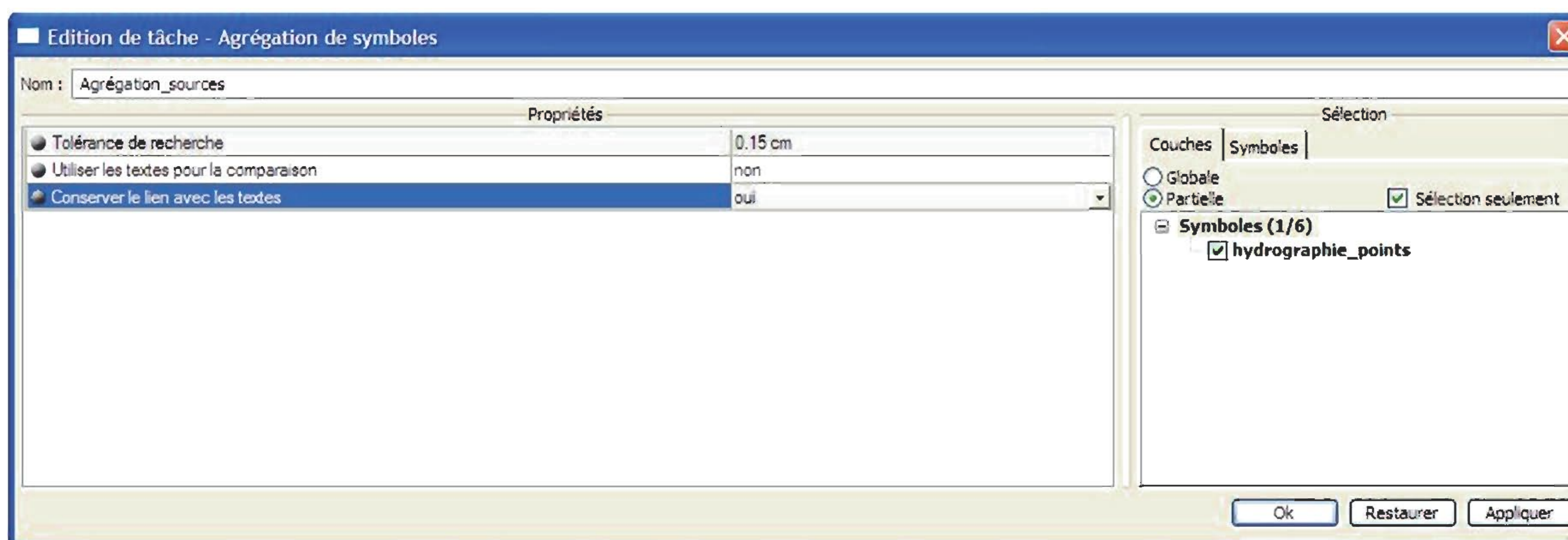


Fig. 10 interface de paramétrage de l'opérateur « Agrégation d'objets ponctuels »

Tolérance de recherche : Quand deux ou plusieurs symboles identiques sont placés à une distance inférieure à cette valeur, ces symboles sont agrégés et donc remplacés par un seul. La tolérance de recherche est calculée à partir du point d'insertion du symbole.

Utilisation des textes pour la comparaison : Si ce paramètre est fixé à "oui", c'est la valeur du texte associé à chaque symbole qui déterminera si les symboles doivent être agrégés ou non: si les textes sont différents, les symboles, même contenus dans la tolérance, ne sont pas agrégés.

Si ce paramètre est fixé à "non", les symboles sont agrégés dans tous les cas, dès lors qu'ils sont contenus dans la tolérance.

Conservation du lien avec les textes : Si ce paramètre est fixé à "oui", les textes identiques seront remplacés par un seul. Si ce paramètre est fixé à "non", les textes existants conservent leur position initiale.

Fusion des lignes très proches (conflit de non séparation) :

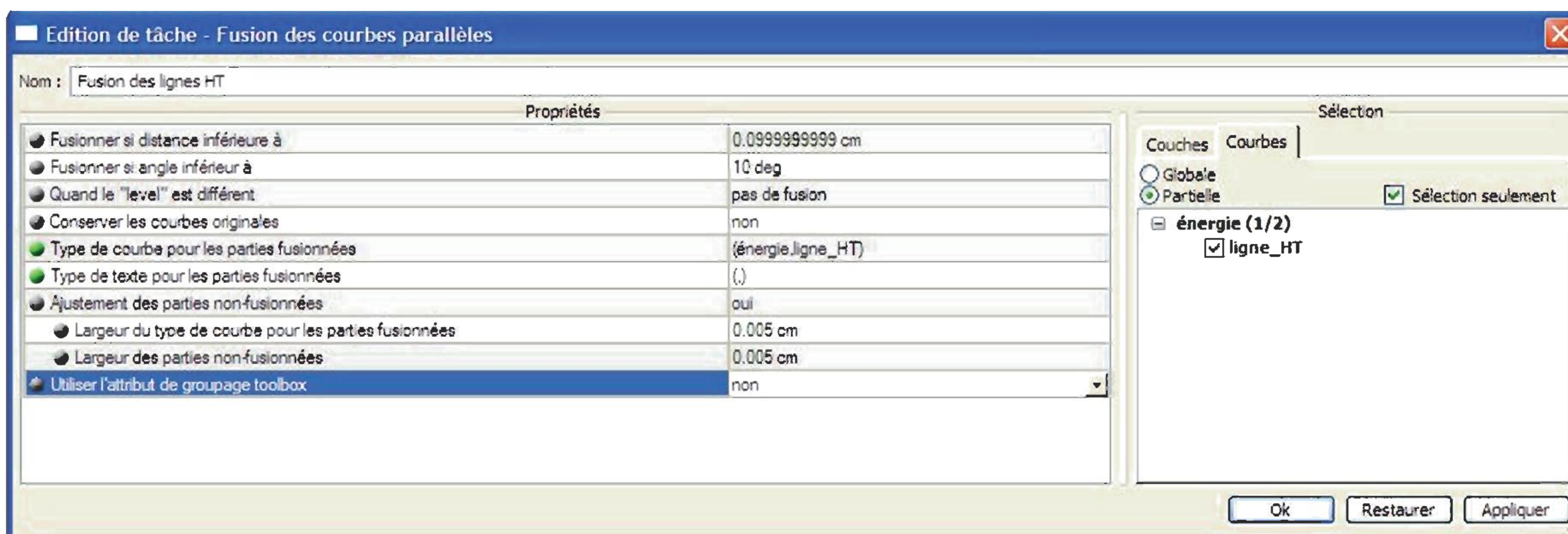


Fig. 11 interface de paramétrage de l'opérateur « Fusion des lignes parallèles »

Fusionner si distance inférieure à : Distance maximum pour considérer deux lignes parallèles comme devant donner naissance à une courbe moyenne.

Fusionner si angle inférieure à : Angle limite pour

considérer deux segments comme non parallèles. Au-delà de cet angle, les lignes ne pourront pas être réunies pour la portion correspondante.

Amplification de surfaces (petites surfaces) :

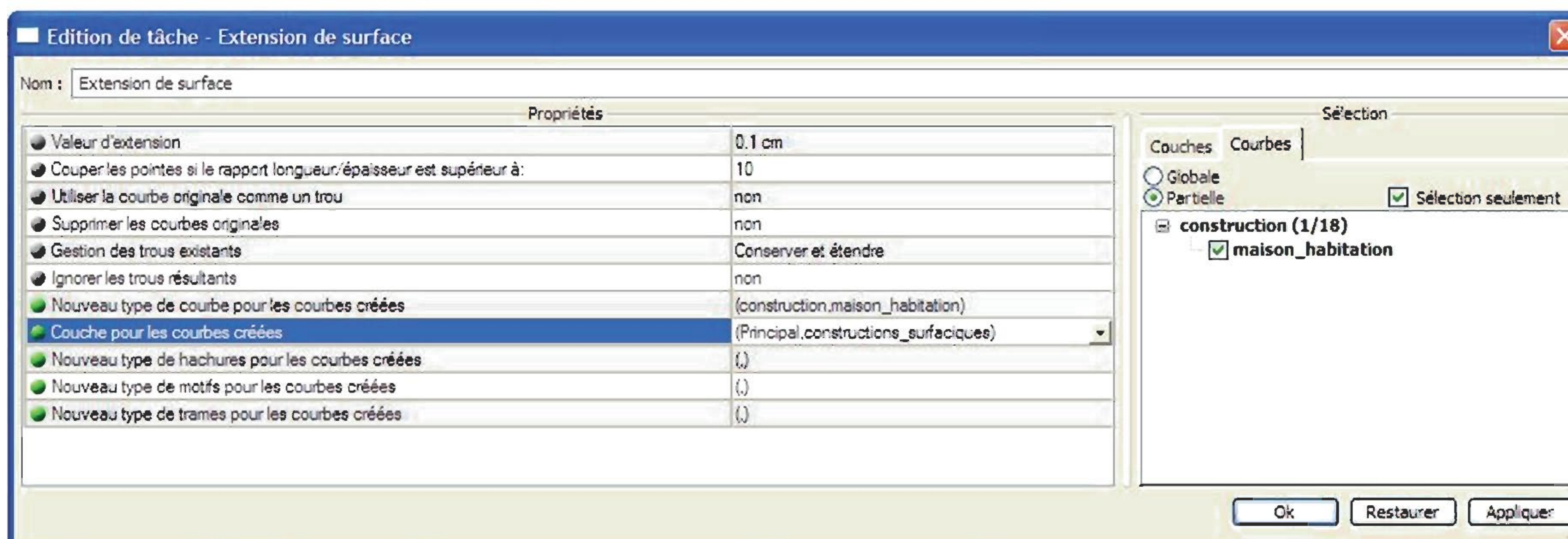


Fig. 12 interface de paramétrage de l'opérateur « Amplification de surfaces »

Valeur d'extension : Valeur qui définit la largeur du buffer à l'extérieur de la surface originale.

Couper les pointes si le rapport longueur/épaisseur est supérieur à : Les pointes seront

coupées si le rapport entre la longueur de la pointe et son épaisseur est supérieur à la valeur renseignée.

Lissage de lignes (élimination des sinuosités) :

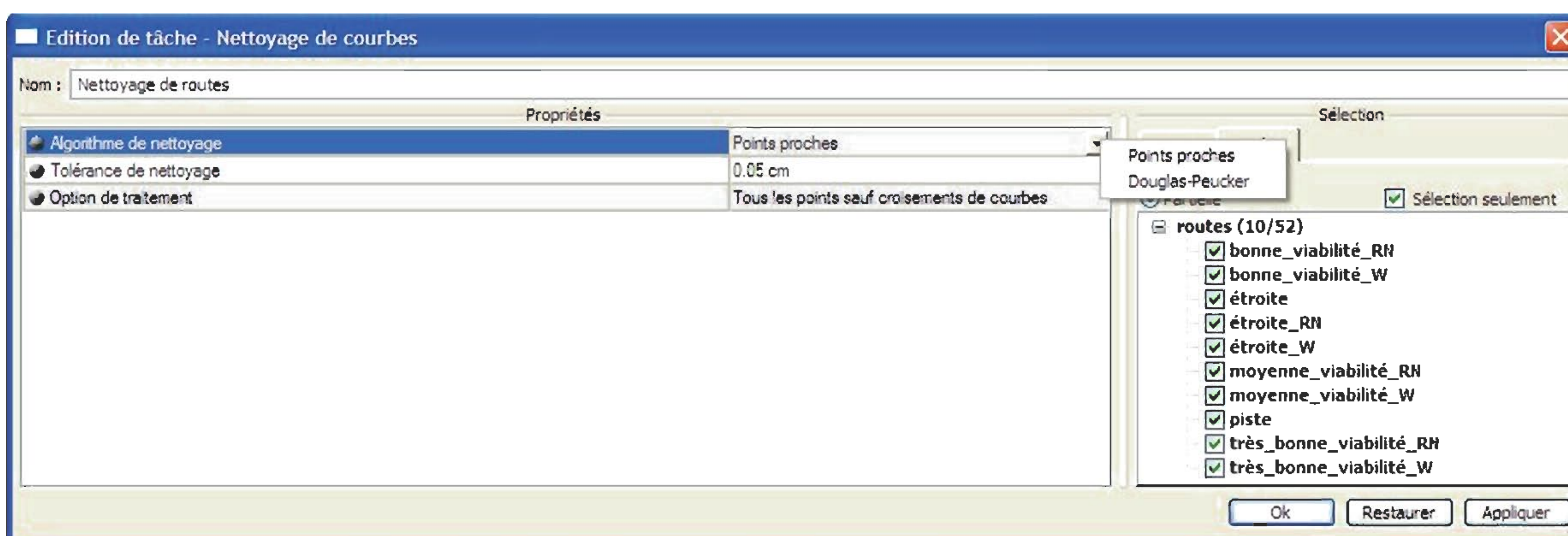


Fig. 13 interface de paramétrage de l'opérateur « Lissage des lignes »

Tolérance de nettoyage (lissage) : Ce paramètre a une notion différente en fonction de l'algorithme choisi.

Option de traitement : Permet de définir des exceptions pour la suppression des points :

- Tous les points : il n'y a pas d'exception.
- Tous les points sauf croisement de courbes : les points reconnus comme connectés, c'est-à-dire formant un croisement, ne seront pas supprimés.

- Tous les points sauf angles aigus : si l'angle est supérieur à celui défini par "Valeur mini pour les angles aigus" le point n'est pas supprimé.

Opérateurs - Résultats de traitement :

Sont classées ci-dessous, les opérateurs de généralisation (voir 3^{ème} étape-Traitement de conflits) par ordre d'exécution dans le processus.

<p>Filtrage du linéaire et connexion de tronçons du linéaire Lissage du linéaire Déplacement du linéaire avec priorité Fusion de lignes proches (ou parallèles) Ecartement de virages isolés et séries de virages</p>
<p>Déplacement du bâti (sur le linéaire) Agrégation du bâti par remplissage (englobe le lissage de contours et la suppression des pics) Amplification (buffers) ou remplacement de surfaces isolées par des symboles ponctuels</p>
<p>Déplacement du ponctuel avec priorité Agrégation du ponctuel par déplacement Suppression du ponctuel avec priorité</p>
<p>Placement du texte (sur courbe, à plat, sur surfaces)</p>



Les conflits ainsi que les résultats du séquençage ci-dessus, sont présentés dans les figures 14 et 15.

Résultats de traitements :

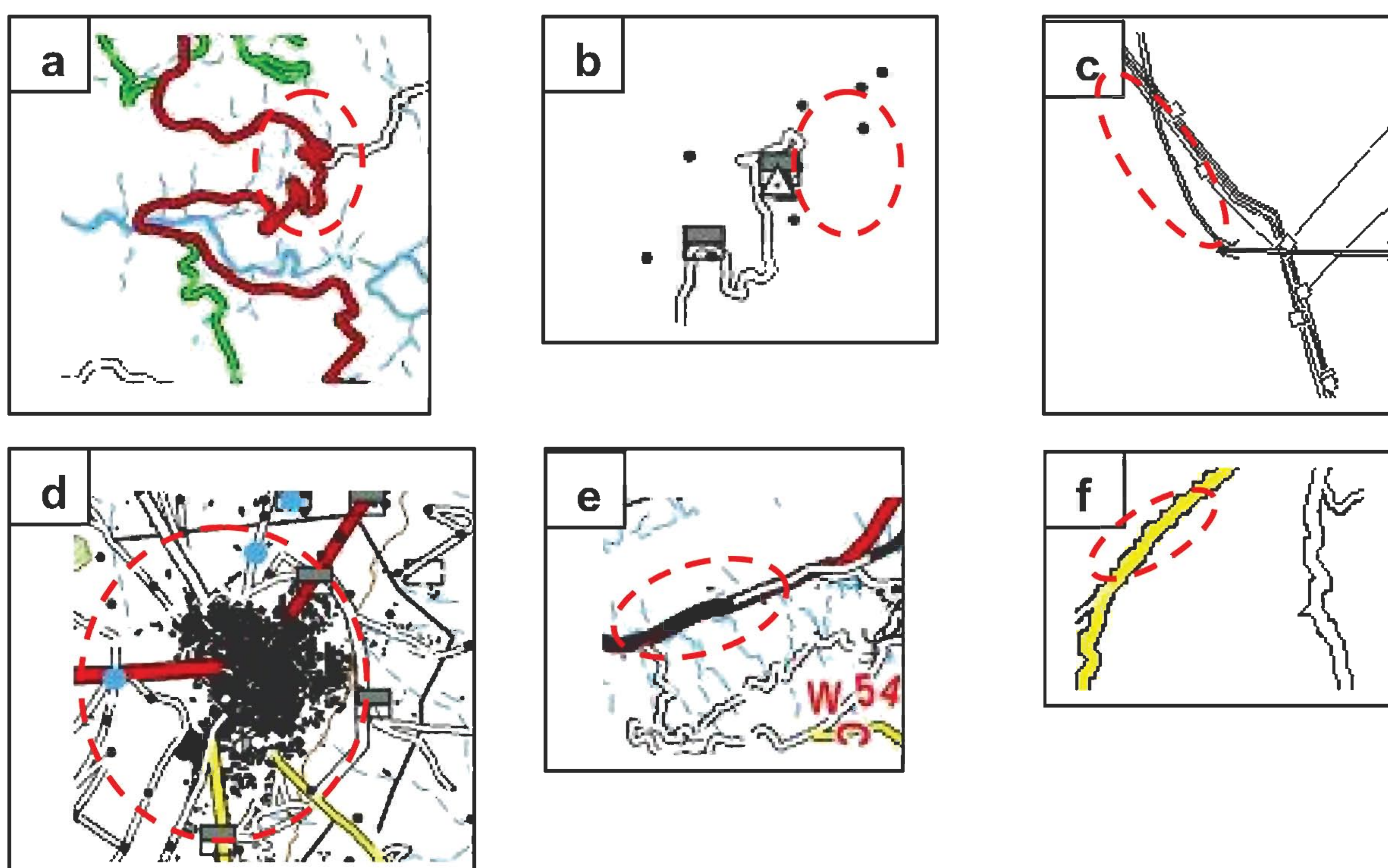


Fig. 14 quelques extraits de carte au 1 :200 000, avant généralisation
 (a) : empâtement de virages ; (b) : superposition d'objets ponctuels de nature différente
 (c) : non séparation entre lignes ; (d) : forte densité de bâti
 (e) : superposition d'objets linéaires de nature différente ; (f) : lignes sinucuses

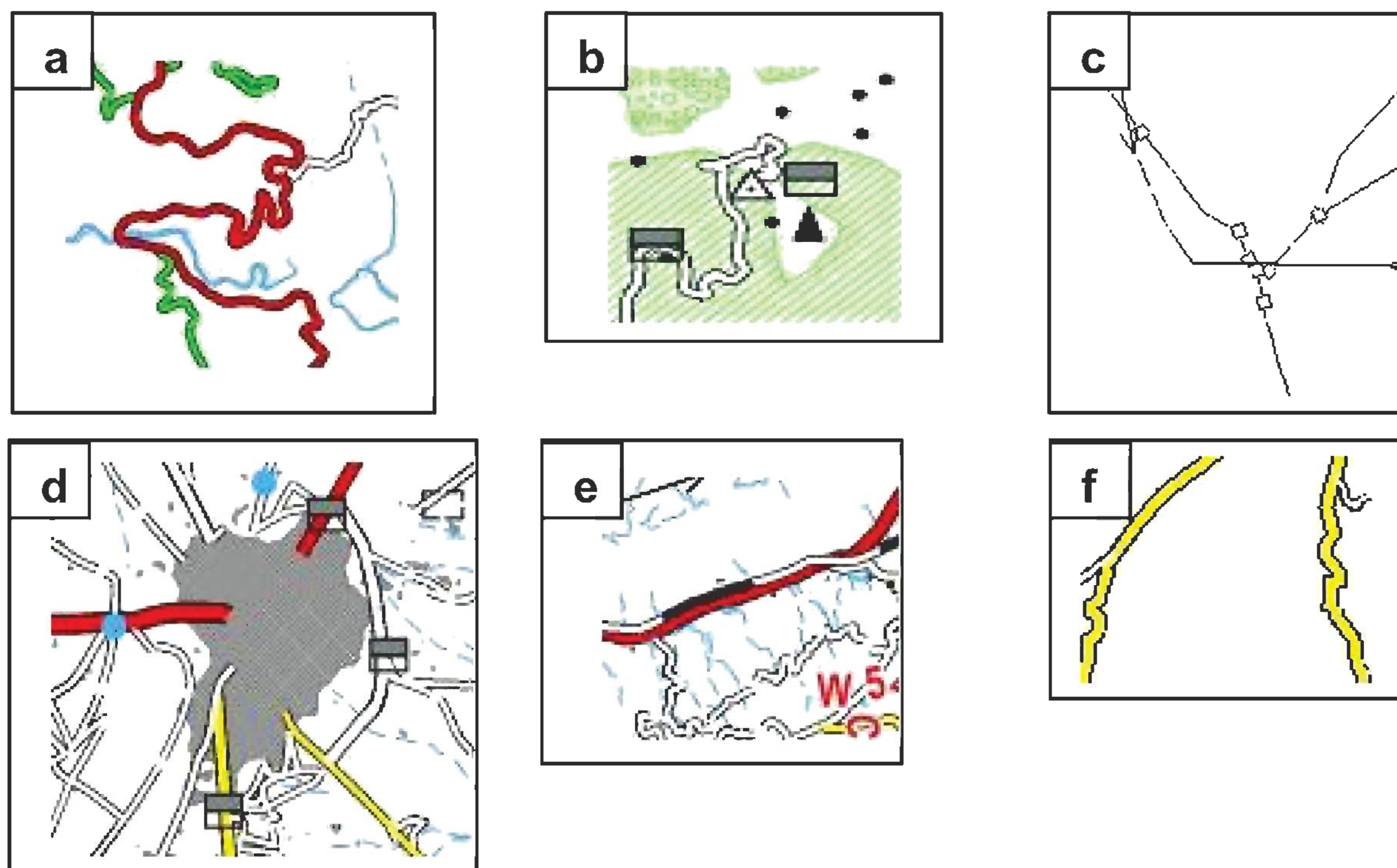


Fig. 15 quelques extraits de carte au 1 :200 000, après généralisation

- (a) : Ecartement de virages isolés (solution basée sur un traitement par triangles) ;
- (b) : Déplacement de symboles ponctuels avec priorité (triangulation de Delaunay) ;
- (c) : Fusion des lignes électriques HT (création de lignes médianes) ;
- (d) : Agrégation de bâti (triangulation de Delaunay – agrégation par remplissage) ;
- (e) : Déplacement du linéaire avec priorité (triangulation de Delaunay) ;
- (f) : Lissage du linéaire (point_proche).

Evaluation des résultats :

« La difficulté de l'automatisation de la généralisation n'est pas uniquement dans la conception d'algorithmes de transformation, mais dans l'analyse et l'information des critères qui permettent de comprendre et d'identifier la valeur informative des objets » [Ruas 2002].

Selon [BARD 2004] : « Une bonne généralisation est une généralisation de qualité ». Cette définition nous amène à définir, pour mieux comprendre, « la qualité ».

[ISO 94] la définit comme « l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites ». A partir de là, il est indispensable d'arrêter les spécifications (document qui prescrit les exigences auxquelles le produit doit se conformer) et d'évaluer, par la suite, la conformité du produit à sa spécification».

Parmi les approches on notera celles qui reposent sur les principes du contrôle qualité comme les travaux d'Ehrlholzer (1995) ou d'Harrie (2001). Cependant, et loin de ces approches d'évaluations quantitatives - qui, dans l'ensemble, s'articulent sur le choix d'un

degré de violation des contraintes, jouant le rôle de déclencheur d'une alerte de mauvaise qualité de généralisation, - nous avons opté pour évaluer les résultats de notre généralisation, selon la démarche suivante :

- un contrôle visuel : le cartographe évalue visuellement le résultat en le comparant à l'état initial (données au 1/50 000) et ce, afin de procéder à un contrôle quantitatif ;
- un contrôle basé sur les données de référence : les spécifications techniques de l'échelle de destination (après généralisation), les contraintes de visibilité et de préservation, et les seuils de validation ou de rejet.

IV. Conclusion et perspectives

Cette étude a porté sur le principe de généralisation contextuelle des objets traités. Nous avons constaté que l'utilisation de plusieurs opérateurs de généralisation dans un seul algorithme renforce l'efficacité d'une généralisation cartographique. Néanmoins, cette pluralité n'est pas suffisante car l'ordre d'exécution de ces opérateurs influe directement sur les résultats de traitement.

Les tests ont démontré qu'il était essentiel de pouvoir réordonner les opérateurs, les traitements à appliquer étant fonction : du relief, de la distribution spatiale, des objets géographiques et des objectifs du traitement.

Le processus que nous avons mis en place permet à tout moment au cartographe, de réordonner les traitements et de modifier le paramétrage de chacun d'eux (système ouvert).

Nous avons apporté une pièce nécessaire à la constitution d'un système de généralisation cartographique opérationnel et facilement intégrable dans le processus de production cartographique de l'INCT, bien qu'il ne résolve qu'une petite partie des problèmes soulevés dans le domaine de la généralisation dans son ensemble.

Nous suggérons comme perspectives les points suivants :

1. d'autres extensions sont possibles et d'autres conflits seront étudiés ;
2. les limites de généralisation utilisées ne sont pas forcément les limites réelles du producteur de la carte (par rapport aux résultats présentés). En effet, l'ensemble des contraintes, des conditions et des seuils de traitement utilisés dans ce travail, ont été définis par méthode empirique pour tester le processus. Les limites finaux seront fixés en collaboration avec les experts cartographes de l'INCT ;
3. le processus mis en place peut être adapté à une généralisation 200k – 500k ou autre.

L'automatisation de la généralisation cartographique reste un des principaux défis en recherche dans le domaine de la cartographie automatique. Cette étude montre la difficulté de son automatisation, du fait qu'il est difficile d'imiter une démarche parfois subjective et intuitive. Ceci explique pourquoi de nos jours, aucun logiciel SIG n'a réussi à traiter efficacement l'ensemble des problèmes de généralisation.

Références bibliographiques

Bard S., 2004 : Méthode d'évaluation de la qualité de données géographiques généralisées : Application aux données urbaines

Duchêne C., 2001 : Road generalisation using agents, in Proceedings of the 9th GIS/UK Conference, Glamorgan (Pays de Galles), laboratoire COGIT, IGN-SR 01-001/S-COM-CD, 2001.

Duchêne C., 2004 : Généralisation cartographique par agents communicants : le modèle CartaCom.

Thèse de doctorat, Paris 2004.

Fritsch, 1997 E.: Représentations de la géométrie et des contraintes cartographiques pour la généralisation du linéaire routier, thèse de Doctorat de l'Université de Marne-la-Vallée, spécialité : Sciences de l'Information Géographique, soutenue le 12 décembre 1997, laboratoire COGIT, IGN-SR 970008/S-THE, 1997.
http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/FRITSCH/These_Fritsch_1997.zip

Gaffuri J. 2008 : Généralisation automatique à base d'opérations discrètes et continues pour la prise en compte des thèmes champ : le modèle GAEL, Thèse de l'université Paris Est. Disponible sur le site web de l'IGN :
http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/GAFFURI/these_gaffuri.pdf

Hamini N. 2008 : Résolution des conflits cartographiques dans un entrepôt de données spatiales par un nouveau système de généralisation basé sur une approche combinée. Thèse de magistère, Alger 2008.

Hangouet J.F, 1998 : Approche et méthodes pour l'automatisation de la généralisation cartographique : Application en bord de ville. Thèse de doctorat, Paris 1998.

Lecordix F, Plazanet C. and Lagrange J.-Ph., 1997 : Platform for Research in Generalization (a) : Application to Caricature. GeoInformatica, 1997.

Mackaness W., Ruas A., and Sarjakoski T., 2007: Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications. Elsevier, Paris 2007.

Müller JC, Wang Z., 1992: Area-patch generalisation: a competitive approach, The Cartographic Journal 29(2).

Mustière S., 2001: Apprentissage supervisé pour la généralisation cartographique. Thèse de doctorat, Paris 2001.
http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/MUSTIERE/These_Mustiere_2001.pdf

Mustière S., J.-D. Zucker and L. Saitta, 2000 : Abstraction et Changement de Langage pour Automatiser la Généralisation Cartographique, in Actes du 11^{ème} congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA), Paris, 2000.

Mustière S. & F. Lecordix, 2002 : La généralisation du linéaire routier : des algorithmes et leur enchaînement, Généralisation et représentation multiple, dir. Anne Ruas, Hermès Lavoisier.

Plazanet, C. 1996 : Enrichissement des bases de données géographiques: analyse de la géométrie des objets linéaires pour la généralisation cartographique (application aux routes). Thèse de l'université de Marne La Vallée, Laboratoire COGIT. Disponible sur le site web de l'IGN : http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/PLAZANET/These_Plazanet_1996.zip

Regnauld N. 1998 : Généralisation du bâti: structure spatiale de type graphe et représentation cartographique. Thèse de doctorat, Paris 1998.

Ruas A. 1999 : Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie, thèse de Doctorat de l'Université de Marne-la-Vallée (France), spécialité : Informatique et Sciences de l'Information Géographique, laboratoire COGIT, IGN-SR 990009/S-THE, soutenue le 9 avril 1999.

Ruas A. 2002 : Généralisation et représentation multiple. Hermès Lavoisier, Paris 2002.

Ruas A. et J.P. Lagrange, 1992 : ETAT DE L'ART EN GENERALISATION. Rapport interne, Institut Géographique National.

Analyse des déformations dans un réseau géodésique d'auscultation d'ouvrage d'art

A. BELHADJ, B. GHEZALI, S. KAHLOUCHE, & N. BOUHOUCHE
Centre des Techniques Spatiales - Division de Géodésie Spatiale
1, Avenue de Palestine. BP 13 Arzew. Oran 31200. Algérie
attaouia02@yahoo.fr

ملخص: يهدف هذا المقال إلى تقييم منهجية تحليل و تمثيل التشوهات في شبكة الجيوديزيا مرتكزة على استعمال مؤثرات التشوه و درجة أهميتها في افتراض التشوهات الصغيرة جدا في وسط مستمر، متجانس و مرن . الحل المقترح يتداخل مع حساب مؤثرات التشوهات على العناصر الكاملة من النوع الزاوي (لنتليث لديلوني). عادة من أجل تحديد عناصر التشوه، ينقسم مؤثر التشوه إلى قسمين مؤثر متمائل (التوسع و القص) و مؤثر غير متمائل للتشوه (تناوب تفاضلي خاص). ارتكز التطبيق على شبكة الفحص الجيومتري لمكان التخزين الجوفي لـ GNL للمركب GL4Z لأرزيو. المعطيات المستعملة خلال المعالجة هي ناتجة عن عملية ممتدة على حملتين من ملاحظات نظام تحديد المواقع (GPS) في مدة سنة سنوات (فيفري 2000، فيفري 2006) تتكون شبكة الفحص من 56 نقطة موزعة على الميدان المجاور للمكان المدروس.

الكلمات الأساسية: الشبكة الجيوديزية، نقل، مؤثر التشوهات، تشوهات بسيطة، مونتي كارلو، تشوهات ذات معنى.

Résumé: Le présent article a pour objectif de présenter une méthodologie d'analyse et de représentation des déformations dans un réseau géodésique, basée sur l'utilisation des tenseurs de déformation et leur degré de signification, dans l'hypothèse de déformations infinitésimales d'un milieu continu, homogène et élastique. La solution envisagée fait intervenir le calcul de tenseurs de déformations sur des éléments finis de type triangulaire (triangulation de Delaunay). Usuellement, pour définir les paramètres de déformation, un tenseur de déformation est décomposé en deux parties: un tenseur symétrique de déformation (dilatation et cisaillement) et un tenseur antisymétrique de déformation (rotation différentielle propre). L'application a porté sur le réseau d'auscultation géométrique du bac de stockage souterrain de GNL du complexe GL4Z d'Arzew. Les données utilisées lors des traitements sont issues d'une opération étalée sur deux campagnes d'observations GPS, espacées de six ans (Février 2000, Février 2006). Le réseau d'auscultation est constitué de 56 points répartis sur le terrain avoisinant le bac.

Mots clés: réseau géodésique, déplacement, tenseur déformation, primitives déformations, Monte Carlo, déformabilité, significativité.

Summary: The goal of the present article is to present a methodology of analysis and representation of deformation in a geodetic network based on the use of deformation tensors and their degree of meaning, in the case of infinitesimal deformations of a continuous medium, homogeneous and elastic. The proposed solution involves the calculation of deformation tensor on the finite elements of triangular type (Delaunay triangulation). Usually, to define the parameters of deformation, the deformation tensor is decomposed into two parts: a symmetric tensor of deformation (dilatation, shear) and a tensor antisymmetric deformation (differential rotation clean). The application is based on the geometric network auscultation underground storage tank, located at Arzew complex GL4Z. The data used in treatments are the result of an operation spread over two GPS observation campaigns, on six years (February 2000, February 2006). The network of auscultation consists of 56 points distributed on the ground surrounding the tank.

I. Introduction

Les techniques d'observations géodésiques terrestres ou spatiales dédiées au suivi d'ouvrages d'art ou de terrains actifs conduisent à l'évaluation de déplacements temporels, absolus ou relatifs, d'un ensemble discrets de points matérialisés sur le site.

Néanmoins, la réalisation d'un réseau géodésique nécessite l'utilisation de points de référence fixés arbitrairement. Sur un site actif, ces choix, à priori, de référence ne peuvent pas être vérifiés et ont des conséquences sur le calcul des déformations. D'autre part, un champ de déplacement ne suffit pas à quantifier directement les déformations subies par le réseau. Pour s'affranchir de ces contraintes, un outil peut être utilisé: les tenseurs de déformation. En calculant le gradient du champ de déplacement, on se libère de l'aspect absolu de tout géo référencement puisque l'on travaille sur des variations relatives des points du réseau. Le tenseur de déformation, défini par le gradient du champ de déplacement contient

les informations sur le comportement d'un champ vectoriel de déplacement.

L'étude de déformation d'un réseau géodésique, décrite dans cet article, est basée sur le calcul des tenseurs de déformation et leur degré de signification sur des éléments finis de type triangulaire (triangulation de Delaunay), dans l'hypothèse de petites déformations d'un milieu continu, homogène et élastique. Elle a nécessité les étapes suivantes :

- Calcul du champ de déplacement,
- Évaluation du tenseur de déformation: contraintes principales,
- Estimation du tenseur symétrique de déformation: primitives de déformation (cisaillement et dilatation)
- Détermination du tenseur antisymétrique de déformation (rotation différentielle propre)
- Mode de représentation des déplacements, du tenseur de déformation et de ses primitives (Triangulation de Delaunay),
- Evaluation des erreurs sur le tenseur de déformation par la méthode de Monté Carlo
- Calcul de la déformabilité du réseau,
- Evaluation de la significativité des déformations du réseau.

II. Méthodologie adoptée pour l'analyse des déformations

Il est avant tout nécessaire de préciser la notion de tenseur de déformation et les hypothèses dans lesquelles s'inscrit cette étude.

Le comportement d'un champ local de déplacement peut être décrit à l'aide des tenseurs de déformation. En calculant le gradient du champ de déplacement, on s'affranchit de l'aspect absolu de tout géo-référencement puisque l'on travaille sur des variations relatives des points du réseau.

Cependant, l'interprétation d'un tenseur de déformation n'est pas directe. Pour cela, la décomposition de ce tenseur est nécessaire pour en tirer des éléments caractéristiques (paramètres de déformation).

D'autre part, ces paramètres doivent être associés à une incertitude provenant des erreurs affectant les vecteurs-déplacement. A cet effet, il est indispensable de définir le degré de signification (degré de confiance) que l'on peut prêter aux déformations évaluées.

La méthodologie adoptée pour le traitement et l'analyse des déformations dans un réseau géodésique repose sur l'utilisation de tenseurs de déformations et leur degré de signification, dans l'hypothèse de déformations infinitésimales d'un milieu continu, homogène et élastique.

Le calcul de tenseurs de déformations est effectué sur des éléments finis de type triangulaire (triangulation de Delaunay). Le réseau observé aux deux époques est supposé exactement le même (mêmes points, mêmes grandeurs mesurées et mêmes précisions des observations).

L'étude des déformations dans un réseau géodésique, décrite dans cet article, a nécessité deux principales phases d'exécution suivantes:

1^{ère} Phase: Représentation du tenseur de déformation par la "*Triangulation de Delaunay*"

- *Calcul du champ de déplacement:* Evaluation des vecteurs déplacements des sommets de chaque triangle du réseau géodésique observé entre les deux époques (Février 2000 et Février 2006).
- *Calcul du tenseur de déformation:* Évaluation du tenseur déformation et des primitives de déformations élémentaires. Pour chaque triangle, un tenseur représentant au mieux la déformation locale est déterminé.
- Représentation du tenseur de déformation sur des éléments finis de type triangulaire (*triangulation de Delaunay*): déplacements, tenseurs et primitives de déformation.

2^{ème} Phase: Degré de signification des tenseurs de déformation

- *Evaluation des incertitudes des tenseurs de déformations réelles* (mesurées) dues aux incertitudes des vecteurs-déplacement par la méthode de Monte Carlo.
- *Etude de la déformabilité du réseau.*
- *Evaluation du degré de confiance* ou degré de signification que l'on peut donner aux déformations calculées.

II.1 Etapes de calcul des tenseurs de déformations sur des éléments finis de type triangulaire (*triangulation de Delaunay*)

La triangulation de Delaunay a deux principales propriétés:

- Un triangle de Delaunay est un triangle qui a comme sommets trois objets, et tel que son cercle circonscrit n'ait en son intérieur aucun autre objet.
- La triangulation de Delaunay est parmi toutes les triangulations de l'espace euclidien E celle qui maximise l'angle minimum de tous les triangles [Hétroy, 2008].

Dans l'hypothèse de petites déformations d'un milieu continu, homogène et élastique, le calcul des tenseurs de déformations sur des éléments finis de type triangulaire (triangulation de Delaunay) a nécessité les étapes suivantes :

a. Calcul du champ de déplacement

Les vecteurs déplacements (2D et 1D) des sommets de chaque triangle représentent les composantes du déplacement (2D et 1D) des points du réseau géodésique observé entre deux époques. En d'autre terme, les trois sommets de chaque triangle sont des points géodésiques observés.

b. Calcul du tenseur de déformation

- Cas des déformations horizontales (2D)

Le calcul des déformations est effectué pour chaque triangle du réseau Delaunay. A chaque triangle correspondent trois vecteurs déplacements observés (points du réseau géodésique) situés aux trois sommets du triangle.

Considérons le triangle (K) (figure 1):

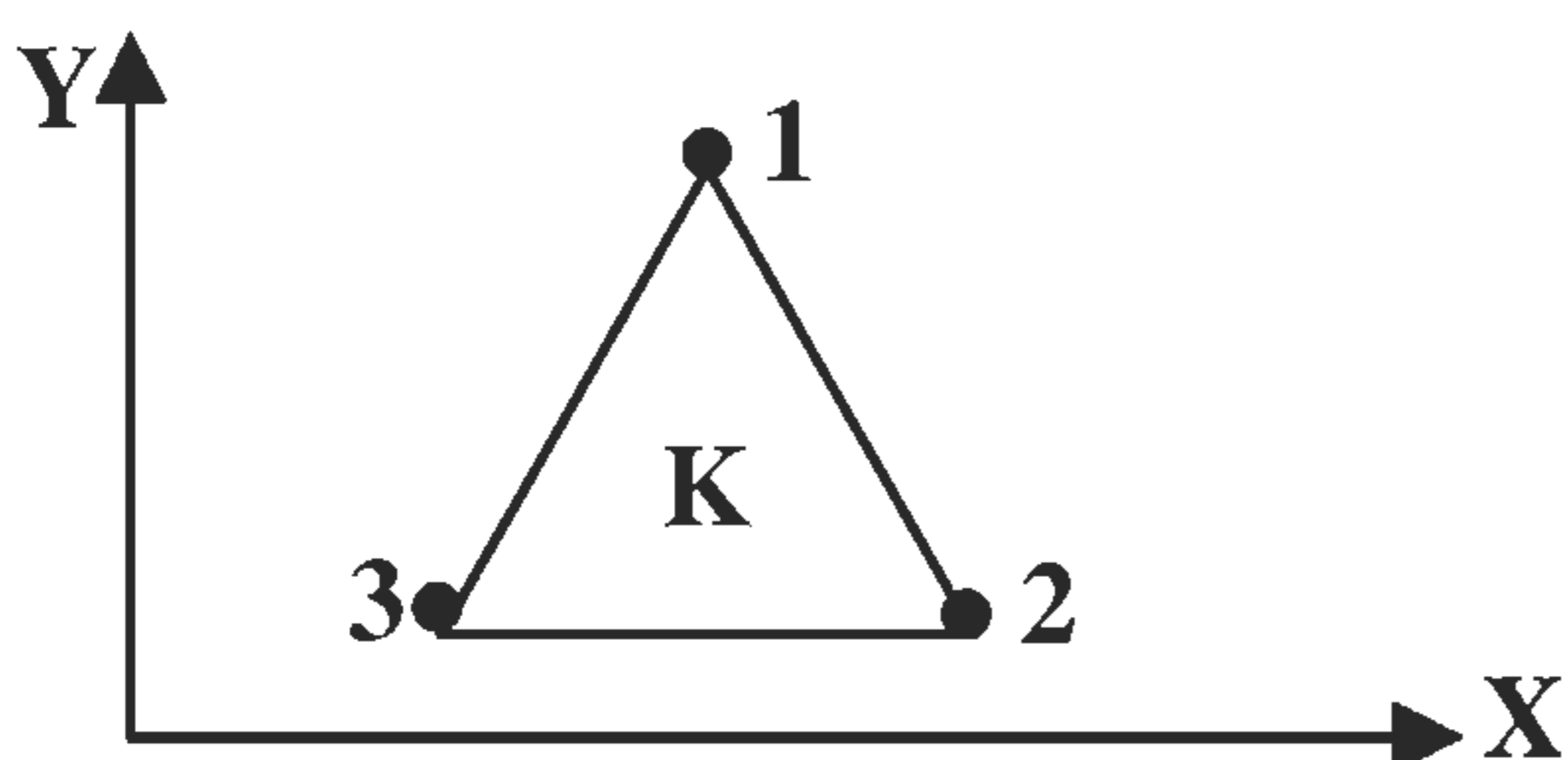


Fig. 1 Formalisme d'un triangle (K) du réseau Delaunay.

Dans le cas de petites déformations, la fonction du champ de déplacement local (u,v) peut être représentée par un polynôme du 1^{er} degré en position (X, Y) tel que:

$$\begin{cases} u_i(X_i, Y_i) = dX_i = a_1 + a_2X_i + a_3Y_i \\ v_i(X_i, Y_i) = dY_i = a_4 + a_5X_i + a_6Y_i \end{cases} \quad \text{Avec } 1 \leq i \leq 3$$

Où (dX_i, dY_i) représentent les composantes du vecteur déplacement observé du sommet i du triangle (K) de coordonnées (X_i, Y_i).

Si l'on rapporte les coordonnées des trois sommets du triangle et les vecteurs déplacements s'y rapportant au centre de gravité du triangle [Akrou B.] [Million C], le système d'équations ci dessus devient (1):

$$\begin{cases} u_i(x_i, y_i) = dx_i = a_2x_i + a_3y_i \\ v_i(x_i, y_i) = dy_i = a_5x_i + a_6y_i \end{cases} \quad \text{avec } 1 \leq i \leq 3 \quad (1)$$

Avec :

$$\begin{aligned} dx_i &= dX_i - dX_0, & dy_i &= dY_i - dY_0, \\ x_i &= X_i - X_0, & y_i &= Y_i - Y_0 \end{aligned}$$

Où (X₀, Y₀) et (dX₀, dY₀) représentent respectivement les coordonnées et les déplacements ramenés au centre de gravité du triangle(K).

Sous forme matricielle, le système (1) s'écrit:

- Équation de déplacement en x:

$$N_{(3,2)} P_{(2,1)} = R_{(3,1)} \quad (2)$$

- Équation de déplacement en y:

$$N_{(3,2)} G_{(2,1)} = T_{(3,1)} \quad (3)$$

Avec :

$$N_{(3,2)} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_2 \end{bmatrix}; \quad P_{(2,1)} = \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}; \quad R_{(3,1)} = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \\ dx_3 \end{bmatrix};$$

$$G_{(2,1)} = \begin{bmatrix} a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}; \quad T_{(3,1)} = \begin{bmatrix} dy_1 \\ dy_2 \\ dy_3 \end{bmatrix}$$

Les deux jeux de coefficients inconnus (a₂, a₃) et (a₅, a₆) sont ajustés indépendamment par la méthode des moindres carrés. Les coefficients (a₂, a₃) sont estimés à partir de la relation (2) de déplacement en x et l'ajustement des coefficients (a₅, a₆) utilise l'équation (3) de déplacement en y.

Le tenseur de déformation ε est défini par [Michel, 2001]:

$$\varepsilon = \nabla(U) = \frac{\partial U(x, y)}{\partial X} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{ux} & \varepsilon_{uy} \\ \varepsilon_{vx} & \varepsilon_{vy} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Le gradient du champ de déplacement local, est évalué composante par composante. Pour chaque coordonnée de ce champ, les dérivées partielles selon chaque axe de coordonnée sont évaluées pour donner les composantes déformations. La matrice du tenseur de déformation s'écrit donc:

$$\varepsilon(x, y) = \begin{bmatrix} \varepsilon_{ux}(x, y) & \varepsilon_{uy}(x, y) \\ \varepsilon_{vx}(x, y) & \varepsilon_{vy}(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial u}{\partial y}(x, y) \\ \frac{\partial v}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial v}{\partial y}(x, y) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Les composantes du tenseur de déformation pour le triangle (K) sont:

$$\begin{cases} \varepsilon_{ux} = \frac{\partial u}{\partial x}(x, y) = a_2 \\ \varepsilon_{uy} = \frac{\partial u}{\partial y}(x, y) = a_3 \\ \varepsilon_{vx} = \frac{\partial v}{\partial x}(x, y) = a_5 \\ \varepsilon_{vy} = \frac{\partial v}{\partial y}(x, y) = a_6 \end{cases} \quad (6)$$

Connaissant les tenseurs de déformations élémentaires (ε_{ux} , ε_{uy} , ε_{vx} , ε_{vy}), nous en déduisons les primitives de déformations élémentaires (dilatation, cisaillement, rotation différentielle propre) définies de la manière suivante [Berber, 2006] [Michel, 2001]:

- *La dilatation (λ)* : étant l'expansion ou la contraction moyenne en un point, i.e., la moyenne des contraintes principales :

$$\lambda = \frac{1}{2}(\lambda_1 + \lambda_2) = \frac{1}{2}(\varepsilon_{ux} + \varepsilon_{vy}) \quad (7)$$

- *Le cisaillement total (γ)*: peut être défini comme étant la moyenne géométrique des cisaillements pur et simple :

$$\gamma = \sqrt{\tau_{xy}^2 + \nu_{xy}^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_{ux} - \varepsilon_{vy})^2 + (\varepsilon_{uy} + \varepsilon_{vx})^2} \quad (8)$$

- *La rotation différentielle propre ($\delta\omega$)*: Cette rotation se décompose en une partie rigide qui correspond à la rotation globale du terrain d'étude et une rotation différentielle propre qui dépend de la position. Soit Ω la rotation globale du réseau qui correspond à la moyenne des ω sur le réseau. Cependant la rotation différentielle propre $\delta\omega$ est donnée par la relation suivante :

$$\delta\omega = \omega - \Omega = \frac{\varepsilon_{uy} - \varepsilon_{vx}}{2} - \Omega \quad (9)$$

La dimension (a_1 et a_2) et l'orientation (θ) du tenseur de déformation sont déterminées à partir des équations suivantes:

$$a_1 = |\lambda_1| \text{ et } a_2 = |\lambda_2| \quad ; \quad \tan(2\theta) = \frac{\varepsilon_{uy} + \varepsilon_{vx}}{\varepsilon_{vy} - \varepsilon_{ux}} \quad (10)$$

Où (λ_1 et λ_2) représentent les composantes principales ou contraintes principales telles que:

$$\lambda_1 = \frac{\varepsilon_{ux} + \varepsilon_{vy}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_{ux} - \varepsilon_{vy})^2 + (\varepsilon_{uy} + \varepsilon_{vx})^2}$$

$$\lambda_2 = \frac{\varepsilon_{ux} + \varepsilon_{vy}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_{ux} - \varepsilon_{vy})^2 + (\varepsilon_{uy} + \varepsilon_{vx})^2}$$

Une contrainte négative correspond à une contraction, une contrainte positive à une expansion.

Remarque : les primitives de déformation définies ci-dessus (la dilatation, le cisaillement et la rotation différentielle propre), définissent la déformation d'une zone d'étude.

- Cas des déformations verticales (1D)

Dans le cas de petites déformations, la fonction du champ de déplacement vertical local peut être représentée par un polynôme du 1^{er} degré tel que:

$$U(z_i) = dz_i = a_0 + a_1 z_i \quad (11)$$

Où dz_i représente le déplacement de la composante verticale z du point i du réseau observé entre deux époques.

Pour un polygone (n), le système d'équation (11) s'écrit sous la forme matricielle (12):

$$\begin{bmatrix} dz_1 \\ \cdot \\ dz_i \\ \cdot \\ dz_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z_1 \\ \cdot & \cdot \\ 1 & z_i \\ \cdot & \cdot \\ 1 & z_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} \quad (i=1, \dots, n) \quad (12)$$

Le tenseur de déformation ε (allongement unitaire suivant z) est défini par [Berber, 2006] :

$$\varepsilon = \frac{\partial U(z)}{\partial z} = [\varepsilon_{wz}] = a_1 \quad (13)$$

L'ajustement des coefficients (a_0 , a_1) est effectué par la méthode des moindres carrés. Le coefficient a_1 représente la déformation ou l'allongement unitaire, évoquant ainsi, soit un gonflement (soulèvement) si la valeur est positive, ou un tassement (affaissement) si la valeur est négative.

II.2 Significativité des déformations : Méthode de Monte Carlo.

La méthode de Monte Carlo s'adapte en effet à l'étude de la significativité des tenseurs de déformation. Néanmoins, il semble plus cohérent de l'appliquer à un tirage aléatoire des observations selon leur statistique plutôt qu'aux vecteurs de déplacement. En effet, il est considéré que les observations ne sont pas corrélées, alors que la même hypothèse sur les vecteurs de déplacement est fautive [Michel et al.2003]. La quantification de la variation d'un tenseur est estimée par ces primitives de déformation. L'idée générale est de construire un ensemble d'axes de tenseurs de déformation en perturbant les mesures. Les extrémités de ces axes sont normalement distribuées autour du tenseur non perturbé et forment ainsi un nuage de points dont la dispersion des solutions perturbées donne une idée de la rigueur de la solution non perturbée.

La significativité du tenseur de déformation calculée entre deux époques correspond au degré

de confiance que l'on peut donner à ces valeurs calculées. Ce degré de confiance dépend de nombreux paramètres, à savoir:

- les incertitudes sur les mesures lors de l'observation du réseau,
- le processus d'ajustement par moindres carrés du réseau à un instant donné,
- le processus de détermination du tenseur de déformation, aspect strictement lié à la géométrie du réseau avoisinant l'élément de la figure considéré.

Le calcul de la significativité est basé sur la déformabilité (14), calculée par sommation de la moyenne avec la tolérance des primitives de déformation positives virtuelles (obtenues à partir d'un jeu de simulation). La tolérance valant 2,57 fois l'écart type des primitives, permet de recouvrir 99% des déformations virtuelles. Dans l'hypothèse que l'échantillon calculé suit une loi normale [Michel et al.2003]. La déformabilité permet d'estimer les déformations qui pourront être détectées (quantifier l'influence des incertitudes en terme de déformation).

$$\begin{cases} \lambda_{Tdef} = \bar{\lambda}_T + 2.57\sigma_{\lambda_T} \\ \gamma_{def} = \bar{\gamma} + 2.57\sigma_{\gamma} \\ \delta\omega_{def} = \bar{\delta\omega} + 2.57\sigma_{\delta\omega} \end{cases} \quad (14)$$

Soit pour chaque primitive, le seuil de significativité (15) est:

$$\begin{cases} \sum_{\lambda} = \frac{\lambda_T - \lambda_{Tdef}}{\lambda_{def}} \\ \sum_{\gamma} = \frac{\gamma - \gamma_{def}}{\gamma_{def}} \\ \sum_{\delta\omega} = \frac{|\delta\omega| - \delta\omega_{def}}{\delta\omega_{def}} \end{cases} \quad (15)$$

Le degré de significativité de la déformation Σ prend une valeur entre $-1, +\infty$, tel que:

- Si $\Sigma < 0$, la déformation mesurée est inférieure à la déformabilité du réseau, on peut alors considérer que la déformation n'est pas significative (**DNS**) et ne peut être considérée qu'une conséquence du bruit d'observations lors des mesures.

- Si $\Sigma > 0$, la déformation mesurée est supérieure à la déformabilité du réseau, on considère que la déformation est significative (**DS**)

- $0 \leq \Sigma < 1$, la déformation réelle est de l'ordre de la déformabilité du réseau, tout en étant significative et de l'ordre de la déformabilité (**DS&OD**).

III. Présentation de la zone test

Les tests effectués ont porté sur la détermination des déformations dans un réseau d'auscultation du bac de stockage en excavation de GNL du complexe GL4Z d'Arzew. Deux campagnes d'observations GPS, espacées de six (06) ans (Février 2000, Février 2006), ont été effectuées. Le réseau d'auscultation est constitué de 13 points d'appuis éloignés d'une centaine de mètres du bac et de 43 repères secondaires répartis sur le terrain avoisinant le bac (figure 2). Les données utilisées lors du traitement sont des jeux de coordonnées exprimées dans le repère géodésique local et rapportées au système géodésique mondial WGS84.

Ces données sont organisées par station et présentées sous forme de fichier ASCII (**XX.dat**) où XX représente l'époque d'observation. Ce fichier contient :

- Les coordonnées géodésiques locales d'une station GPS (**E**: composante horizontale Est, **N**: composante horizontale Nord, **U**: composante Verticale ou élévation)
- Les écarts types (EMQ) des trois composantes (E, N, U).

Les composantes horizontales (E, N) ont servi pour l'analyse des déformations dans le plan horizontal (2D) et la composante verticale (U) a été employée pour l'étude des déformations dans le plan vertical (1D).

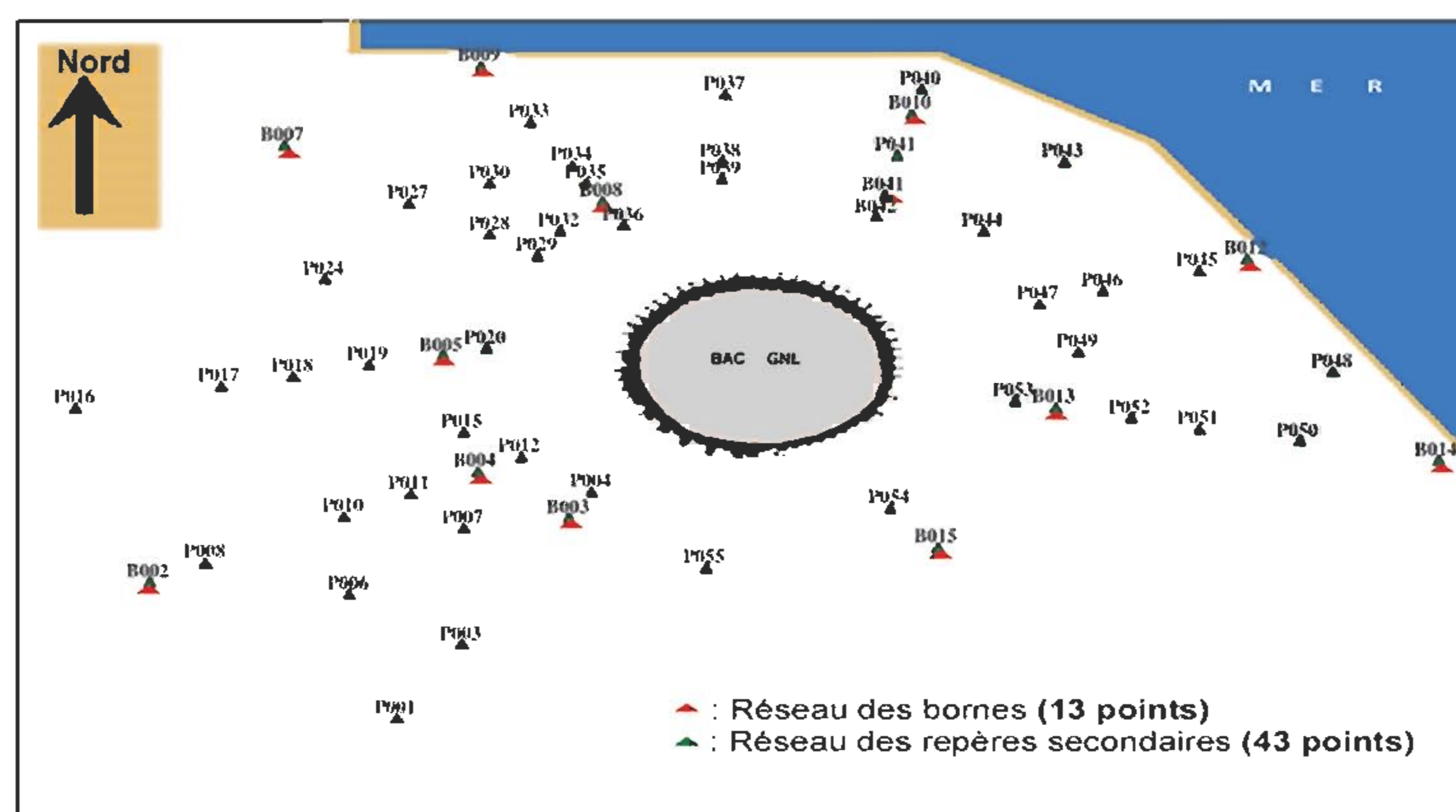


Fig. 2 Configuration du réseau d'auscultation

IV. Résultats et analyse

L'analyse des résultats obtenus lors des traitements des données a porté principalement sur l'interprétation des valeurs des primitives de déformation et leur degré de signification obtenue sur des éléments finis de type triangulaire "triangulation de Delaunay".

Les données géodésiques utilisées lors des traitements sont de deux types :

- **Cas d'un réseau 2D** (comportement local dans le plan horizontal): il s'agit de jeux de coordonnées géodésiques locales E (composante horizontale Est) et N (composante horizontale Nord) de 56 points GPS qui constituent le canevas d'auscultation. L'étude en dimension 2 (2D) nous a permis de définir le mode de déformation dans un plan horizontal (*expansion, contraction, dilation totale, cisaillement totale et rotation différentielle propre*).
- **Cas d'un réseau 1D**: La description du comportement local du site suivant la direction verticale (*gonflement ou tassement*) est basée sur l'utilisation de la coordonnée géodésique locale U (**composante Verticale ou élévation**) de 56 points GPS qui constituent le canevas d'auscultation.

IV.1 Déformations horizontales (2D)

a. Champ de déplacement

D'après la figure 3, nous remarquons que les déplacements de quelques points situés au Nord-Est du bac (côté Mer) sont plus importants en modules que ceux des autres points du réseau. Nous constatons aussi que le sens du déplacement de la majorité des points du réseau est Nord-Est.

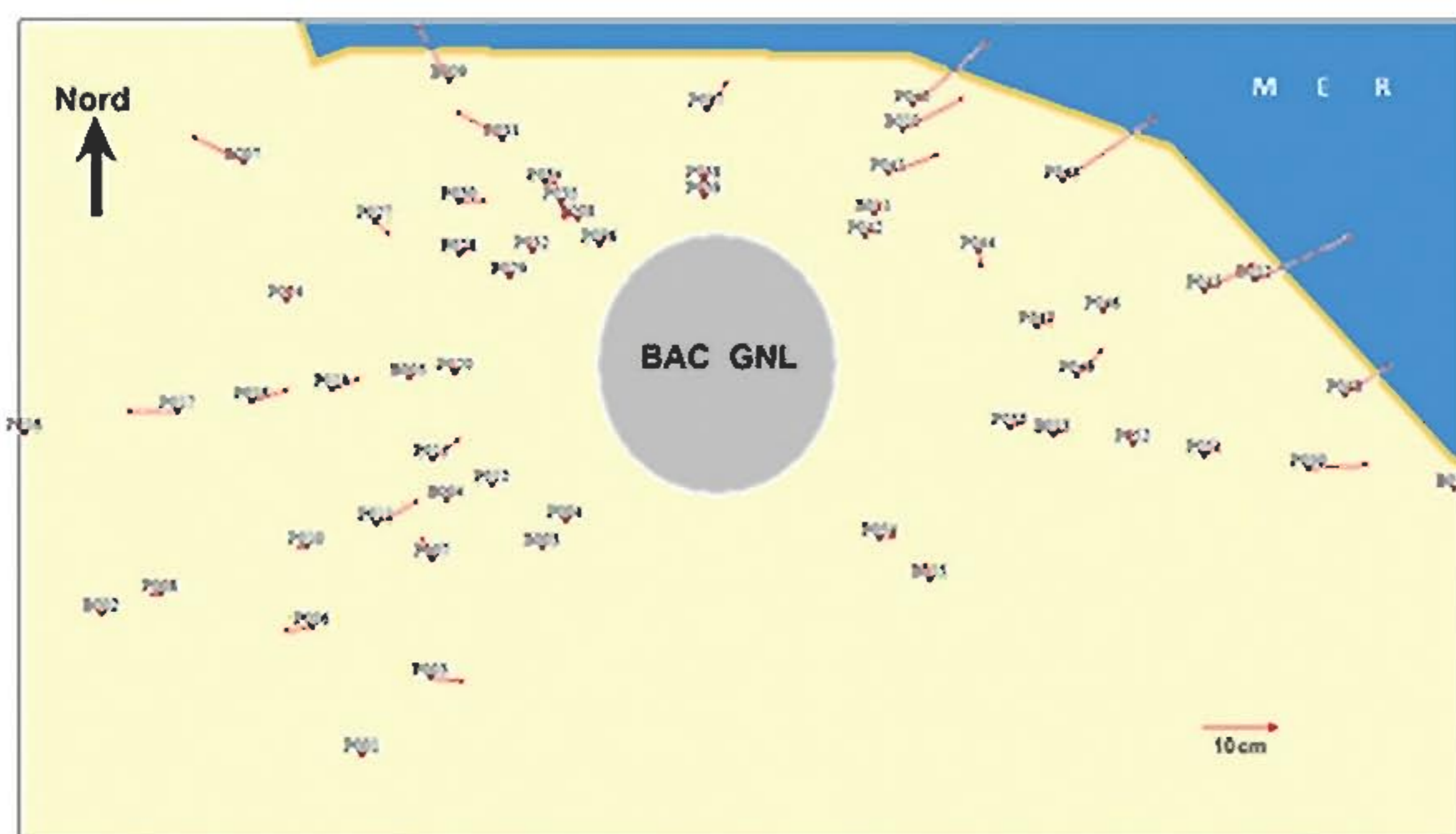


Fig. 3 Champ de déplacement (2000-2006)

Le tableau 1 suivant représente les valeurs maximales, minimales et moyennes des déplacements des points du réseau géodésique entre les époques 2000 et 2006:

Tableau 1. Statistiques sur les déplacements des points.

	Déplacement (cm)	Points correspondants
Min.	0.1	B003
max.	17.7	P043
Moy.	4.4	

Le tableau 1, montre que la moyenne des déplacements de l'ensemble des points du réseau est de l'ordre de 4.4 cm et que le déplacement maximal ($\cong 18$ cm) se situe au Nord-Est du bac (point P043).

b. Tenseur déformation

La figure 4, représente les contraintes principales de chaque élément triangulaire du réseau. La couleur rouge exprime l'expansion et le vert désigne la contraction.

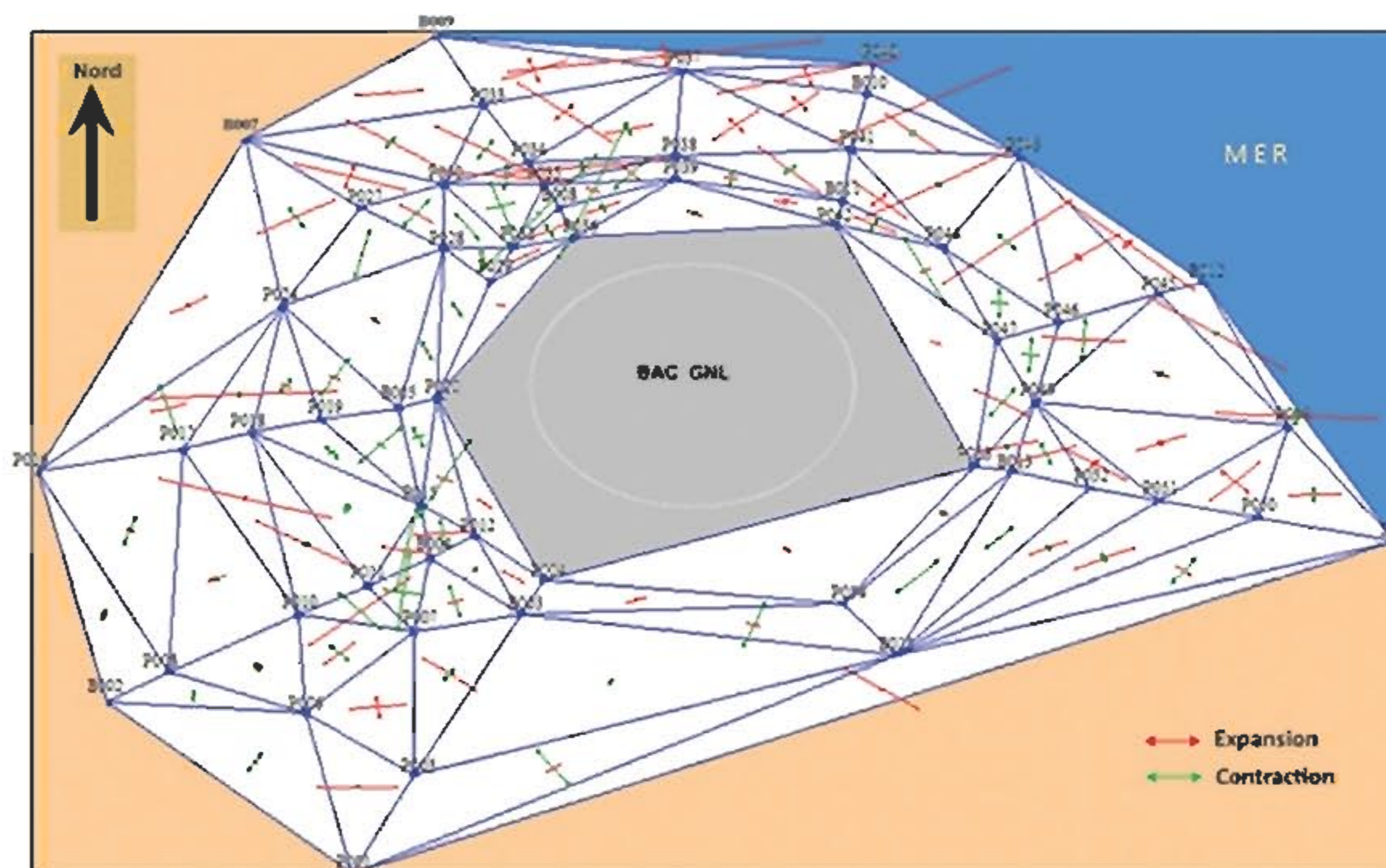


Fig. 4 Contraintes principales (2000-2006)

La figure 4, montre que le mode de déformation de la majorité des éléments triangulaires du réseau, principalement ceux situés au Nord et Nord-Est (côté mer) du bac, est une expansion (rouge dominant).

Le tableau 2, représente les valeurs maximales, minimales et moyennes des contraintes principales (λ_1, λ_2) de chaque élément triangulaire du réseau géodésique entre les époques 2000 et 2006 :

Tableau 2. Statistiques sur les contraintes principales.

	Contraintes Principales (ppm)			
	λ_1 (ppm)	Triangles	λ_2 (ppm)	Triangles
Min.	-2631,9 <i>contraction</i>	P007, P011, B004	-12833,9 <i>contraction</i>	B008, P035, P039
Max.	20700,4 <i>expansion</i>	P037, B009, P040	2700,8 <i>expansion</i>	P050, P051, P048
Moy.	3502,3 <i>expansion</i>		-1522,0 <i>contraction</i>	

L'amplitude moyenne de l'expansion ($\cong 3502$ ppm) est plus forte que celle de la contraction ($\cong 1522$ ppm).

c. Primitives de déformations

- Dilatation (Expansion / Contraction)

La figure 5 montre que la déformation en terme d'expansion (nuances bleues) est d'une part, dominante (61%), et d'autre part, plus importante dans les régions Nord et Nord-Est (côté mer) et Sud-Ouest (côté terre) du bac. D'ailleurs, nous remarquons d'après le tableau 3, que l'amplitude moyenne de la déformation en terme d'expansion ($\cong 2564$ ppm) est plus grande que celle de la déformation en terme de contraction ($\cong 1605$ ppm). Finalement, dans la globalité des résultats considérés, le réseau s'est beaucoup plus déformé en expansion qu'en contraction.

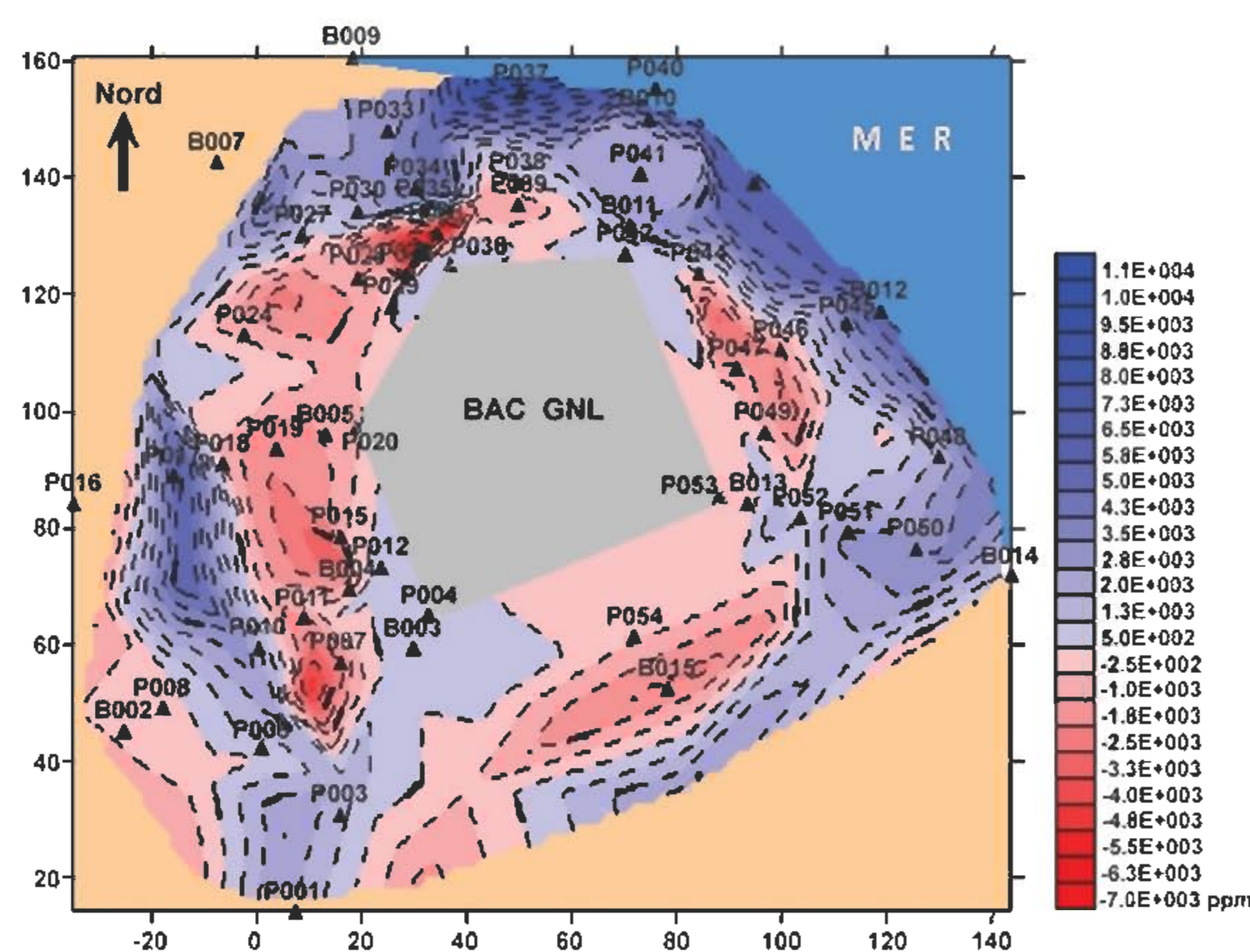


Fig. 5 Dilatation (2000-2006)

Tableau 3. Statistiques sur la dilatation

	Dilatation (ppm)			
	Contraction	Triangles	Expansion	Triangles
Min.	77,1	P032, P035, B008	58,3	P054, P053, B013
Max.	6589,7	P008, P010, P006	11480,8	P037, B009, P040
Moy.	1604,9		2564,2	

- Cisaillement total

D'après la figure 6, nous remarquons que les plus fortes déformations en cisaillement sont détectées principalement au niveau des zones situées au Nord et Nord-Est (côté mer) et Sud-Ouest (côté terre) du bac. Nous pouvons constater que les régions où les déformations en cisaillement sont maximales correspondent globalement à celles où les déformations en dilatation (expansion) sont plus importantes (couleur bleu foncé).

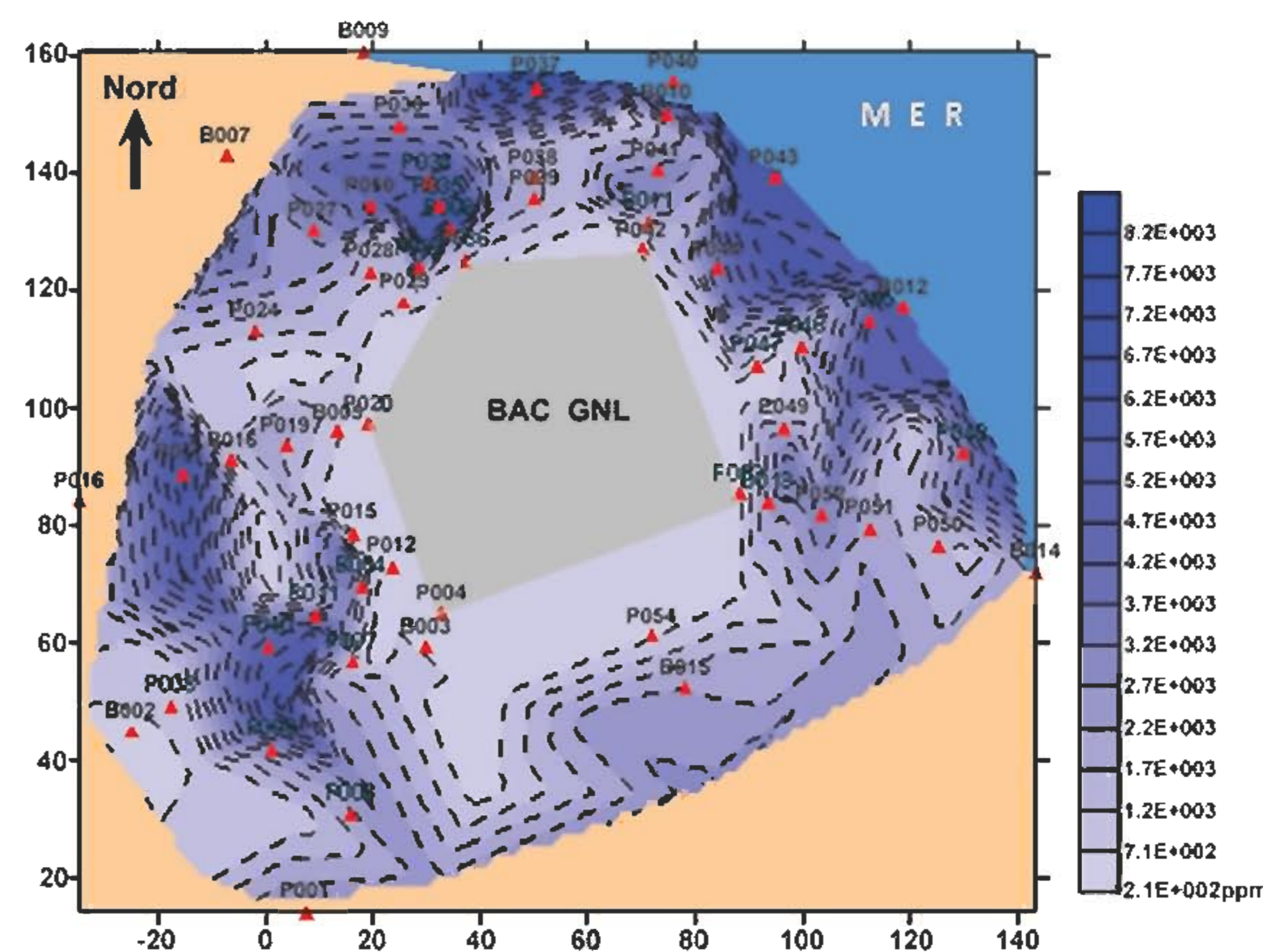


Fig. 6 Cisaillement total (2000-2006)

Le tableau 4, montre que l'amplitude moyenne de la déformation en cisaillement ($\cong 2512$ ppm) est identique à celle de la déformation en terme de dilatation (expansion) ($\cong 2564$ ppm) (tableau 3).

Tableau 4. Statistiques sur le cisaillement

	Cisaillement Total (ppm)	Triangles
Min.	208,0	P011, P018, P015
Max.	9219,6	P037, B009, P040
Moy.	2512,2	

- Rotation différentielle propre

La figure 7 montre que la majorité des zones du réseau (couleur rouge) a subi une rotation négative (Est-Ouest) de valeur moyenn $\cong 0^{\circ}07$. Le tableau 5, montre que la moyenne des angles de rotation négative ($\cong 0^{\circ}07$) est presque identique à celle des angles de rotation positive ($\cong 0^{\circ}08$).

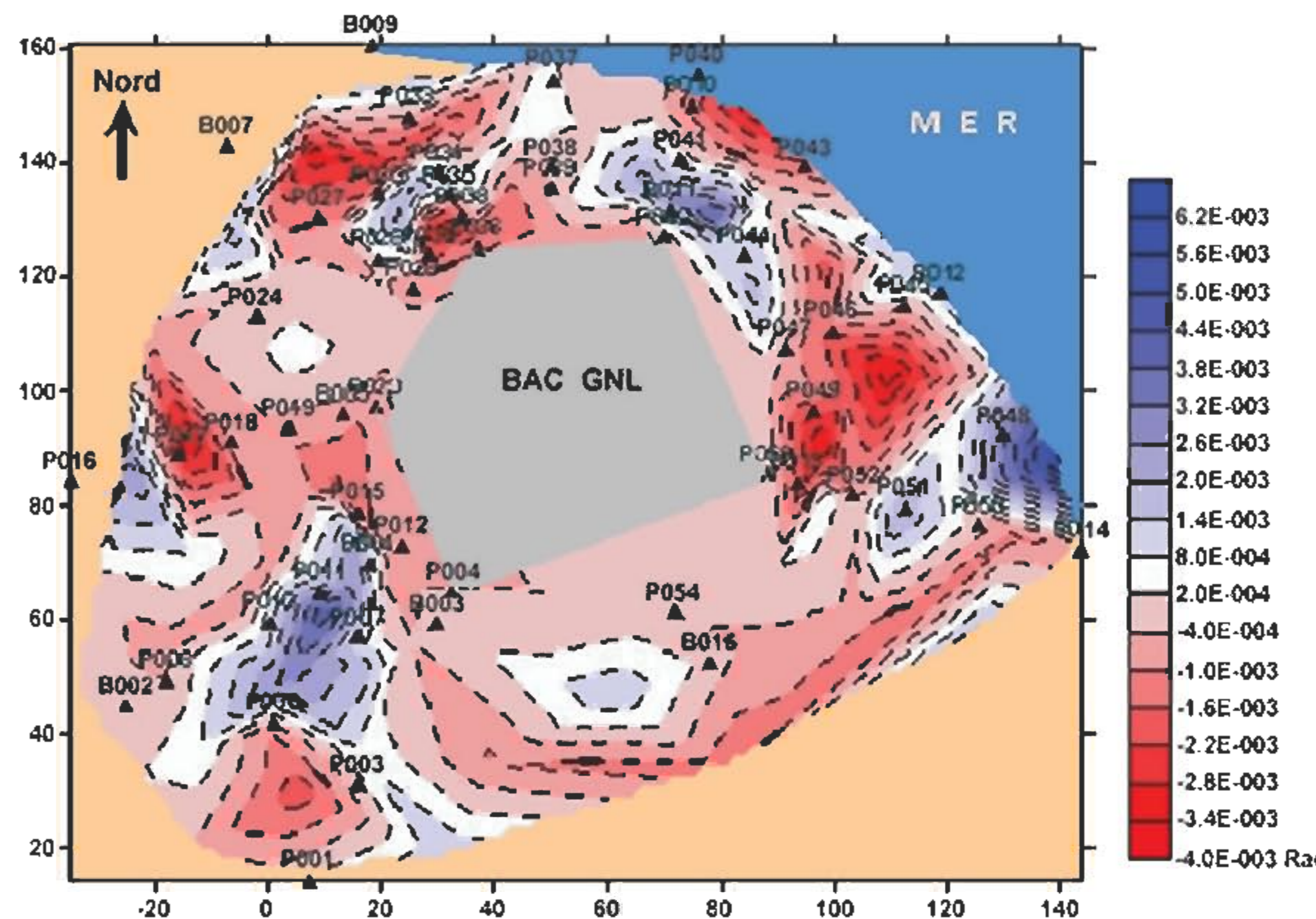


Fig. 7 Rotation différentielle (2000-2006)

Tableau 5. Statistiques sur la Rotation différentielle (2000-2006)

	Rotation Différentielle Propre (degrés)			
	Sens (-)	Triangles	Sens (+)	Triangles
Min.	0° 0024	P020, P028, P029	0° 0012	B010, P037, P040
Max.	0° 2152	P049, P046, P045	0° 3865	P048, B012, B014
Moy.	0° 0670		0° 0792	
<i>Rotation différentielle propre Moyenne du réseau : + 0° 0061 (Ouest-Est)</i>				

d. Significativité des tenseurs de déformation

Les paramètres de déformation (2D) choisis pour l'étude de la déformabilité sont la dilatation, le cisaillement et la valeur absolue de la rotation différentielle propre. Ces primitives de déformation sont des grandeurs scalaires positives s'élevant avec l'amplitude des déformations.

Les figures 8, 9 et 10 suivantes, illustrent la significativité des déformations du réseau estimées en terme de dilatation, cisaillement et rotation.

Les graphes des figures 8, 9 et 10 représentent :

- En vert, les régions où les déformations calculées sont significatives et de l'ordre de la déformabilité (*déformation réelle est de l'ordre de la déformabilité du réseau, tout en étant significative: $0 \leq$ seuil de significativité < 1*).
- En rouge, les régions où les déformations calculées ne sont pas significatives (*déformations réelles inférieures à celles détectables par le réseau mis en place: seuil de significativité < 0*).

Discernons qu'une région où les déformations sont qualifiées de "non significatives" signifie qu'il n'y a pas de déformations dans cette zone ou bien qu'il y a des déformations mais que le réseau établi n'est pas conçu pour les détecter.

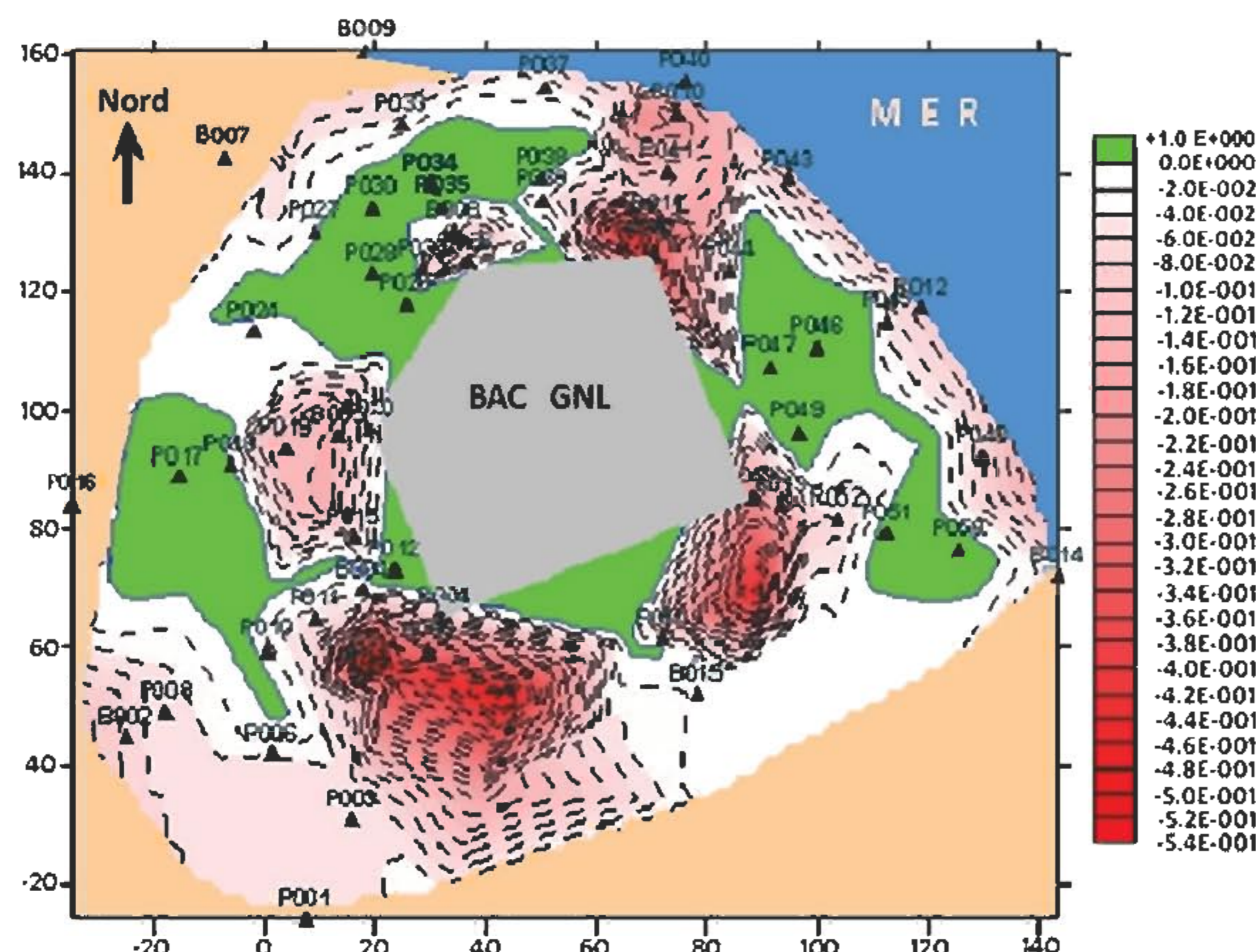


Fig. 8 Significativité de la dilatation (2000-2006)

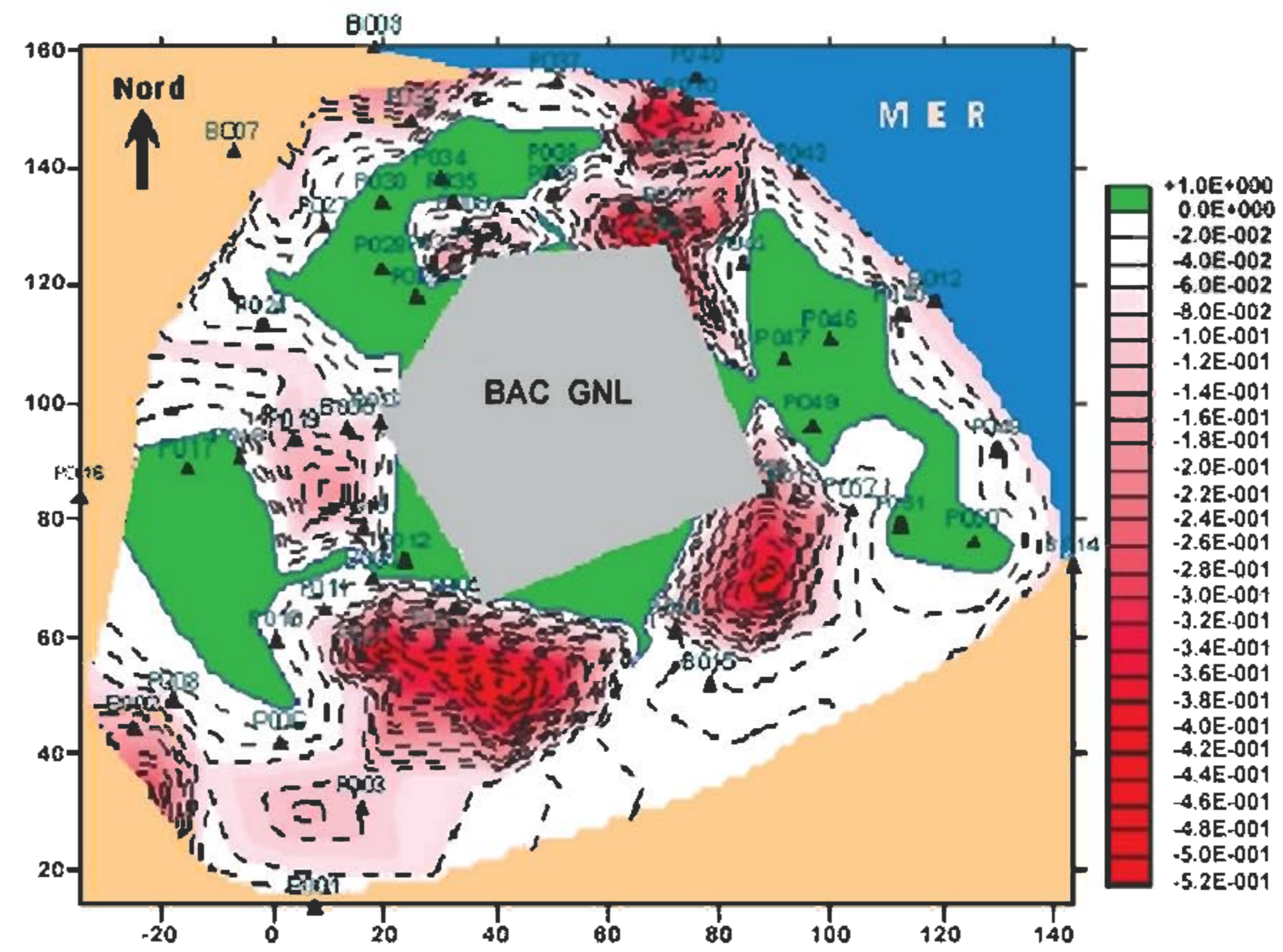


Fig. 9 Significativité du cisaillement (2000-2006)

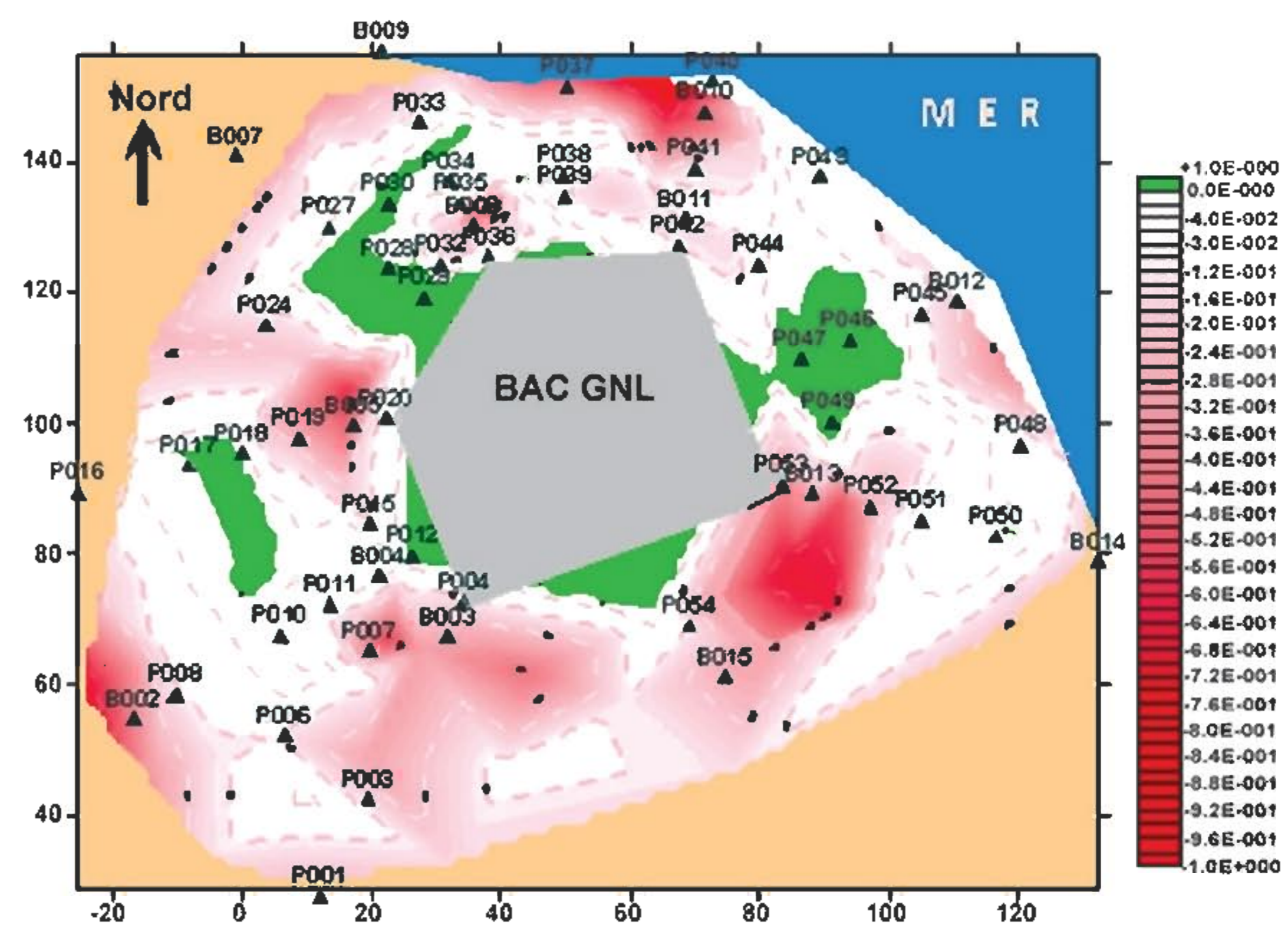


Fig. 10 Significativité de la rotation différentielle (2000-2006)

D'après les figures 8, 9 et 10 ci-dessus, le fait que la couleur rouge domine sur les graphes signifie que les déformations mesurées sont inférieures à celles que le réseau permet de détecter.

Nous pouvons constater aussi que les déformations mesurées en terme de dilatation, cisaillement et de rotation, qualifiées de "significatives et de l'ordre de la déformabilité", sont toutes situées

- dans les mêmes régions du réseau (couleur verte),
- dans les mêmes zones où les plus fortes déformations en cisaillement, en dilatation et en rotation ont été détectées, principalement au niveau des zones entourant le bac et situées au Nord-Est (côté mer) et Sud-Ouest (côté terre) du bac (figures 5, 6 et 7).

Nous remarquons également, d'après le tableau 6, que les valeurs moyennes des déformations du réseau estimées en terme de dilatation, de cisaillement et de rotation sont inférieures à celles de la déformabilité du réseau en terme de dilatation, de cisaillement et de rotation; Ce qui confirme les résultats de la significativité des déformations estimées qui montrent qu'il existe peu de zones

se déformant significativement (ordre de la déformabilité) en dilatation, cisaillement et rotation.

Tableau 6. Statistiques sur les primitives de déformations et la déformabilité du réseau (2000-2006).

	Min.	Max.	Moy.
Déformabilité Dilatation (ppm)	491,3	21954,5	5188,8
Dilatation Totale (ppm)	491,3	20823,5	4894,4
Déformabilité Cisaillement (ppm)	208,0	9872,5	2674,4
Cisaillement (ppm)	208,0	9219,6	2512,2
Déformabilité Rotation (degrés)	0° 002	0° 437	0° 081
Rotation (degrés)	0° 001	0° 386	0° 079

IV.2 Déformations verticales (1D)

La description du comportement local du site dans la direction verticale est basée sur l'utilisation de la coordonnée géodésique locale U (composante Verticale ou élévation) de 56 points GPS qui constituent le canevas d'auscultation. Le gradient du champ de déplacement vertical permet de déterminer la déformation suivant la direction de la composante verticale (*gonflement ou tassement*). La figure 11 ci après, montre :

- En couleur rouge, les régions ayant subi un tassement,
- En couleur bleue, les régions ayant subi un gonflement.

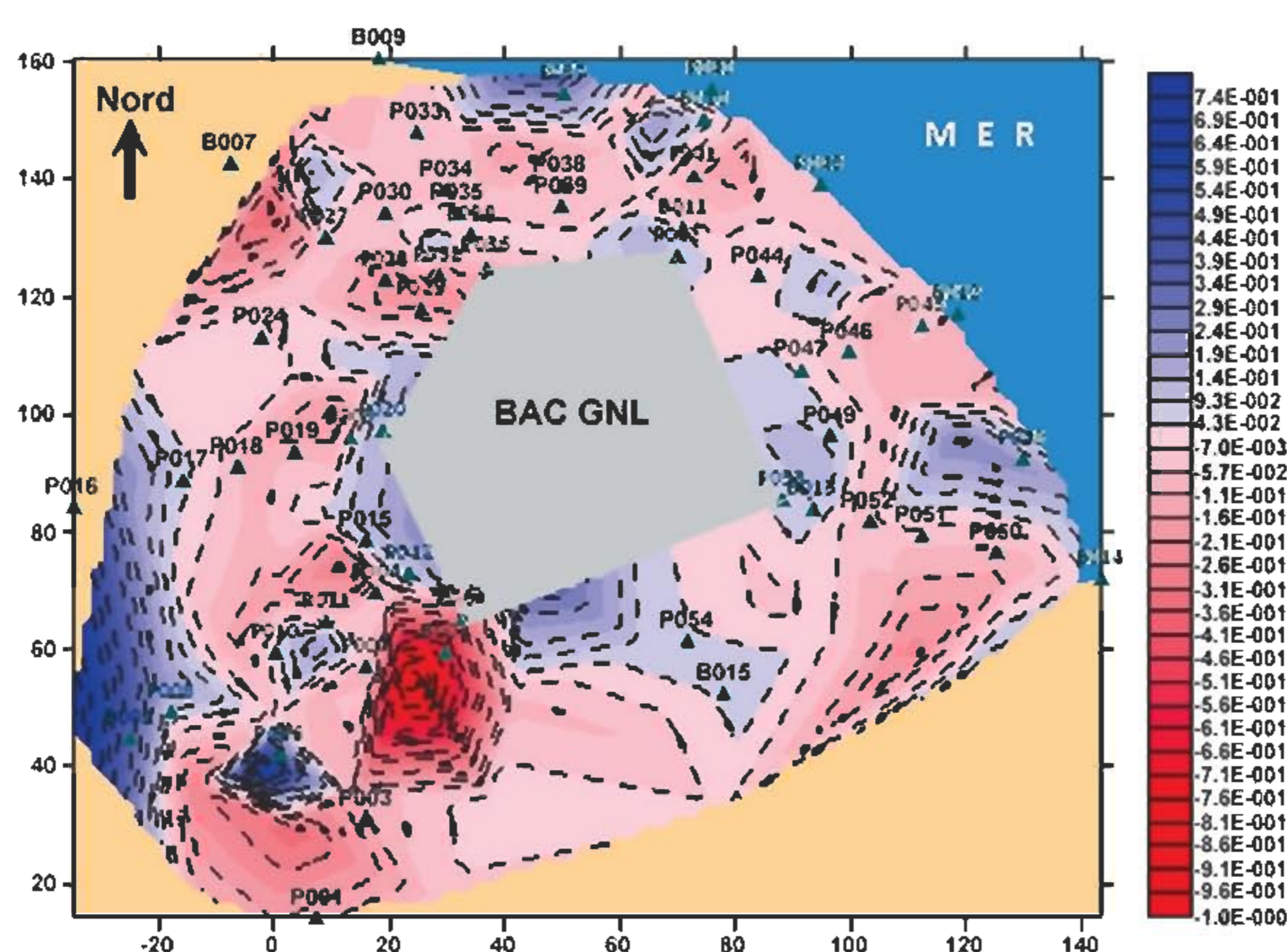


Fig. 11 Gradient du champ de déplacement vertical (2000-2006).

- Les zones affectées par l'affaissement (couleur rouge) sont plus nombreuses que celles se déformant en soulèvement (couleur bleue), environ 60%.
- L'amplitude du gradient du champ de déplacement vertical (Gonflement et Tassement) au niveau de la région située au Sud Ouest du bac (côté Terre: couleur foncée rouge et bleu) est plus importante que celle des zones situées à l'Est du réservoir.

l'amplitude moyenne du gradient du champ de déplacement vertical tend vers une valeur positive ($\cong 0, 02$), ce qui confirme que l'amplitude de la déformation du terrain en terme de soulèvement (couleur bleue) est plus importante que celle en terme d'affaissement (couleur rouge) (tableau 7).

Tableau 7. Gonflement / Tassement (2000-2006)

	Gradient Du Champ De Déplacement Vertical (Allongement unitaire)			
	Tassement (rouge)	Triangles	Gonflement (bleu)	Triangles
Min.	0,00349962	P035, P038, P039	0,00078057	P049, P047, P046
Max.	1,05929422	P054, P004, P053	0,82859394	P008, P016, P017
Moy.	0,10885046		0,14706518	

La figure 12, représente la significativité des déformations du réseau estimées en terme de tassement et gonflement:

- En blanc (*seuil de significativité compris entre -10^{-5} et -10^{-8}*), les régions où les déformations estimées peuvent être qualifiées "significatives et de l'ordre de la déformabilité" (*seuil de significativité proche de 0*).
- En rouge, les régions où les déformations calculées ne sont pas significatives (*seuil de significativité $< 0 \cong -10^{-5}$*).

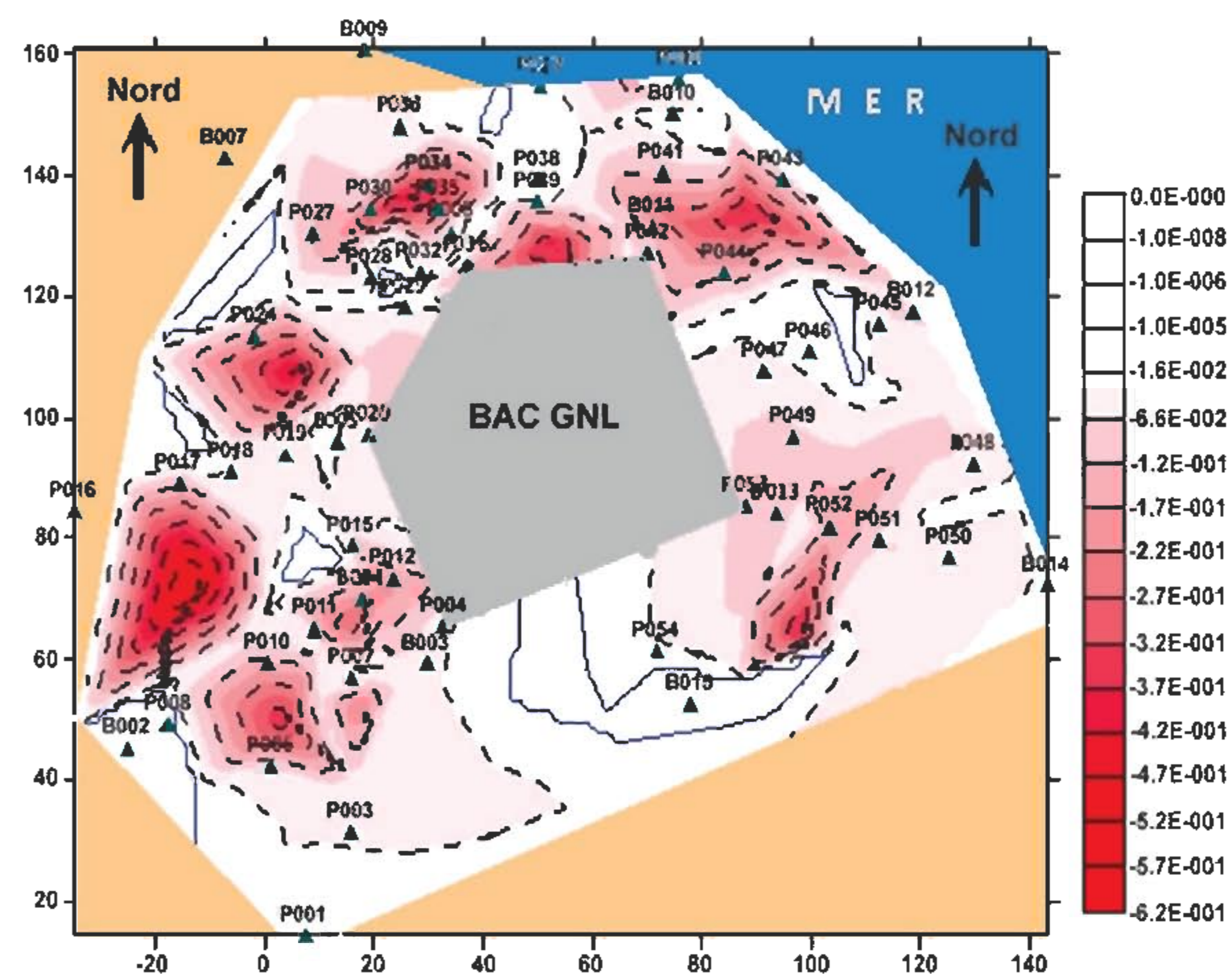


Fig. 12 Significativité du Gradient du champ de déplacement vertical (2000-2006).

Dans cet exemple (figure 12), le fait que la couleur rouge domine sur le graphe signifie que la plupart des régions de la zone d'étude ne se sont déformées significativement en gonflement et tassement.

Néanmoins, il est à noter qu'il existe des déformations en terme gonflement et tassement (en blanc) qui peuvent être qualifiées de "significatives et de l'ordre de la déformabilité" puisque leur degré de signification est proche de zéro ($\cong -10^{-7}$).

Il s'agit principalement des zones situées au Sud, Sud-Ouest, Nord, Nord-Est et Nord Ouest du bac (en blanc entouré d'un trait bleu).

V. Conclusion

L'étude des déformations dans un réseau géodésique à l'aide des tenseurs de déformation, ont l'avantage d'être indépendants du système de référence choisi. Le comportement local d'un site peut être décrit à l'aide des tenseurs de déformation qui définissent plusieurs paramètres: la dilatation (l'expansion et la contraction), le cisaillement et la rotation différentielle (torsion). Ces paramètres ont un double intérêt. Le premier réside dans le fait qu'ils explicitent le mode de déformation (par exemple, l'objet étudié se tord et/ou se dilate) et le second intérêt est qu'ils sont quantifiables (par exemple, l'objet se dilate d'une quantité dans une direction donnée). D'autre part, il est intéressant de remarquer que la déformabilité est une caractéristique inhérente au réseau et peut être déterminée au préalable.

En effet, il est possible de déterminer à priori les déformations qu'un réseau d'observations géodésiques sera apte à détecter. En outre, la définition de la significativité exposée s'adapte aux suivis des déformations de réseaux géodésiques car on se place ici dans l'hypothèse où les réseaux observés restent similaires (*mêmes points de mesure, mêmes grandeurs mesurées et mêmes précisions des observations*). En revanche, dans le cas où cette hypothèse n'est pas vérifiée, il est indispensable de prendre en considération le cas de réseaux observés différemment. En ce qui concerne l'analyse des déformations, la triangulation de Delaunay s'avère

plus appropriée aux réseaux géodésiques denses et de configuration géométrique optimale. Dans le cas contraire, il est souhaitable d'étudier les déformations par emploi de tenseurs de déformation régulièrement répartis (grille régulière), afin de faciliter l'interprétation des résultats.

Références Bibliographiques

- Akrour B., 1990: *"Étude des déformations élastiques dans la zone sismique de CHLEF"*. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, CNTS - Arzew.
- Million C., 1984: *"Conséquences de la précision des observations sur l'exploitation des mesures des mouvements des sols et des ouvrages"*. Revue ESGT-IGN, France.
- Hétroy F., 2008: un petit peu de géométrie algorithmique: *le diagramme de Voronoï et la triangulation de Delaunay*. polycopié. Année universitaire 2008-2009.
- Berber M., 2006: *"Robustness Analysis of Geodetic Networks"*. Thèse de Doctorat. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada.
- Michel V., 2001: *"Utilisation des tenseurs pour la représentation des déformations et leur degré de signification"*. Rapport technique, IGN, SGN, DTS / France.
- Michel V., Thierry Person, 2003: *"From Geodetic Monitoring to Deformation Tensors and their Reliability"*. Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece.

Variabilité de surface océanique à partir des données des altimètres Topex, Jason-1 et Jason-2

M. HADDAD , H. TAIBI , R. RAMDANI et E.H. BAYOUD

Centre des Techniques Spatiales, 1 Avenue de Palestine. BP 13 Arzew. Oran 31200. Algérie
haddad_mahdi@yahoo.fr, taibihabib@ymail.com, rabeh.ram@gmail.com, houaribayoud@gmail.com

ملخص: يلخص هذا المقال دراسة تغيرات المستوى المتوسط لسطح البحر، على المستوى الإجمالي وعبر المحيطات الثلاثة (المحيط الهادئ، المحيط الأطلسي والهندي)، وتمثيلها بواسطة نماذج رياضية.

تم استعمال التقنيات الثلاثة SSA - Spectrum Analysis، Dynamic Harmonic Regression-DHR و Singular Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess-LOESS لمعالجة السلاسل الزمنية لشذوذ ارتفاع سطح البحر، التي تم قياسها من قبل مختلف البعثات الساتلية لقياس الارتفاعات (توبكس / بوسيدون، جايسون-1 و جايسون-2) خلال الفترة الممتدة ما بين 1993 و 2010. وقد سمحت لنا هذه التقنيات استخراج من السلاسل الزمنية لشذوذ ارتفاع سطح البحر، و اشارات مستقلة و قابلة للتحليل ممثلة في التركيبة الرئيسية للاتجاه، تركيبة التغيرات الفصلية و تركيبة "الضجيج".

كنتائج محددة لهذا البحث: قدرت زيادة ارتفاع المستوى المتوسط الإجمالي للمحيطات و البحار بـ 3.17 ملم سنويا خلال الفترة 1993-2010. إذا استمرت هذه الزيادة، يمكن ان يصل ارتفاع المستوى المتوسط الإجمالي الى ما يعادل 30 سم مع نهاية القرن مما يؤدي إلى آثار سلبية على المناطق الساحلية. و تعتبر مساهمة المحيط الهندي الأهم بقيمة 3.78 ملم سنويا خلال الفترة المعتمدة.

في سياق ظاهرة الاحتباس الحراري تسمح الاتجاهات الدقيقة بتسليط الضوء على الارتفاع البطيء لمستوى سطح المحيطات تحت التأثير المشترك للتمدد الحراري، ذوبان الجليد و هطول الأمطار،... الخ.

الكلمات الأساسية: قياس الارتفاعات بواسطة السواتل، تغيرات مستوى سطح البحر، المستوى المتوسط، السلاسل الزمنية، التركيبة الرئيسية للاتجاه، تركيبة التغيرات الفصلية.

Résumé: Cet article résume l'étude de la variabilité du niveau moyen à l'échelle globale et à l'échelle des trois océans (Pacifique, Atlantique et Indien) à partir des données d'altimétrie spatiale, ainsi que sa représentation par un modèle mathématique.

Les trois méthodes d'analyse: Singular Spectrum Analysis -SSA, Dynamic Harmonic Regression -DHR et Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess - LOESS ont été appliquées sur des séries d'anomalies moyennes de hauteur de la mer (sea level anomalies-SLA), issues des mesures recueillies par les différentes missions d'altimétrie spatiale (Topex/Poseidon, Jason-1 et Jason-2) sur la période 1993-2010. Ces méthodes nous ont permis d'extraire de ces séries pluriannuelles de mesures altimétriques, des signaux indépendants et interprétables, représentant la composante principale de la tendance, la composante de saisonnalité (ou oscillation) et la composante bruit.

Comme résultats particuliers de cette étude: la hausse du niveau moyen global est estimée à 3.17 mm/an durant la période 1993-2010. Si cette tendance continue, le niveau moyen global pourrait monter de 30 cm à la fin du siècle, ce qui impliquera des répercussions négatives pour les zones côtières. Aussi, la contribution de l'Océan Indien est la plus importante avec une valeur de 3.78 mm/an sur la période considérée.

Dans le contexte du réchauffement de la planète, les tendances infimes mettent en évidence l'élévation lente du niveau moyen des océans sous l'effet conjugué de la dilatation thermique due à l'effet stérique, de la fonte des glaces et des glaciers, des précipitations, etc.

Mots clés: Altimétrie spatiale, variabilité de surface, niveau moyen, séries temporelles, tendance, saisonnalité.

Abstract: This paper summarizes the study of mean sea level variability at global scale and over the three oceans (Pacific, Atlantic and Indian) from altimetry data and its representation by mathematic models.

Three methods of analysis: Singular Spectrum Analysis -SSA, Dynamic Harmonic Regression -DHR and Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess - LOESS, were applied to mean sea level anomalies-SLA time series, obtained from TOPEX, Jason-1 and Jason-2 measurements over the period 1993-2010. These methods allowed us to extract from the multiyear series of altimeter measurements, independent and interpretable signals representing the main component of the trend, the seasonal component (or oscillation) and the noise component.

As specific results of this study: the global mean sea level rise is estimated as 3.17 mm / year during the period 1993-2010. If present trend continues, the global mean sea level could rise by 30 cm at the end of the century, which implies a negative impact on coastal areas. Also, the major contribution to the global sea level rise during 1993-2010 is from the Indian Ocean (3.78 mm/year).

In the context of global warming, the estimated trends reveal the slow rise of the mean sea level under the combined effect of thermal expansion due to the steric effect, glaciers melting, ice sheets mass loss, precipitations, etc.

Key words: satellite altimetry, surface variability, mean sea level, time series, trend, seasonality.

1. Introduction

Au cours de l'Histoire de la Terre, le niveau de la mer a fluctué sur des échelles de temps diverses. Des observations géologiques nous apprennent notamment que lors du dernier maximum glaciaire il y a 20 000 ans, le niveau marin était environ 120 mètres plus bas que celui d'aujourd'hui, l'hémisphère nord étant en grande partie recouvert de glace. Par la suite, lors de la fonte des calottes glaciaires, le niveau des océans a progressivement remonté de 10 mm environ par an entre 15 000 et 6000 ans avant notre ère (GIEC, 2001). Depuis, la montée eustatique du niveau de la mer s'est produite à un rythme moyen de 0.5 mm/an durant les 6000 dernières années, et de 0.1 à 0.2 mm/an durant les 3000 dernières années. Au cours des derniers 1000 ans et avant le 20^{ème} siècle, le taux de variation du niveau de la mer aurait été inférieur à 0.2 mm/an (Lambeck et Bard, 2000; Lambeck et al., 2002).

Alors que le niveau moyen de la mer s'est très peu élevé au cours des 1000 dernières années (moins de 0.2 mm/an), des analyses récentes utilisant les mesures des marégraphes historiques indiquent une hausse du niveau global de la mer largement supérieure, d'environ 1.5 à 2 mm/an pour le 20^{ème} siècle (Douglas, 200 ; Peltier, 2001; Church et al., 2004; Holgate and Woodworth, 2004). Cette hausse de 15 à 20 cm en un siècle (supérieure d'un facteur 10 par rapport aux siècles précédents) est l'objet d'un intérêt considérable dans le contexte actuel du réchauffement climatique observé depuis quelques décennies. Cependant la tendance des marégraphes est très hétérogène à travers le monde. En effet, les longues séries de relevés marégraphiques sont concentrées dans les ports des pays industrialisés de l'hémisphère nord, d'où une hétérogénéité de la répartition spatiale des résultats. La hausse séculaire du niveau de la mer telle qu'enregistrée par les marégraphes pourrait ne pas être représentative en terme de moyenne globale (Holgate and Woodworth, 2004). Néanmoins ces marégraphes historiques présentent un intérêt scientifique évident car ils constituent l'unique témoin des variations du niveau marin du siècle passé. La connaissance des variations absolues du niveau de la mer à l'aide des données marégraphiques reste encore aujourd'hui un défi. Mais grâce à l'altimétrie spatiale, il y a accès à un moyen d'observation du niveau de la mer complémentaire aux mesures marégraphiques.

En effet, le niveau moyen global des océans est calculé à partir des données altimétriques, de façon continue depuis Janvier 1993. Les phases de "vérification" où les satellites se suivent de très près (Jason1-Topex/Poseidon puis Jason2-Jason1), permettent de raccorder ces différentes missions, en déterminant précisément le biais existant entre chacune d'elles. L'analyse de ces observations spatiales indique une hausse de niveau de la mer de 3.17 mm/an sur la période 1993-2011 (Aviso Altimetry), valeur qui est sensiblement plus grande que celle indiquée par les marégraphes pour tout le 20^{ème} siècle (d'environ 1.5 à 2 mm/an). Les observations par satellite ont révélé que l'élévation du niveau de la mer n'est pas uniforme. Il existe des différences régionales marquées variant entre -10 et 10 mm/an (Aviso Altimetry).

Cette recherche est consacrée à l'étude de la variabilité du niveau moyen à l'échelle globale (ensemble des océans et des mers) et des trois océans (Pacifique, Atlantique et Indien) à partir de séries temporelles d'anomalies moyennes de hauteur de la mer (sea level anomalies -SLA), issues des mesures

d'altimétrie spatiale (Topex, Jason-1 et Jason-2) et qui bénéficient d'une couverture temporelle de 18 ans (1993-2010). Il s'agit ici d'extraire, par l'application de techniques appropriées, des séries pluriannuelles de mesures altimétriques, des signaux indépendants et interprétables, représentant la composante principale de la tendance, la composante de saisonnalité (ou l'oscillation) et la composante bruit.

Dans un premier temps, seront présentées les séries temporelles d'anomalies moyennes de hauteur de la mer utilisées, qui traduisent la variabilité de la topographie de surface. Ensuite, seront décrites les méthodes d'analyse utilisées pour la décomposition des séries utilisées en composantes identifiables (la tendance, les variations saisonnières et les résidus) et enfin seront présentés les principaux résultats obtenus.

2. Données utilisées

Nous avons exploité quatre séries temporelles d'anomalies moyennes de hauteur de la mer (Mean Sea Level Anomalies - MSLA) issues des trois missions spatiales Topex, Jason-1 et Jason-2 (Nerem et al., 2010). Ces séries calculées par l'Université du Colorado sur la période de janvier 1993 à décembre 2010 sont fournies avec une résolution mensuelle (une donnée par mois). Ces séries couvrent les régions suivantes: l'ensemble des océans et des mers (échelle globale), l'Océan Pacifique, l'Océan Atlantique et l'Océan Indien. Le tableau 1 décrit les paramètres utilisés dans le calcul des séries d'anomalies moyennes de hauteur de la mer (Nerem et al., 2010). La figure 1 représente les séries temporelles d'anomalies moyennes de hauteur de la mer utilisées.

Tableau 1. Paramètres et corrections utilisés pour le calcul des séries temporelles d'anomalies moyennes de hauteur de la mer (Nerem et al., 2010).

Paramètre	Topex	Jason-1	Jason-2
Période	1992-12-06 à 2002-01-10	2002-01-15 à 2008-07-02	à partir de 2008-07-03
Données	MGDR-B	GDR-C	GDR-T
Orbite	STD0905 (Lemoine et al., 2010)		
Mesure et Corrections			
Troposphère sèche	GDR (ECMWF)		
Troposphère humide	TMR (Replacement Product v.1.0)	GDR-C (Cycles 1-227); Produit de remplacement JMR (Cycles 228-259)	AMR (GDR)
Ionosphère	GDR		
Biais d'Etat de Mer	CLS Collinear v. 2009 (Tran et al. 2010)		
Centre de gravité	MGDR-B	/	
Surface de la mer moyenne & corrections			
Surface de la mer moyenne	CLS01		
Marée océanique & Surcharge	GOT4.7 (Ray 1999)		
Marée solide (ou terrestre)	GDR (Cartwright et Tayler 1971; Cartwright et Edden 1973)		
Marée polaire	GDR (Wahr 1985)		
Pression atmosphérique (baromètre inverse)	AVISO Dynamic Atmosphere Correction (DAC) qui combine MOG2D haute fréquence et signaux baromètre inverse basse fréquence (Pascual et al., 2008)		
Ajustement isostatique glaciaire (GIA)	-0.3 mm/an (Peltier 2001, 2002, 2009; Peltier and Luthcke 2009)		
Corrections de traitement			
Biais Inter-Missions	88.48 mm (Topex à Jason-1)	58.52 mm (Jason-1 à Jason-2)	
Profondeur minimale de l'océan	120 m		
Élimination des valeurs aberrantes	anomalie supérieure à 2 m		

3. Méthodes utilisées

Afin d'analyser les séries d'anomalies moyennes de hauteur de la mer dont nous disposons, nous avons employé trois techniques largement utilisées dans le domaine de l'analyse des séries temporelles. Il s'agit de: Singular Spectrum Analysis - SSA, Dynamic Harmonic Regression -DHR et Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess - LOESS. Dans ce qui suit, une description générale de ces trois méthodes d'analyse est présentée.

3.1 Singular Spectrum Analysis (Analyse singulière spectrale)

La formulation mathématique de la technique d'Analyse Spectrale Singulière (Singular Spectrum Analysis - SSA) se base sur le calcul des vecteurs propres de la matrice d'auto-covariance, voir [Golyandina et al., 2001; Hassani, 2007]. On décompose son procédé en trois étapes:

Étape 1. Choix d'un retard de covariance M (covariance-lag M): C'est l'étape la plus délicate puisque cela revient en fait à tester une certaine périodicité et donc à bien connaître les effets liés à la série étudiée (de taille N). Une fois M choisi, on découpe le signal M en morceaux de longueur de sorte que:

$$D = \begin{bmatrix} x(1) & x(2) & \dots & x(M) \\ x(2) & x(3) & \dots & x(M+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N-M+1) & x(N-M+2) & \dots & x(N) \end{bmatrix} \quad (1)$$

La matrice d'auto-covariance C est de taille (M,M) et s'écrit : $C = D^*D$.

Étape 2. Étude des valeurs propres de la matrice C : On détermine les M valeurs propres de la matrice C . En les représentant dans un diagramme à barres en ordre décroissant, on identifie immédiatement les valeurs propres isolées et les valeurs propres proches. D'une manière générale, la théorie de la SSA donne:

- valeur propre isolée = tendance,
- deux valeurs propres proches = signal périodique,
- les petites valeurs propres constituent le bruit du signal.

Étape 3. Projection de la série originale sur les vecteurs propres et reconstruction des composantes.

3.2 Dynamic Harmonic Regression (Modèle de régression dynamique harmonique)

La régression dynamique harmonique (DHR) est un cas particulier du modèle univarié de composante inobservée (*univariate unobserved component (UC) model*).

Cette technique a été développée pour l'analyse des séries chronologiques non-stationnaire au Centre de Recherche sur les Systèmes Environnementaux (CRES) de l'Université de Lancaster. Le modèle DHR peut être utilisé pour la prévision (*forecasting*), l'analyse rétrospective (*badcasting*), l'interpolation sur des données manquantes (*missing values*), l'extraction du signal et la correction des variations saisonnières. Nous présentons ci-dessous la description mathématique du modèle DHR (pour plus de détails, voir (Ng et Young, 1990), (Young, 1994) et (Young et al., 1999).

Le modèle DHR décompose, une série temporelle y_t sous forme d'un modèle additif :

$$y_t = T_t + C_t + e_t \quad e_t \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

où : T_t est la composante de tendance qui reflète la progression lente des termes de la série, C_t représente la composante saisonnière ou harmonique (terme de variation saisonnière) et e_t représente la composante irrégulière ou 'bruit' qui décrit les influences aléatoires (Irrégulières).

Le terme saisonnier est modélisé comme une somme du signal fondamental et ses harmoniques associées:

$$C_t = \sum_{i=1}^N [a_{i,t} \cos(\omega_i t) + b_{i,t} \sin(\omega_i t)] \quad (3)$$

$a_{i,t}$ et $b_{i,t}$ sont appelés paramètres stochastiques variables dans le temps (*Stochastic Time Variable Parameters -TVP*), ω_i est la fréquence liée à la série temporelle, déterminée par un processus autorégressif (AR) du spectre (Tych et al., 2002). Le problème de l'estimation de $a_{i,t}$ et $b_{i,t}$ est formulé dans un contexte d'espace d'état stochastique, puis résolu par le filtre de Kalman et par des algorithmes de lissage à intervalles fixes (*Fixed Interval Smoothing Algorithms*). Des informations détaillées sur le processus d'estimation sont données dans les références citées ci-dessus.

La composante de tendance T_t peut aussi être considérée comme un terme de fréquence nulle ($\omega_i = 0$) incorporé dans la somme du terme cyclique. Elle peut être extraite en utilisant une marche aléatoire intégrée (*Integrated Random Walk - IRW*) avec l'approche de modélisation de bruit.

3.3 Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess

La méthode 'Seasonal Trend Decomposition of Time Series by Loess' (LOESS) est une méthode non-paramétrique qui, à partir d'un modèle additif, décompose une série temporelle

en trois composantes :

tendance (T_t), saisonnalité (C_t) et résidus (ε_t) :

$$y_t = T_t + C_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

Selon (Johnson et al., 2008; Lu et al., 2001), la flexibilité et la simplicité de la technique LOESS et la performance de calcul offrent la possibilité de traiter aisément un grand volume de données.

STL (Seasonal-Trend by LOESS) est une procédure itérative qui utilise des fonctions de régression locale pondérée, appelée LOcally wEighted regreSsion Smoother – LOESS et initialement proposée par (Cleveland, 1979) et développée par (Cleveland and Delvin, 1988). Chaque point (x_0, y_0) dans l'ensemble de données est remplacé par une régression linéaire sur les points (x_i, y_i) de son voisinage, affectés d'une pondération dépendant de l'éloignement $|x_i - x_0|$ par rapport au point (x_0, y_0). Il s'agit d'un lissage non paramétrique déterminé par le nombre de points participant aux régressions locales. Les paramètres à définir sont la taille du voisinage et le degré du polynôme pour la fonction d'ajustement (constant, linéaire ou quadratique).

4. Résultats expérimentaux

4.1 Singular spectrum analysis (SSA)

L'objectif est de décomposer chaque série d'anomalies moyennes de hauteur de la mer (indépendamment des autres) en une somme de composantes. Tel que chaque composante dans cette somme peut être identifiée comme étant la composante tendance, la composante de saisonnalité et la composante bruit. Pour cela, nous cherchons tout d'abord à identifier les composantes harmoniques de

chaque série (ajustement saisonnier).

Dans le cadre de la SSA, l'approche simple pour l'extraction de la tendance consiste à reconstruire cette composante à partir des plus grandes valeurs singulières par l'intermédiaire d'une inspection visuelle. Cependant, une partie de la tendance peut exister dans d'autres composantes (Hassani 2007).

Ainsi, le jugement personnel est ici d'une importance capitale. Pour surmonter ce problème, nous avons utilisé dans notre application l'approche automatique, développée par le Dr. Theodore Alexandrov de l'université de Brême (Allemagne), pour l'extraction de la tendance et l'identification des composantes harmoniques. Cette approche automatique est décrite dans (Alexandrov et Golyandina 2005; Alexandrov 2009) et est implémentée dans le logiciel AutoSSA¹ sous Matlab.

Notons ici que la longueur de la fenêtre "covariance-lag M" est le seul paramètre dans l'étape de décomposition. Selon Golyandina et al. (2001), le covariance-lag agit comme une fenêtre sur le signal; il doit être suffisamment long pour englober la période du signal recherchée (exactement comme en analyse spectrale de Fourier). Dans notre cas, toutes les séries du niveau moyen ont la même longueur: N=216; elles contiennent des données mensuelles et chaque série temporelle a une composante saisonnière annuelle évidente (T=12). Ainsi, en utilisant la recommandation citée, nous avons choisi la longueur de la fenêtre M=N/2=108.

Les couples obtenus de valeurs propres correspondant aux composantes harmoniques et leurs contributions et par série originale sont donnés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Contribution des composantes harmoniques identifiées par région et leurs périodicités.

Région	Contribution des composantes harmoniques (%)	Périodicité (mois)
Niveau moyen global -66N:66N, 30E:390E	[3(1.674%) - 4(1.645 %)], [6(0.222%) - 7(0.217 %)], [19(0.035%) - 20(0.034 %)], [23(0.027%) - 24(0.026%)], [28(0.015%) - 29(0.015 %)]	11.962, 6.361, 5.696, 3.507, 3.627
Océan Pacifique Coordonnées : 0N, -160E	[3(3.198%) - 4(3.146%)], [11(0.340%) - 12(0.337%)], [15(0.256%) - 16(0.252%)], [17(0.239%) - 18(0.237%)]	12.022, 6.000, 10.785, 4.019
Océan Atlantique Coordonnées : 0N, -28E	[2(14.791%) - 3(13.849%)], [5(0.975%) - 6(0.946%)], [11(0.375%) - 12(0.360%)]	12.183, 5.998, 3.881
Océan Indien Coordonnées : -15N, 80E	[2(6.192%) - 3(6.039%)], [15(0.239%) - 16(0.234%)], [17(0.218%) - 18(0.209%)], [29(0.145%) - 30(0.144%)]	12.022, 2.617, 4.352, 3.643

¹ Disponible sous <http://www.pdmi.ras.ru/~theo/autossa>

Une fois les composantes harmoniques identifiées, nous avons extrait la composante tendance de chaque série ajustée.

La reconstruction des saisonnalités totales sont représentées en rouge dans la Figure 2, alors que les tendances obtenues sont représentées en rouge dans la Figure 3.

4.2 Dynamic Harmonic Regression (DHR)

Le modèle structurel pour chaque série temporelle est composé d'une tendance et de composantes saisonnières, dont les périodicités ont été définies précédemment par l'utilisation de la technique SSA (voir Tableau 2). Nous supposons que tous les paramètres temporellement variables varient sous la forme d'une marche aléatoire intégrée (*Integrated Random Walk*).

La première étape de l'analyse consiste à optimiser les hyper-paramètres du ratio de variance du bruit (*Noise Variance Ratio - NVR*) du modèle. Une optimisation du domaine fréquentiel est utilisée pour cette tâche, sur la base de l'ajustement du modèle DHR.

Les résultats de l'analyse spectrale par région sont présentés dans la Figure 4, qui montre pour chaque série temporelle le spectre identifié réel (ligne bleue: basé sur un processus autorégressif, modèle AR (16) de la série et celui adapté par le modèle DHR (ligne rouge). L'analyse spectrale reconnaît bien les périodicités utilisées pour l'analyse (pics).

Enfin, le filtre de Kalman et l'algorithme de lissage à intervalle fixe (*Fixed Interval Smoothing*) sont utilisés pour estimer le modèle (tendance et saisonnalités), sur la base des valeurs *NVR* optimisées.

La reconstruction des saisonnalités totales sont représentées en bleu dans la Figure 2, alors que les tendances obtenues sont représentées en bleu dans la Figure 3. Notons ici que ces résultats sont obtenus par un appel direct de la fonction DHR de la boîte à outils Captain² (Taylor et al., 2007).

4.3 Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess (STL)

La technique LOESS est implémenté dans R³ pour les séries temporelles par la fonction STL. Cette fonction renvoie un objet de classe STL comportant en particulier une composante appelée *time series* qui est une série temporelle multiple composée de colonnes appelées *trend*, *seasonal* et *remainder*, correspondant respectivement à la tendance, l'effet saisonnier et le reste (résidus).

Le premier argument de la fonction STL est la série temporelle et le second argument (appelé *s.window*) est soit le mot-clé 'periodic', soit une valeur numérique indiquant la taille de la fenêtre pour extraire localement les données.

La reconstruction des saisonnalités totales sont représentées en vert dans la Figure 2, alors que les tendances obtenues sont représentées en vert dans la Figure 3.

4.4 Vitesses de variation

Le taux de variation linéaire du niveau moyen par région est estimé par l'application des moindres carrés sur les tendances extraites par l'utilisation des trois techniques: SSA, DHR et STL (Figure 3). Les taux estimés sur la période 1993-2010 en mm/an sont donnés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Taux de variation des niveaux moyens sur la période 1993-2010.

Région	SSA Taux de variation (mm/an)	DHR Taux de variation (mm/an)	STL (LOESS) Taux de variation (mm/an)	Moyenne (mm/an)
Niveau moyen global -66N:66N, 30E:390E	3.18 ±0.03	3.17 ±0.03	3.16 ±0.03	3.17
Océan Pacifique Coordonnées : 0N, -160E	2.56 ±0.07	2.59 ±0.07	2.57 ±0.06	2.57
Océan Atlantique Coordonnées : 0N, -28E	2.47 ±0.07	2.85 ±0.05	2.86 ±0.04	2.73
Océan Indien Coordonnées : -15N, 80E	3.78 ±0.08	3.78 ±0.07	3.77 ±0.06	3.78

² Disponible à partir du site: <http://www.es.lanccs.ac.uk/cres/captain/download.html>.

³ R³ est un langage de programmation interactif interprété et orienté objet contenant une très large collection de méthodes statistiques et des facilités graphiques importantes. C'est un clone gratuit du logiciel S-Plus commercialisé par MathSoft et développé par Statistical Sciences autour du langage S (conçu par les laboratoires Bell). Initié dans les années 90 par Robert Gentleman et Ross Ihaka (Département de Statistique, Université d'Auckland, Nouvelle-Zélande), auxquels sont venus depuis s'ajouter de nombreux chercheurs, le logiciel R constitue aujourd'hui un langage de programmation intégré d'analyse statistique. Le site Internet de la "R core-development Team", <http://www.r-project.org>, est la meilleure source d'informations sur le logiciel R. On peut y trouver les différentes distributions du logiciel, de nombreuses bibliothèques de fonctions et des documents d'aide. Des bibliothèques supplémentaires sont aussi disponibles sur le "comprehensive R archive network" (CRAN) <http://lib.stat.cmu.edu/R/CRAN/>.

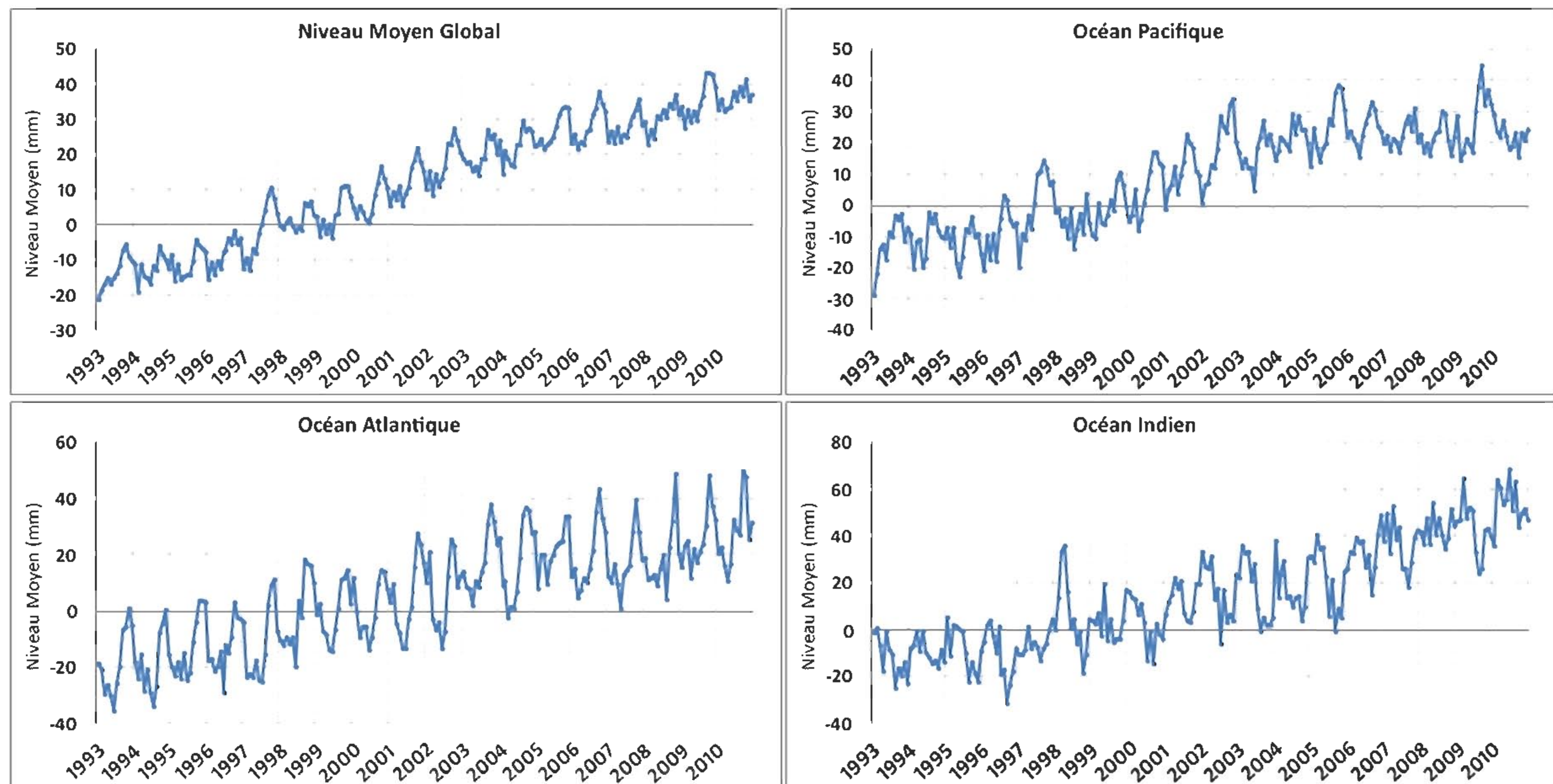


Fig. 1 Séries temporelle d'anomalies moyennes de hauteur de la mer : Niveau global des océans et mers, Océan Pacifique, Océan Atlantique et Océan Indien.

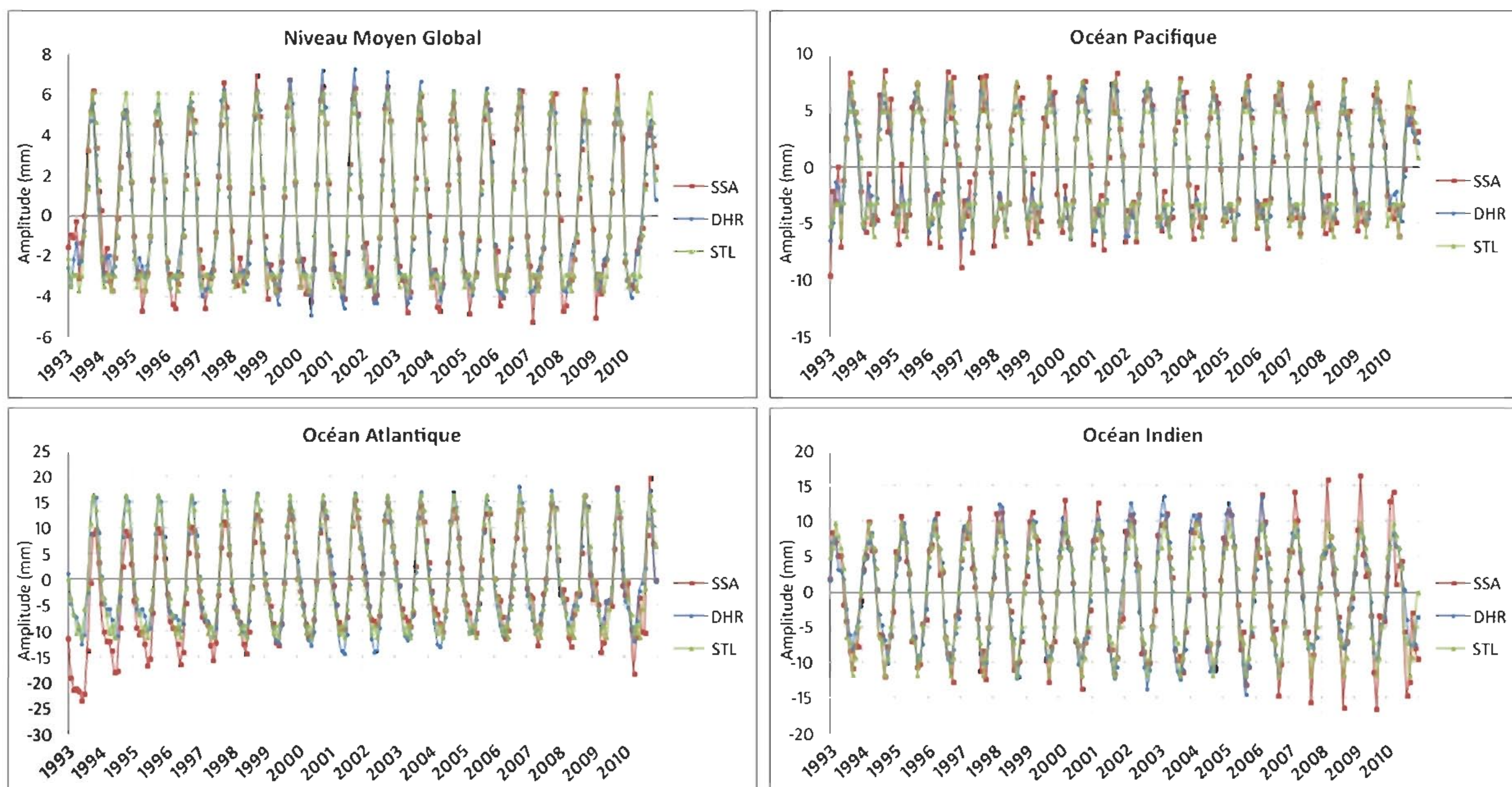


Fig. 2 Saisonnalités extraites (en rouge par la technique SSA, en bleu par la technique DHR et en vert par la technique LOESS).

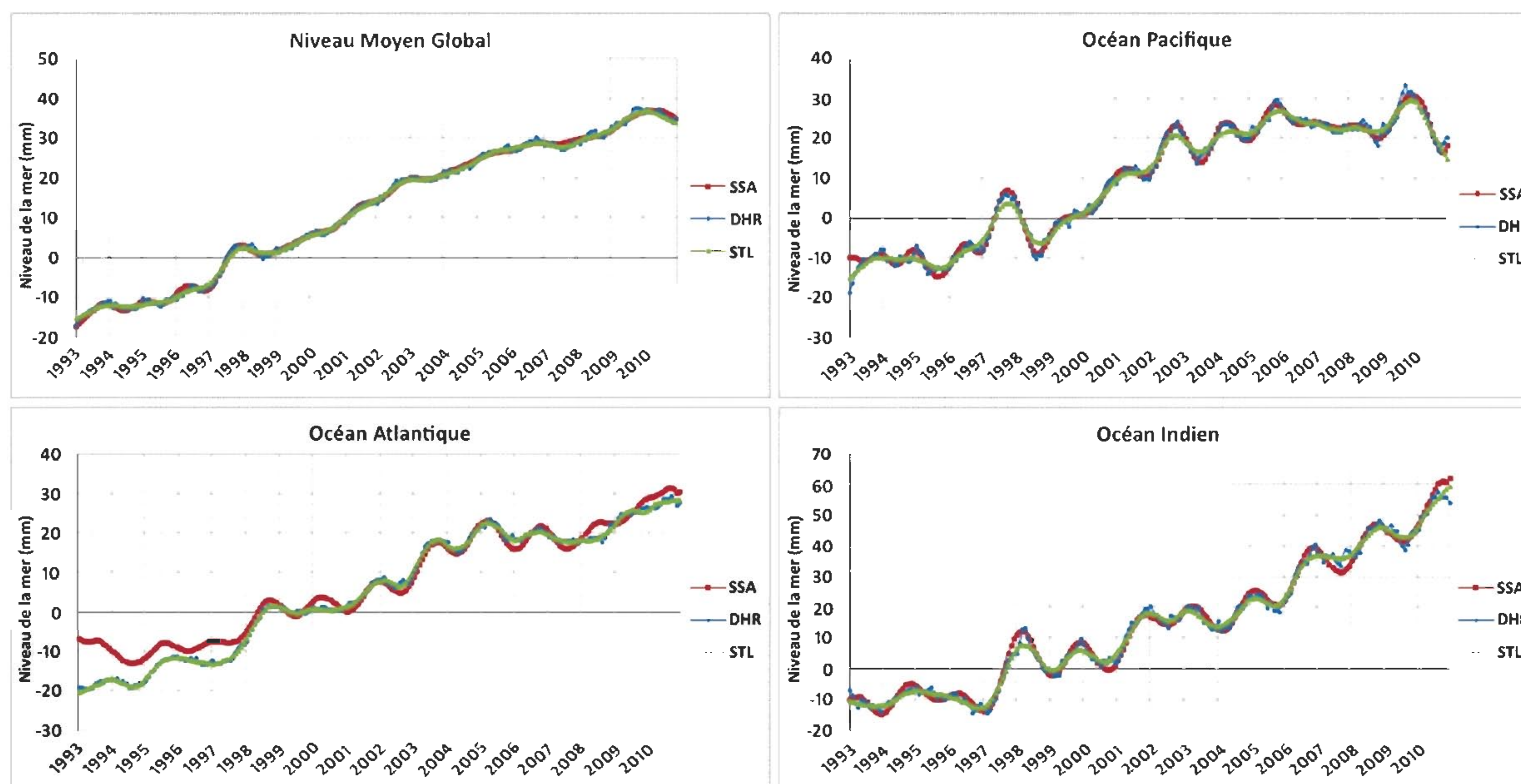


Fig. 3 Tendances extraites (en rouge par la technique SSA, en bleu par la technique DHR et en vert par la technique LOESS).

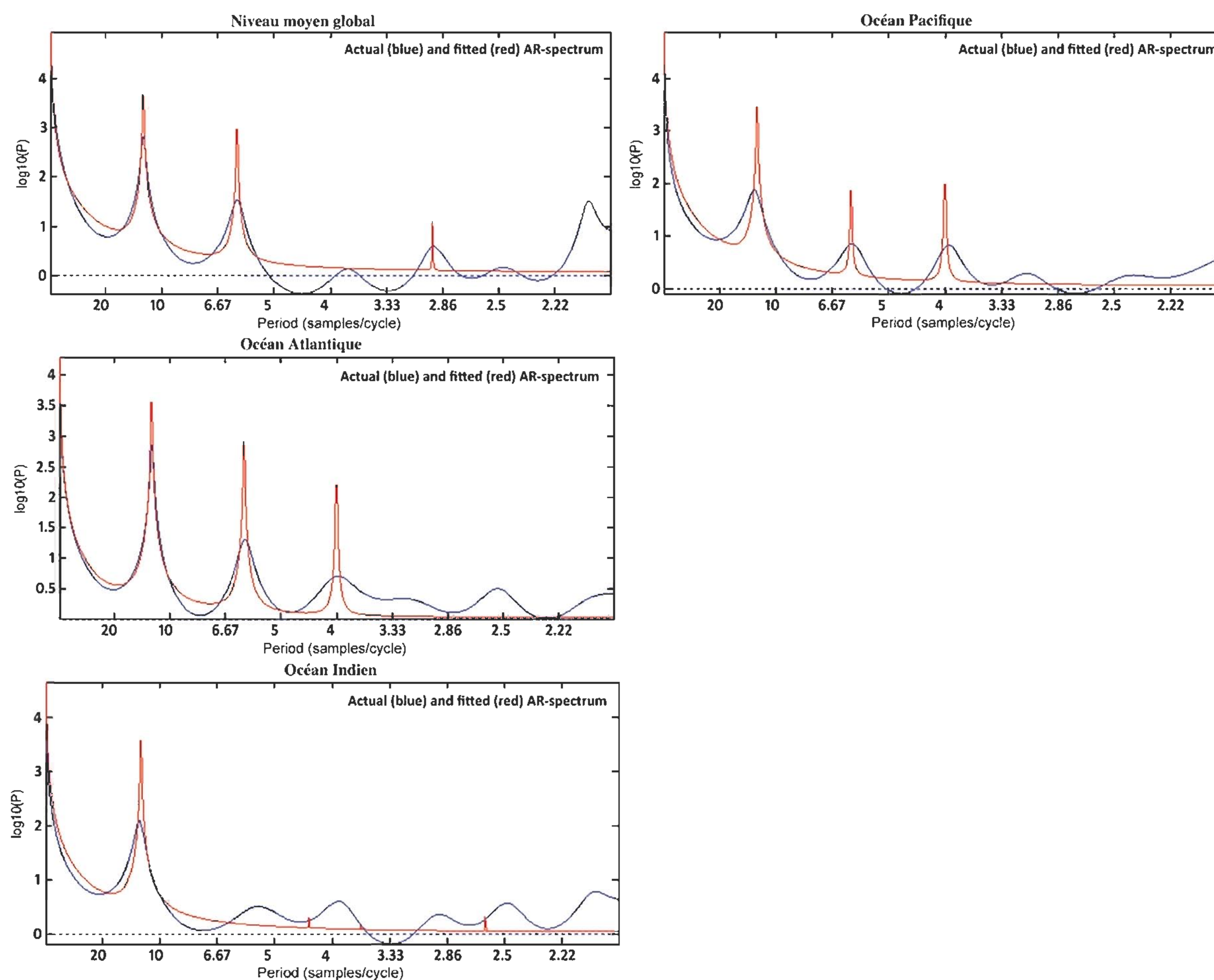


Fig. 4 Spectres estimés (bleu) et ajustés AR-16 (rouge): Niveau global des océans et mers, Océan Pacifique, Océan Atlantique et Océan Indien.

5. Conclusion

La variation de niveau des mers est un paramètre géophysique fondamental dans les études météorologiques, océanographiques et un indicateur important pour notre climat; l'océan joue un rôle fondamental dans l'évolution du climat. Il contrôle les variations climatiques à moyen et long terme s'échelonnant de la décennie au millénaire. En interaction avec l'atmosphère, il contrôle aussi les variations climatiques à plus court terme, saisonnières, annuelles ou pluriannuelles. Du fait de sa capacité calorifique mille fois supérieure à celle de l'atmosphère et de sa dynamique interne plus lente, il est en quelque sorte le "gardien des équilibres". La circulation océanique contribue notamment à l'équilibre thermique de la planète en réalisant une partie du transport méridien de chaleur de l'équateur vers les pôles.

L'objectif principal de ce travail de recherche était de tirer profit du potentiel de l'altimétrie spatiale pour le suivi de la variabilité de surface océanique. Pour arriver à ce but, nous avons exploité quatre séries d'anomalies moyennes de hauteur de la mer, issues des trois missions spatiales Topex, Jason-1 et Jason-2 et calculées par l'Université du Colorado. Ces produits ont l'avantage d'être bien adaptés pour l'étude de la partie variable du signal océanique. Ces séries, qui couvrent la période de janvier 1993 à décembre 2010 à une résolution mensuelle, concernent les régions suivantes: l'ensemble des océans et mers, l'Océan Pacifique, l'Océan Atlantique et l'Océan Indien.

Par application de trois méthodes d'analyse de séries temporelles, en l'occurrence: Singular Spectrum Analysis - SSA, Dynamic Harmonic Regression - DHR et Seasonal-Trend Decomposition Based on Loess - LOESS, nous avons décomposé chaque série en composantes identifiables:

- la tendance qui traduit l'aspect général de la série et représente l'évolution à long terme du niveau moyen de la mer,
- les variations saisonnières qui sont liées au rythme imposé par les saisons,
- les fluctuations irrégulières/résidus/bruit, qui sont des variations de faible intensité, de courte durée et de nature aléatoire.

Les résultats obtenus par l'application des trois méthodes (SSA, DHR et STL) sont cohérents. Le niveau moyen global est caractérisé par une tendance dominante croissante: le niveau s'est élevé de -17 mm à +35 mm sur la période de 1993 à 2010, soit une vitesse de 3.17 mm/an.

Alors que les vitesses d'élévation de l'Océan Pacifique, de l'Océan Atlantique et de l'Océan Indien sont estimées à 2.57 mm/an, 2.73 mm/an et 3.78 mm/an, respectivement. Si ces tendances continuent, le niveau moyen global pourrait monter de 30 cm à la fin du siècle, ce qui impliquera des répercussions négatives pour les zones côtières.

Notons par ailleurs, qu'à l'heure actuelle Topex/Poséidon n'est plus en fonctionnement mais le programme Jason assure la continuité opérationnelle de la collecte et de la distribution de données de haute précision. D'ailleurs, Jason-2 est même capable, grâce à un nouvel algorithme de traitement des mesures à bord, de mieux définir les transitions terre/eau et donc de fournir une meilleure précision. En parallèle, vont être associés des travaux sur l'obtention de meilleures corrections de marées océaniques, d'un géoïde marin plus précis même à petite échelle, etc. conditions requises pour améliorer la connaissance de la dynamique des océans, notamment en zone côtières.

Références bibliographiques

- Alexandrov, T., 2009. *A Method of Trend Extraction using Singular Spectrum Analysis*, REVSTAT Statistical Journal, 7(1):1-22.
- Alexandrov, T., Golyandina, N., 2005. *Thresholds for methods of automatic extraction of time series trend and periodical components with the help of the 'Caterpillar'-SSA approach*. In: Proceedings of the IV International Conference 'System Identification and Control Problems' SICPRO'05, 1849-1864 (in Russian).
- Cartwright, D., Edden, A., 1973. *Corrected Tables of Tidal Harmonics*. Geophysical Journal International 33(3): 253-264.
- Cartwright, D., Tayler, R.J., 1971. *New Computations of the Tide-generating Potential*. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 23(1): 45-73.
- Church, J.A., White, N.J., Coleman, R., Lambeck, K., Mitrovica, J., 2004. *Estimates of the regional distribution of sea level rise over the 1950-2000 period*. J. Climate 17: 2609-2625.
- Cleveland, S.W., 1979. *Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots*. Journal of the American Statistical Association, 74.
- Cleveland, W.S., Delvin, S.J., 1988. *Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting*. Journal of the American Statistical Association, 83: 596-610.

- Douglas, B.C., 2001. *Sea level change in the era of the recording tide gauge*. In: Douglas, B.C., Kearney, M.S., Leatherman, S.P. (Eds.), *Sea Level Rise, History and Consequences*. Academic Press, San Diego, 37-64.
- Golyandina, N., Nekrutkin, V., and Zhigljavsky, A., 2001. *Analysis of Time Series Structure: SSA and related techniques*. Chapman & Hall/CRC.
- Hassani, H., 2007. *Singular Spectrum Analysis: Methodology and Comparison*. Journal of Data Science. Vol. 25: 239-257.
- Holgate, S.J. and Woodworth, P.L., 2004. *Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990s*, Geophys. Res. Lett., 31,10.1029.
- Johnson, L., Cooke, B., Ramos, V.H., and Easson, G., 2008. *Use of NASA Satellite Assets for Predicting Wildfire Potential for Forest Environments in Guatemala*. In, Preliminary Report: University of Mississippi Geoinformatics Center.
- Lambeck, K. and Bard, E., 2000. *Sea-level change along the French mediterranean coast for the past 30 000 years*. Earth and Planetary Science.
- Lambeck, K., Yokoyama, Y. and Purcell, T., 2002. *Into and out of the last glacial maximum: sea-level changes during oxygen isotope stages 3 and 2*: Quaternary Science Reviews, v. 21. Letters, 175: 203-222.
- Lemoine et al., 2010. *Towards development of a consistent orbit series for TOPEX, Jason-1, and Jason-2*, Journal Advances in Space Research, 1513-1540 Lettre du CNES, N°139. Lancement de Topex/Poséidon -1992.
- Lu, H., Raupach, M.R., and McVicar, T.R., 2001. *Decomposition of Vegetation Cover into Woody and Herbaceous Components Using AVHRR NDVI Time Series*. In, Technical Report 35/01. Canberra (Australia): CSIRO Land and Water.
- Nerem, R.S., Chambers D., Choe, C. and Mitchum, G.T., 2010. *Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions*. Marine Geodesy, 33: sup 1, 435-446. doi: 10.1080/01490419.2010.491031.
- Ng, C.N., Young, P.C., 1990. *Recursive estimation and forecasting of nonstationary time series*. Journal of Forecasting 9: 173-204.
- Pascual A., Marta, M., Gomis, D., 2008. *Comparing the sea level response to pressure and wind forcing of two barotropic models: Validation with tide gauge and altimetry data*. Journal of Geophysical Research 113(C7).
- Pedregal, D.J., Taylor, C.J., and Young, P.C., 2007. *System Identification, Time Series Analysis and Forecasting. The Captain Toolbox Handbook v2.0*. Centre for Research on Environmental Systems and Statistics (CRES).
- Peltier, W.R., 2001. *Global glacial isostatic adjustment and modern instrumental records of relative sea-level history*, in Sea Level Rise, History and Consequences, edited by B.C. Douglas, M.S. Kearney, and S.P.
- Peltier, W.R., 2002. *Global glacial isostatic adjustment: palaeogeodetic and space-geodetic tests of the ICE-4G (VM2) model*. Journal of Quaternary Science 17(5-6): 491-510.
- Peltier, W.R., 2009. *Closure of the budget of global sea level rise over the GRACE era: the importance and magnitudes of the required corrections for global glacial isostatic adjustment*. Quaternary Science Reviews 28: 1658-1674.
- Peltier, W.R., Luthcke, S.B., 2009. *On the origins of Earth rotation anomalies: New insights on the basis of both "paleogeodetic" data and Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) data*. Journal of Geophysical Research 114(B11).
- Ray, A., 1999. *Global Ocean Tide Model From TOPEX/Poseidon Altimetry: GOT99.2*, Document Number 1999-209478, Institution NASA Goddard Space Flight Center
- Taylor, C.J., Pedregal, D.J., Young, P.C., and Tych, W., 2007. *Environmental Time Series Analysis and Forecasting with the Captain Toolbox. Environmental Modelling and Software 22: 797-814* (<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.envsoft.2006.03.002>).
- Tran, N., Vandemark, D., Labroue, S., Feng, H., Chapron, B., Tolman, H.L., Lambin, J., and Picot, N., 2010. *Sea state bias in altimeter sea level estimates determined by combining wave model and satellite data*. Journal of Geophysical Research 115, C03020.
- Tych, W., Pedregal, D.J., Young, P.C., and Davies, J., 2002. *An unobserved component model for multi-rate forecasting of telephone call demand: the design of a forecasting support system*. International Journal of Forecasting 18(4): 673-695.
- Wahr, J.W., 1985. *Deformation of the Earth induced by polar motion*. J. of Geophys. Res. (Solid Earth), 90: 9363-9368.
- Young, P.C., 1994. *Time-variable parameter and trend estimation in nonstationary economic time series*. Journal of Forecasting 13(2):179-210.
- Young, P.C., Pedregal, D.J., and Tych, W., 1999. *Dynamic harmonic regression*. Journal of Forecasting 18(6): 369-394.

Hydrologie et bilans d'eau d'un barrage en zone karstique semi-aride: Hammam Grouz (Oued Rhumel, Algérie)

N. MIHOUBI¹, A. MEBARKI¹ & B. LAIGNEL²

¹ LASTERNE Laboratoire de recherche, Université de Constantine 1, Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, route d'Ain El Bey, 25000 Constantine, Algérie.
naouelmihoubi@yahoo.fr; az.mebarki@yahoo.com

² UMR CNRS 6143 M2C, Département de Géologie, Université de Rouen, Bâtiment IRESE A, Place E. Blondel, F 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France.
benoit.laignel@univ-rouen.fr

ملخص: يتمحور هذا البحث حول دراسة حوض أعالي رومال (1130 كلم²) حيث تعتبر العينات الهيدروولوجية منتظمة من خلال سد - خزان حمام غروز، الواقع في السهول الشبه قاحلة لمدينة قسنطينة. يحتوي هذا السد على تشكلات كارستية والتي يظهر من خلالها العديد من المنابع المعدنية الحارة. تتم دراسة العمل الهيدروولوجي للسد (بقدره 45 hm³) من خلال معطيات حصيلة الضبط الشهري للفترة الممتدة ما بين سبتمبر 1987 إلى أوت 2010 فيما يخص تغير صبيب المنابع و السلوك الديناميكي لكارست. بعد العجز الكبير الذي شهدته خمسة عشر سنة من استغلال الخزان، إن الأمطار الاستثنائية للسنة الهيدروولوجية 2003/2002 تعتبر من الأمطار الأولى للسد، حيث نتج عنها مستوى ملحوظ لتسرب المياه و التي تم التأكد منها من خلال التخطيط الكيميائي.

يوضح التحليل المقارن للعينات المحسوبة في السد (أو روافد) مع تلك التي تم قياسها في محطة القياس الواقعة في المنبع، حجم التسربات التي قد تكون أكثر أهمية من التي تم قياسها في المنبع الوحيد لمنطقة حمام لذلك يستوجب تحقيق مورفوهيكلي و هيدروولوجي - جيولوجي معمق على الصعيد المحلي للنظام الهيدروولوجي.

الكلمات الأساسية: هيدروولوجيا، كارست، تسرب المياه، سد حمام غروز، واد رومال.

Résumé: Ce travail de recherche s'intéresse au bassin du haut Rhumel (1130 km²) dont les apports hydrologiques sont régularisés par le barrage-réservoir de Hammam Grouz. Situé dans les Hautes Plaines semi-arides constantinoises, ce bassin renferme des formations karstiques à partir desquelles émergent plusieurs sources, en partie thermales. Le fonctionnement hydrologique du barrage (capacité: 45 hm³) est étudié à travers les données du bilan de régularisation mensuelle de la période de septembre 1987 à août 2010, de l'évolution des débits des sources et du comportement dynamique du karst.

Après le sévère déficit qui a caractérisé quinze années d'exploitation de la retenue, les apports pluvieux exceptionnels de l'année hydrologique 2002/2003 sont à l'origine du premier déversement de crue du barrage et ont eu, pour conséquence, de remarquables débits de fuites d'eau, confirmées à l'aide des traçages chimiques. L'analyse comparative des apports calculés au barrage (ou affluent) avec ceux mesurés à la station de jaugeage, située à l'amont, a mis en évidence des volumes de fuites qui pourraient être plus importants que ceux mesurés aux seules sources du Hammam. Une investigation morpho-structurale et hydrogéologique approfondie s'impose à l'échelle régionale de l'hydrosystème.

Mots clés : hydrologie, karst, fuites d'eau, barrage de Hammam Grouz, Oued Rhumel.

Abstract: This hydrological research, focuses on upper Oued Rhumel basin (1130 km²), controlled by the Hammam Grouz Dam. This basin located at the semi arid High Plains region of Constantine contains karst formations drained by several springs, partly hydrothermal. The aim of this paper is the assessment of water dam leaks according to the water balance in the dam, springs discharge and other karst dynamic behaviors. The hydrological functioning of the dam (capacity: 45 hm³) is studied using data from the monthly balance of the reservoir, covering the period from September 1987 to August 2010. After the hard deficit observed during fifteen years of exploitation of the reservoir, the floods of the high rainy 2002/2003 year are at the origin of the first discharge of the spillway. Eventually, remarkable flow leaks were observed, which were confirmed using dye tracers. Analysis of the calculated inflow of the dam reservoir compared with discharge measured at the gauging station located at the upstream of the dam has revealed leakage. The leakages appear to be much larger than those measured at Hammam Grouz springs.

More detailed morpho-structural and hydrogeological studies are required to be applied at the regional scale of the hydrosystem.

Key words : hydrology, karst formations, leakages, Hammam Grouz dam, Rhumel.

1. Introduction

Le contexte géologique est un élément fondamental dans le choix des sites appropriés à la construction de barrages-réservoirs. Dans le cas particulier des formations calcaires, siège d'une évolution karstique, le phénomène de fuites d'eau à travers les rives et les fondations, s'avère souvent un frein redoutable à l'exploitation des retenues.

Comme Hammam Grouz, situé à proximité de la

ville de Oued Athménia (wilaya de Mila), plusieurs autres barrages en Algérie se sont trouvés confrontés à ce phénomène: Cheurfas (Oued Mebtouh) près d'Oran (GILI et al., 2004), Ouizert (Oued Sahouat) au Sud Ouest de la wilaya de Mascara (BENFETTA & REMINI, 2008), Foum El Gherza (Oued El Abiod) près de Biskra (REMINI, 2007). Dans le monde, des cas similaires sont cités par GILI et al. (2004): Montejaque (Rio Gaduares, Andalousie), Hales Bar (Tennessee, États-Unis), Keban (Euphrate, Turquie), Saint-Guilhem le Désert (Hérault, France).

Le barrage de Hammam Grouz régularise les eaux du bassin de l'oued Rhumel (1130 km²), à des fins d'alimentation en eau potable de Constantine, l'une des plus grandes villes de l'Est algérien (Figure 1).

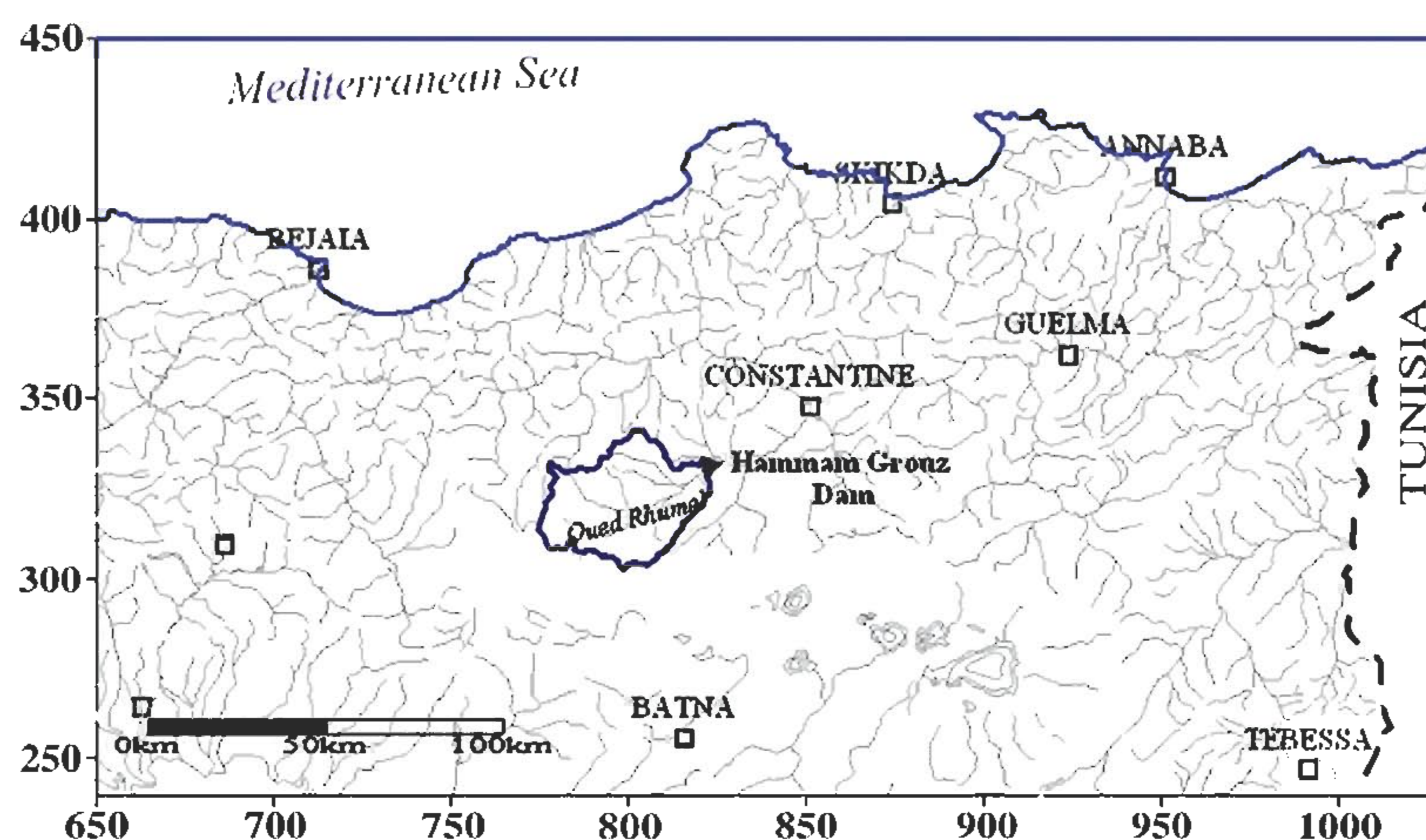


Fig. 1 Localisation du bassin de l'oued Rhumel au barrage de Hammam Grouz

Ce barrage est construit dans une cluse calcaire (Djebel Grouz), émergeant au sein d'un relief de hautes plaines dont la bordure Nord s'apparente aux collines du Tell méridional. Comme le montre la figure 2, le relief du bassin est représenté à partir du

Modèle Numérique de Terrain à maille de 100 m en coordonnées Lambert Nord Algérie, dérivé du MNA SRTM3 - Shuttle Radar Topography Mission – à maille de 90 m et traité à l'Université de Sophia-Antipolis (REZAK et al., 2012).

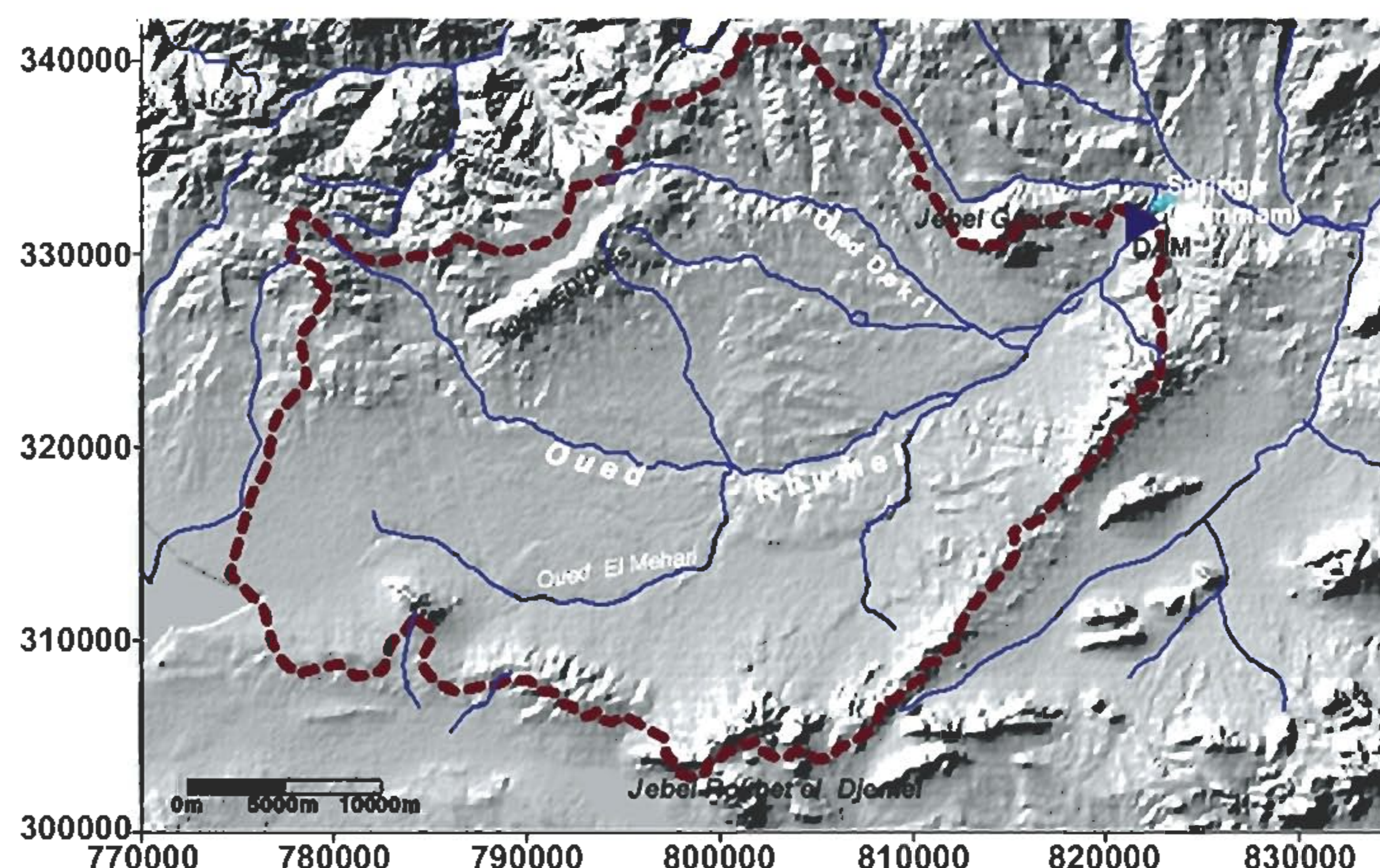


Fig. 2 Relief du bassin du haut Rhumel, vu à travers un Modèle Numérique de Terrain (MNT à maille de 100 m, coordonnées métriques Lambert Nord Algérie)

Dès sa mise en chantier en 1983, la présence du karst (cavités, fissures, dolines) sur le site de l'ouvrage a constitué le premier obstacle, auquel il a fallu parer par la mise en place d'un système d'étanchéité (béton projeté, tapis argileux sur 33 ha) (BINNIE ET PARTNERS, 1980; MEBARKI, 1994). Les problèmes sont apparus concrètement avec les apports pluvieux exceptionnels de l'année hydrologique 2002/2003 qui ont engendré de remarquables débits de fuites d'eau, et l'apparition d'importants gouffres au sein de la retenue (MEBARKI, 2009; MIHOUBI, 2009).

Le calcul du bilan d'eau du réservoir d'une part et les traçages chimiques d'autre part, ont confirmé l'ampleur des fuites d'eau et la complexité du système karstique régional.

2. Caractéristiques du bassin versant et du barrage

2.1 Contexte hydrogéologique et système karstique

Le bassin du haut Rhumel correspond aux Monts de Constantine, mais fait déjà partie, à l'Ouest, des Hautes Plaines sétifiennes. Il appartient à la chaîne alpine d'Algérie (plus précisément aux zones externes, segment de la chaîne des Maghrébides),

à cheval entre les séries pénitelliennes et les formations néritiques (WILDI, 1983). D'origine continentale, en majeure partie lacustre, les terrains superficiels du Mio-pliocène occupent de vastes espaces; les formations quaternaires, très peu épaisses, sont bien développées le long de la vallée du Rhumel et son affluent, l'oued Dekri. Les massifs rocheux carbonatés karstifiés, d'âge Crétacé à Eocène, émergent en horsts et grabens d'un ensemble de terrains à dominante marneuse (VILA, 1980).

Les principales formations hydrogéologiques sont: la nappe libre des formations du recouvrement mio-plio-quaternaire, l'aquifère de l'Eocène dont la capacité d'accumulation est liée aux intercalations perméables, et enfin, l'aquifère des massifs calcaires du Crétacé, à perméabilité en grand (Figure 3). Ces aquifères peuvent être en liaison les uns avec les autres, à l'occasion de fractures. Au pied du Djebel Grouz, l'un des massifs fragmentés du néritique constantinois, limité par d'importantes failles favorisant la karstification actuelle, émergent les sources de Hammam Grouz (DUROZOY, 1960). Le réseau à l'amont de ces émergences est caractérisé par des relais profonds et lointains, provoquant souvent un certain thermalisme (VOUTE, 1967).

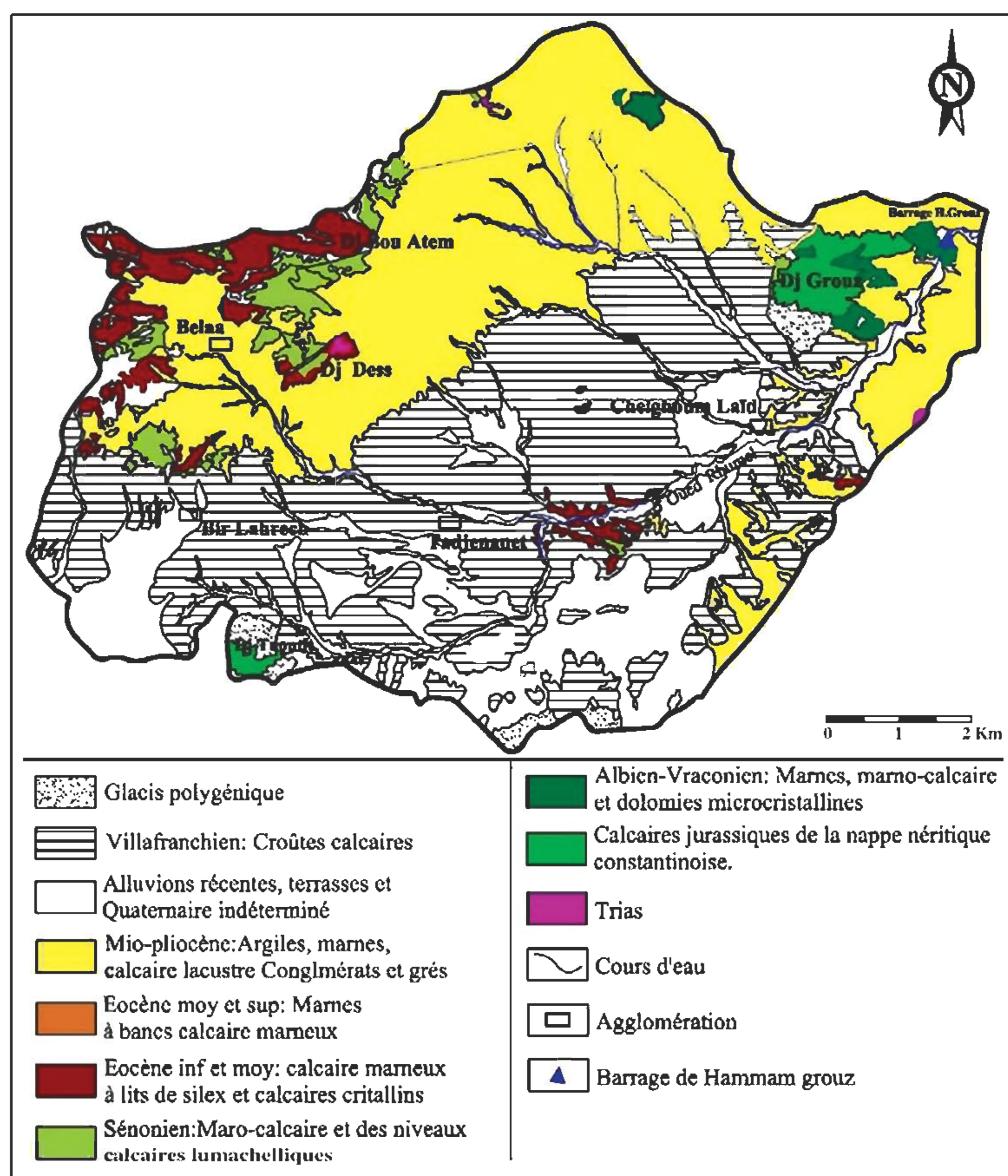


Fig. 3 Contexte géologique et hydrogéologique du bassin du haut Rhumel

2.2 Hydrologie du Haut Rhumel

Le bassin versant est soumis au climat semi aride (400 mm de pluies par an au Sud, plus de 500 mm par an au Nord; évaporation annuelle: 1100 mm). La station de jaugeage de Oued Athménia, située à l'amont immédiat du barrage, a permis d'estimer à 0.52 m³/s la moyenne interannuelle des débits de l'oued Rhumel (séries: 1964-1984 et 1993-2005), soit une lame d'eau écoulee de 14.4 mm/an (MIHOUBI, 2009). S'agissant des années hydrologiques exceptionnelles 2002/2003 et 2004/2005 qui ont fortement influencé la

vie du barrage, le débit moyen annuel a atteint respectivement 2.09 m³/s (avec un pic de 136 m³/s enregistré le 25 janvier 2003) et 1.99 m³/s. Le débit de base de l'oued Rhumel en étiage, se situe autour de 90-100 l/s (MEBARKI & THOMAS, 1988).

2.3 Caractéristiques du barrage Hammam Grouz

Le barrage est en béton poids, d'une hauteur au dessus de la fondation de 49.5 m et d'une longueur en crête de 217 m (BINNIE & PARTNERS, 1980) (Photos 1 et 2).



Photo. 1 (ANBT, 29 mars 2005) Vue amont et retenue du barrage de Hammam Grouz



Photo. 2 (ANBT, 11 avril 2005) Vue aval et déversement de crue du barrage de Hammam Grouz

Le barrage comporte un évacuateur de crue (dimensionné pour un débit de 4150 m³/s), une vidange de fond, deux galeries de drainage et trois prises d'eau localisées dans le corps du barrage. Une digue de col en remblai se trouve à l'Est du barrage principal.

La retenue qui s'étend sur une surface inondable de près de 500 ha, représente un volume total de 45 hm³ (dont une tranche morte de 4 hm³) pour une cote de retenue normale de 727 m. Le débit régularisé prévu par les études est de 16 hm³ par an.

3. Données et résultats du bilan de régularisation

3.1 Données et approche du bilan

Les principales données exploitées sont de deux types:

- les données du bilan de régularisation du barrage, établies par l'A.N.B.T. (Agence Nationale des

Barrages et Transferts) au pas de temps journalier, couvrent une période de vingt trois (23) ans, allant de la mise en exploitation de l'ouvrage en septembre 1987 jusqu'à août 2010;

- les données hydrologiques de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). Il s'agit de la série de débits moyens journaliers (septembre 1993 - août 2005) de l'oued Rhumel, issue de la station de Oued Athménia, et des mesures des fuites d'eau (une quarantaine de débits instantanés) effectuées, d'avril 2003 à juillet 2007, sur les sources du Hammam.

Les calculs de l'affluent (apports en écoulement ou entrées) et du défluent (somme des sorties: lâchers et pertes), permettent de suivre l'évolution du gain et perte de capacité de la retenue suivant la relation simplifiée du schéma de la Figure 4. Dans le cadre de ce bilan, l'affluent est dit « négatif » si la perte de capacité du barrage dépasse le défluent (mesures et calculs du bilan à vérifier).

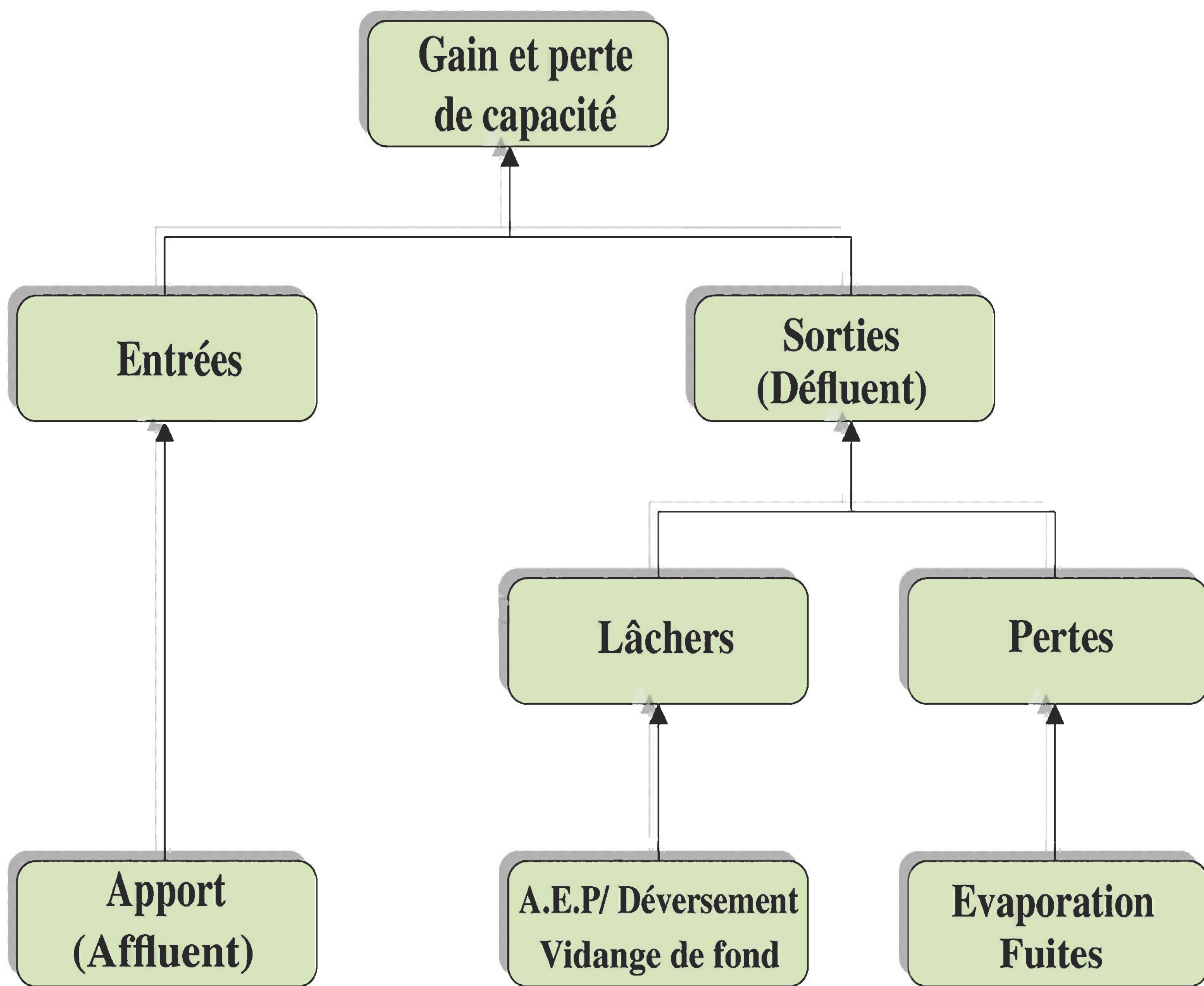


Fig. 4 Schéma représentatif des éléments du bilan d'eau d'un barrage

L'étude de la relation pluie-débit, la comparaison entre apport jaugé et affluent ainsi que le suivi des débits des fuites, sont des étapes indispensables pour l'explication du déstockage anormal constaté au barrage.

3.2 Résultats du bilan de régularisation

Jusqu'à l'année hydrologique 2001/2002, les données de variation de la capacité de fin d'année du barrage traduisent un remplissage modeste de la retenue et donc un faible taux moyen de régularisation interannuelle, de l'ordre de 30% (Figure 5). Cependant, les apports pluvieux exceptionnels de

l'année 2002/2003 sont à l'origine du premier déversement de crue dans la vie du barrage. Le cumul des déversements au terme de l'année hydrologique en question a atteint 10.2 hm³ alors que celui des vidanges de fond a atteint 17.67 hm³ (Tableau 1) (MIHOUBI, 2009).

Cet évènement hydrologique exceptionnel s'est accompagné d'importants volumes de fuites d'eau, apparus au niveau des sources du Hammam, à l'aval de la digue du barrage. Le débit de ces sources qui était en régime naturel moyen de 60-120 l/s, a augmenté de façon brusque, atteignant jusqu'à 1.5 m³/s en avril 2003.

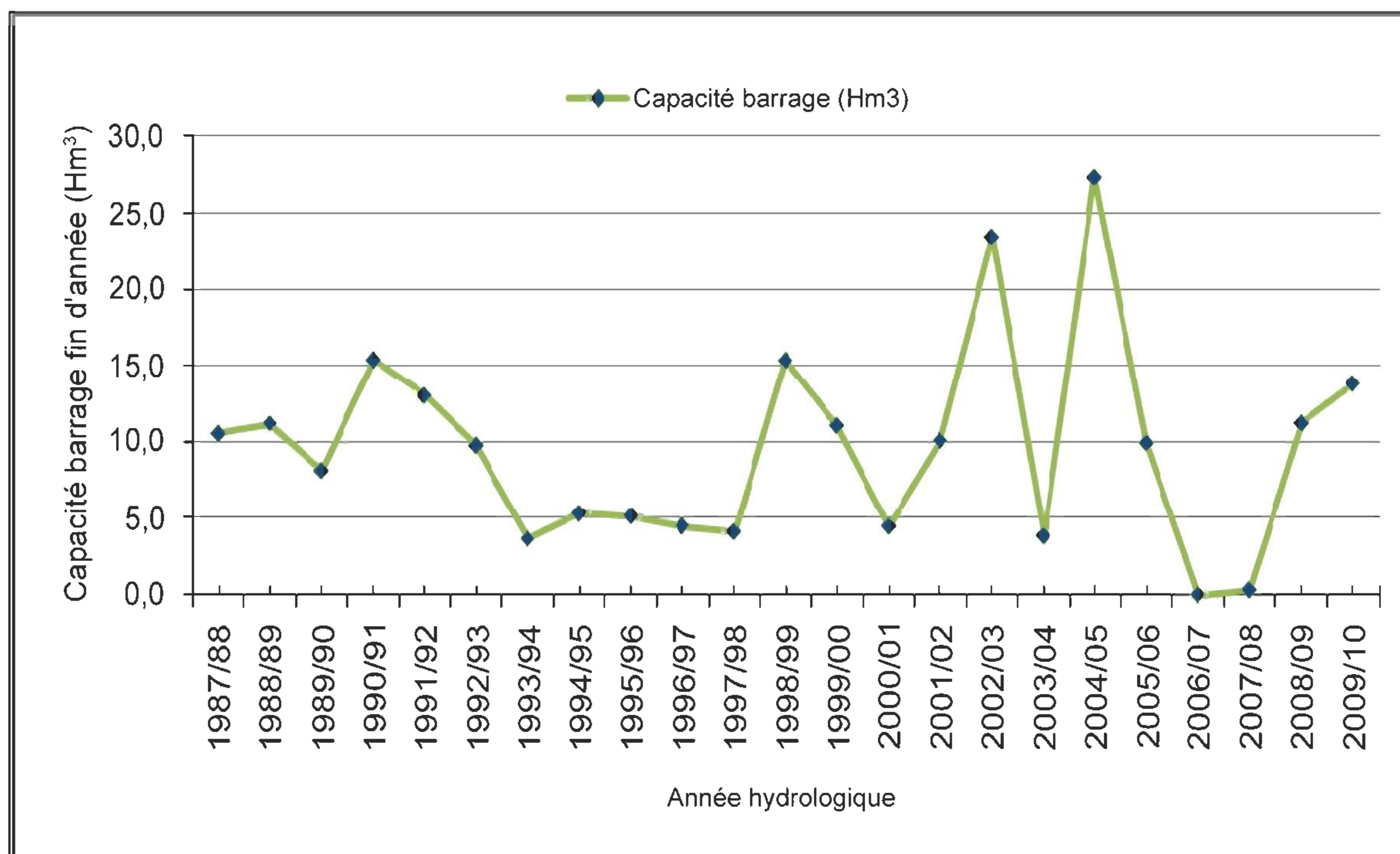


Fig. 5 Variations annuelles de la réserve du barrage Hammam Grouz (de 1987/1988 à 2009/2010)

4. Mise en évidence des débits de fuites

Des écarts importants ont été décelés entre l'affluent (apport au barrage) et l'apport annuel de l'oued Rhumel mesuré à la station de jaugeage, située à l'amont immédiat de la retenue (Figure 6).

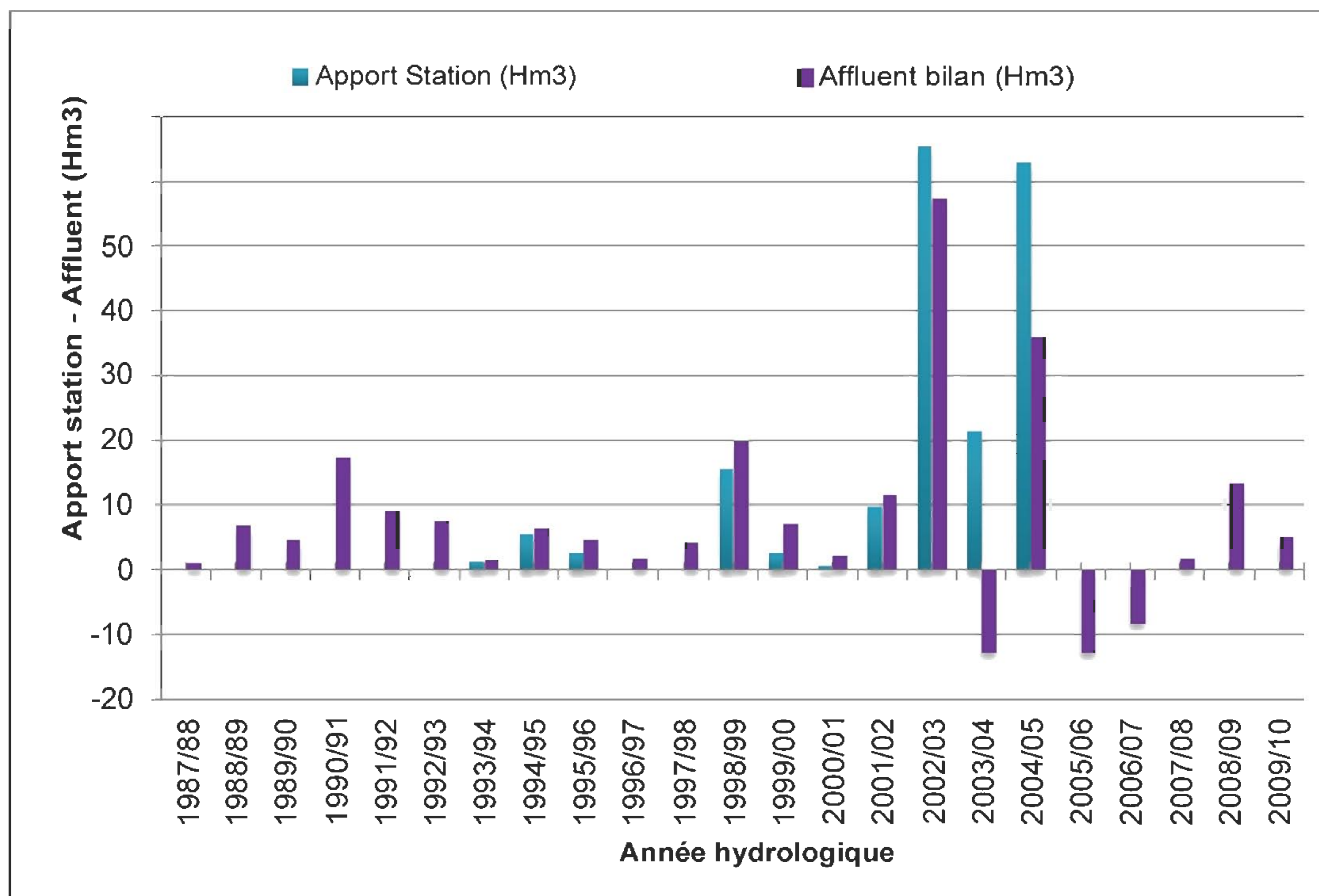


Fig. 6 Variations annuelles de l'affluent au barrage Hammam Grouz et de l'apport jaugé à la station de O. Athménia
*La série des apports de l'oued Rhumel mesurés à la station de jaugeage se limite à la période de septembre 1993 à août 2005

Ces écarts rendent compte des débits de fuites d'eau du barrage qui pourraient être bien plus importants que ceux mesurés par l'A.N.R.H sur les émergences du Hammam. Les débits de fuites corrigés s'élèvent

à 7.4 hm³ en 2002/2003, à 32.3 hm³ en 2003/2004 et à 26.2 hm³ en 2004/2005 (Tableau 1). Cela suppose que d'importantes fuites d'eau prendraient d'autres destinations à travers les conduits karstiques.

Tableau 1. Bilan d'eau du barrage de Hammam Grouz de 2002/2003 à 2004/2005

Année	Début d'année	Durant l'année						Fin d'année		Apport station de jaugeage (hm ³)	Ecart Apport station - Affluent (hm ³)	
	Capacité (hm ³)	Lâchers			Pertes		Défluent (hm ³)	Affluent (hm ³)	Capacité (hm ³)			Gain ou perte de capacité (hm ³)
		AEP (hm ³)	Déversement de crues (hm ³)	Vidange de fond (hm ³)	Evaporation (hm ³)	Fuites mesurées par ANRH (hm ³)						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) [2+3+4] + [5+6]	(8) [9-1] + 7	(9)	(10) [9 - 1]	(11)	(12) [11-8] - 6	
2002/03	10.100	10.775	10.204	17.674	4.671	0.619	43.943	57.324	23.481	13.381	65.33	7.387
2003/04	23.481	2.967	0.000	0.000	1.828	1.931	6.726	-12.848	3.836	-19.645	21.38	32.297
2004/05	3.836	5.402	0.138	1.687	4.218	0.967	12.412	35.720	27.356	23,500	62.91	26.22

Les écoulements des sources du Hammam, constatés en janvier 2003, étaient chargés d'argile rougeâtre, liée vraisemblablement à la détérioration du tapis argileux de protection de la cuvette du barrage (Photo 3). Les traçages chimiques effectués du 29 juin au 3 juillet 2003 à l'aide de la rhodamine, ont

confirmé l'origine de ces fuites, attribuée au lac du barrage. Autre manifestation des fuites karstiques, l'apparition au sein de la retenue, en avril 2003, d'un premier gouffre (vortex) d'un diamètre d'environ 1.50 m (Photo 4), et en novembre 2007, d'un deuxième gouffre de diamètre deux fois plus important.



Photo. 3 Les écoulements en aval du barrage accompagnés d'argile



Photo. 4 Gouffre karstique (vortex n°1) au sein de la retenue de Hammam Grouz

5. Conclusion

Le barrage de Hammam Grouz est implanté dans un site de gorge calcaire façonné par l'oued Rhumel au Djebel Grouz. Le flanc droit du massif, siège d'une grande faille NW-SE et de conduits karstiques, favorise d'importantes pertes d'eau, vers les sources en aval du lac de barrage. Ces fuites, révélées au grand jour depuis l'année hydrologique exceptionnelle 2002/2003, sont confirmées par les calculs du bilan du réservoir, les traçages chimiques et l'apparition de gouffres au sein de la retenue.

Les débits de fuites mesurés sur les seules sources du Hammam, s'avèrent nettement sous-estimés et d'autres exutoires probables restent à explorer. Malgré les différentes solutions de colmatage (voile d'injection, plombage des vortex) effectuées par l'organisme gestionnaire, le problème de déstockage du barrage n'est pas maîtrisé. Il nécessite une investigation approfondie (traçages chimiques, études géophysique et morpho-structurale) sur l'ensemble de l'hydrosystème du haut Rhumel.

Le barrage de Hammam Grouz, objet de préoccupation scientifique et de projets en coopération entre les Universités de Constantine et de Rouen (projet de recherche soutenu par l'Agence Universitaire de la Francophonie dans le cadre des Projets de Coopération Scientifique Inter-universitaire-; thèse de doctorat en co-encadrement) peut servir de site pilote de référence pour étudier les fuites karstiques des lacs de barrage, situés en contexte lithologique carbonaté et climatique semi-aride.

Références Bibliographiques

- BENFETTA H. & REMINI B., 2008. Les fuites d'eau à travers le barrage algérien de Ouizert. *Sécheresse*, 19 (3): 185-92.
- BINNIE & PARTNERS., 1980. Barrage de Hammam Grouz-Monographie. Ministère de l'Hydraulique, D.P.R.H., Alger, 49 p.
- DUROZOY G., 1960. Etude géologique de la région de Châteaudun du Rhumel. Publ. Serv. Carte Géol. Algérie, Nlle série n°22, Alger.
- GILLI E., MANGAN C. & MUDRY J., 2004. Hydrogéologie: objets, méthodes, applications. Dunod, Paris, 301 p.
- MEBARKI A., 1982. Le bassin du Kebir Rhumel. Ressources en eaux et aménagement en Algérie. Thèse de doctorat 3ème cycle, Université de Nancy II, 302 p.
- MEBARKI A. & THOMAS C., 1988. Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau. Application au bassin du Kébir-Rhumel dans le Constantinois (Algérie). *Hydrologie continentale*, 3 (2): 89-103.
- MEBARKI A., 1994. Le barrage d'Hammam Grouz (Haut-Rhumel, Constantinois). Bilan et perspectives d'un aménagement hydraulique en zone semi-aride. *Méditerranée*, 80 (3-4): 15-22.
- MEBARKI A., 2009. Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des Publications Universitaires, Alger, 389 p.
- MIHOUBI N., 2009. Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Mémoire de Magister (Hydrogéologie), Faculté des Sciences de la terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Université Mentouri de Constantine, 239 p.
- REMINI B., 2007. Problématique de l'eau en Algérie. Office des Publications Universitaires, Alger, 162 p.
- REMINI B., LEDUC C. & HALLOUCHE W., 2009. Evolution des grands barrages en régions arides: quelques exemples algériens. *Sécheresse*, 20 (1): 96-103.
- REZAK S., LABORDE J.P. & ERRIH M., 2012. Validation d'un modèle numérique de terrain adapté à la modélisation hydrologique régionale sur l'Algérie du Nord. *Hydrological Sciences Journal*, 57 (5): 1-14.
- VILLA J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. Thèse de doctorat en science, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 2 t. tome 1, 315 p.
- VOUTE C., 1967. Essai de synthèse de l'histoire des environs d'Aïn Fakroun, Aïn Babouche et des régions limitrophes. Publ. Serv. Carte Géol. Algérie. Nlle sér. n°36, 2 t., Alger, 390 p.
- WILDI W., 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de géol. dynamique et de géogr. phys.*, 24 (3): 201-297.

Quelques procédures pouvant améliorer la qualité d'un réseau gravimétrique

M. IDRES, A. BOURMATTE, M. OUYED & M S. BOUGHACHA
USTHB - Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement
du Territoire - Laboratoire de Géophysique-Algérie.

ملخص: تتكون الشبكة القاعدية المرجعية من قواعد الجاذبية و التي تساعد على تحديد الجاذبية في محطات كثيرة أخرى، و يستوجب ذلك إنجازها باهتمام كبير من أجل الحصول على دقة عالية. يركز اهتمامنا في هذه الدراسة على بعض الإجراءات التي يمكن أن تحسن هذه الدقة دون التحلي عن كفاءة حملة القياسات. الإجراء الأول مرتبط بالحصول على المعطيات ومرتکز على تحقيق اتصال ذهاب-إياب-ذهاب بين قاعدتين متجاورتين، هذا ما يسمح باستخدام قيمتين من هذا الاتصال و حجم اختلافه مما يسمح بتقييم دقة القياسات، أما الإجراء الثاني فهو مرتبط بمعالجة المعطيات و الذي يتكون من قسمين.

التحليل في البداية لفوارق إغلاق الشبكة، يمكن أن يبلغنا حول دقة القياسات، لأنها تمثل لكل شبكة حاصل أخطاء الوصلات التي تكونها. في الأخير، إن اتصال شبكة الجاذبية من خلال توزيع الفوارق يسمح بتحسين جودة الشبكة ومنح قيمة واحدة للجاذبية لكل قاعدة مهما كانت و ذلك من خلال تحديدها.

الكلمات الأساسية: شبكة، الجاذبية، الدقة، الاتصال.

Résumé: Un réseau de bases de référence est composé de bases gravimétriques qui serviront à la détermination de la pesanteur en beaucoup d'autres stations, d'où la nécessité de le réaliser avec un grand soin pour obtenir une bonne précision. Dans cette étude nous nous sommes intéressés à certaines procédures pouvant améliorer cette précision sans sacrifier l'efficacité et la rentabilité de la campagne de mesures. La première procédure, liée à l'acquisition des données, est basée sur la réalisation d'un *Aller-Retour-Aller* entre deux bases voisines, ce qui permet de disposer de deux valeurs de la liaison et l'amplitude de leur différence peut servir à évaluer la précision des mesures. La seconde procédure, liée au traitement de données, est constituée de deux étapes. L'analyse, dans un premier temps, des écarts de fermeture des mailles peut aussi nous informer sur la précision des mesures puisqu'ils représentent, pour chaque maille considérée, la somme des erreurs des liaisons qui la composent. Enfin, la compensation du réseau gravimétrique, à travers la répartition des écarts de fermeture, permet d'améliorer la qualité du réseau

et d'attribuer une seule valeur de la pesanteur à chaque base, quelle que soit celle à partir de laquelle elle a été déterminée.

Mots clés: Réseau, base, gravimétrie, précision, compensation

Abstract: A gravity network is composed of bases which will be used for the determination of gravity in many other stations, hence it is necessary to achieve a high accuracy. In this study, we focused on procedures which can improve the accuracy of the bases gravity. The first one, related to the data acquisition, is based on the realization of a connection between two neighboring bases, which is constituted of Go-Return-Go. Then, we can obtain two values of the connection, and the magnitude of their difference can be used to evaluate the precision of measurements. The second procedure, related to the data processing, consists of two stages. First, the analysis of the stitch gaps can also inform us about the accuracy of the measurements since they represent, for each stitch, the sum of errors that can be attributed to the connections of each one. Next, the compensation of the gravity network, through the distribution of stitch gaps over the connections, improves the accuracy of the network and assigns a single value of gravity at each base.

Key words: Gravity network, base, accuracy, compensation.

1. Introduction

Le premier réseau de bases de référence de l'Algérie a été réalisé par Lagrula (1951; 1959), à partir de la station de Bouzaréa qui fait partie du réseau mondial. Malheureusement, ce réseau n'est d'aucune utilité du fait de l'absence d'un schéma de rattachement des stations et la description fort vague de leur emplacement (BGI, 1977; 1978). Vue l'impossibilité d'utiliser les bases de ce réseau, nous avons choisi de réaliser un nouveau réseau gravimétrique pour le Nord de l'Algérie qui est composé de 74 bases de référence et 05 stations de remplacement (Idres, 1983). L'objet de cet article est de montrer l'apport de deux procédures d'acquisition et de traitement des données, à une bonne qualité d'un réseau de bases de référence.

2. Acquisition des données

Notre premier souci, lors de la réalisation du nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie (Figure 1), a été d'obtenir la meilleure précision possible de la pesanteur aux bases du réseau.

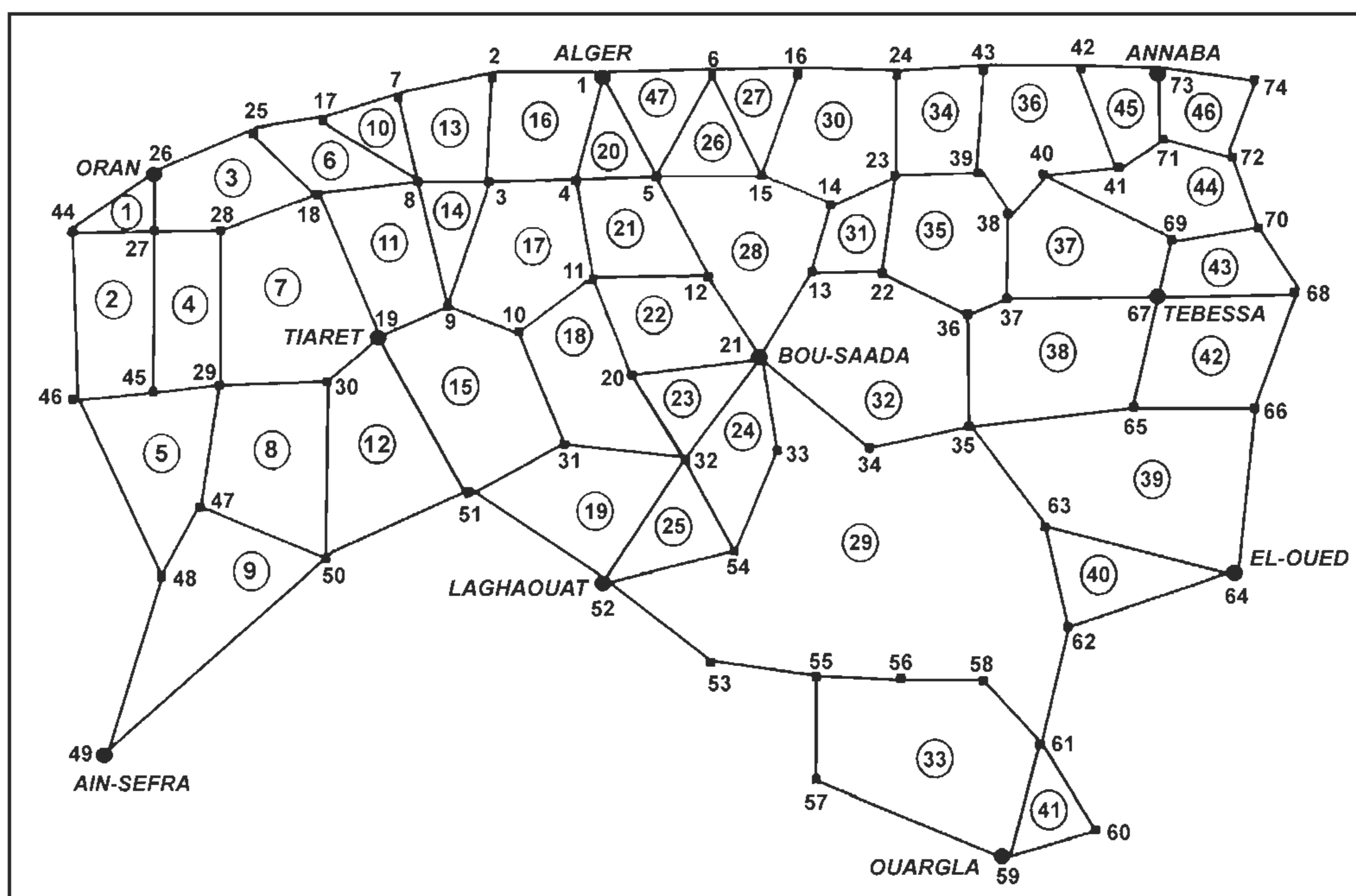


Fig. 1 Représentation schématique du nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie. Les chiffres indiquent les numéros des bases et des mailles (à l'intérieur des cercles).

Nous avons donc commencé par choisir des mailles avec un nombre de liaisons réduit, ainsi 84% des mailles sont composées d'au plus 5 liaisons, alors que 40% ont au maximum 4 liaisons et 23% ont seulement 3 liaisons (Tableau 1).

Tableau 1. Nombre de liaisons des mailles

Nombre de liaisons	3	4	5
Nombre de mailles	11	19	10
Pourcentage	23	40	21

Ce choix, déterminé par les routes reliant les bases, nous a contraints à accepter, dans la région située entre Laghouat et Touggourt, une maille composée de 12 liaisons. Pour corriger l'influence de la dérive du gravimètre, nous considérons sa variation linéaire en veillant à ce que le temps de fermeture à la même base ne dépasse pas un temps de trois heures, valeur communément admise dans l'acquisition des données gravimétriques. Notons que, plus le temps de fermeture est court, plus la dérive calculée, se rapproche de la dérive réelle. Pratiquement, on

relie la base de départ (A), où l'on connaît la valeur du champ de pesanteur, à la base (B) où l'on veut déterminer celle-ci, par un Aller-Retour-Aller. L'avantage d'effectuer trois trajets est qu'on se retrouve toujours à la base d'arrivée pour entamer une nouvelle liaison. De plus, nous pouvons disposer de deux liaisons pour seulement trois trajets, ce qui est économique et la comparaison entre les deux liaisons corrigées peut nous informer sur la précision des mesures.

Si:

(L_{A1}) et (L_{A3}) sont, respectivement, les lectures effectuées en (A) au temps (t_1) et (t_3) et (L_{B2}) et (L_{B4}) sont celles effectuées, respectivement, en (B) au temps (t_2) et (t_4)

Alors, la correction de dérive en (B) et au temps (t_2) sera déterminée par la relation suivante:

$$C_{dB2} = -k(L_{A3} - L_{A1}) (t_2 - t_1) / (t_3 - t_1), \text{ où } (k)$$

représente le coefficient d'étalonnage du gravimètre. La première liaison corrigée, entre les bases (A) et (B), sera donnée par la relation:

$$k(L_{B2corr} - L_{A2}), \text{ avec : } kL_{B2corr} = kL_{B2} + C_{dB2}$$

Pour calculer la seconde liaison entre les bases (A) et (B), nous considérons la correction de dérive en (A) et au temps (t_3) qui sera déterminée par la relation suivante :

$$C_{dA3} = -k(L_{B4} - L_{B2})(t_3 - t_2) / (t_4 - t_2)$$

Alors la valeur corrigée de la seconde liaison sera déterminée à partir de la relation suivante :

$$k(L_{B3} - L_{A3corr}), \text{ avec : } kL_{A3corr} = kL_{A3} + Cd_{A3}$$

La valeur finale de la liaison entre les bases (A) et (B) sera représentée par la moyenne des deux valeurs précédentes de la liaison:

$$k(L_B - L_A) = [k(L_{B2corr} - L_{A2}) + k(L_{B3} - L_{A3corr})] / 2$$

Remarquons que l'amplitude de la différence entre les deux valeurs de chaque liaison permet de nous informer sur la précision des mesures. Dans le cas où celle-ci est faible, alors nous pouvons adopter la liaison finale, entre les bases (A) et (B), ainsi déterminée. Dans le cas contraire, nous devons déterminer une nouvelle valeur de la liaison, à l'aide d'un nouveau trajet, et la comparer aux deux premières pour éliminer celle qui est erronée.

3. Traitement des données

Après avoir déterminé les valeurs des liaisons entre les bases du réseau, il est nécessaire d'évaluer une deuxième fois la précision des mesures à travers l'analyse de l'écart de fermeture de chaque maille défini comme étant la somme des liaisons constituant cette dernière. Si nous considérons, par exemple, une maille (α) déterminée par 03 bases de référence (A, B et C), alors son écart de fermeture, qui serait nul si les 03 liaisons de la maille ont été déterminées avec précision, est donné par la relation suivante:

$$F_\alpha = k(L_B - L_A) + k(L_C - L_B) + k(L_A - L_C) = 0$$

Généralement, cet écart de fermeture n'est pas nul et il représente la somme des erreurs des liaisons de la maille. Pour le montrer, considérons ces mêmes liaisons avec leurs erreurs respectives (E_{AB} , E_{BC} , E_{CA}), nous pouvons écrire que :

$$k(L_B - L_A)_{mesurée} = k(L_B - L_A)_{précise} + E_{AB}$$

$$k(L_C - L_B)_{mesurée} = k(L_C - L_B)_{précise} + E_{BC}$$

$$k(L_A - L_C)_{mesurée} = k(L_A - L_C)_{précise} + E_{CA}$$

Notons que ces erreurs, qui peuvent être positives ou négatives, peuvent s'ajouter ou se compenser

dans le calcul de l'écart de fermeture mais comme nous n'avons pas de méthode précise permettant l'évaluation de la précision d'un réseau de bases gravimétriques, nous pouvons raisonnablement estimer que la précision de la liaison entre deux bases de la maille considérée est de l'ordre de son écart de fermeture divisé par le nombre de liaisons qui la compose. Ensuite, une étude statistique sur toutes les précisions, ainsi déterminées, peut nous permettre d'adopter la précision du réseau de bases de référence.

4. Nécessité de la compensation du réseau de bases de référence

Avant de développer ce sujet, il faut noter que les mesures sont ce qu'elles sont et qu'aucune compensation ne peut corriger entièrement les erreurs commises sur celles-ci. Toutefois, si nous avons observé les procédures développées précédemment, nous pouvons améliorer la précision des mesures lors de l'acquisition des données et l'évaluer par l'analyse des écarts de fermeture. Avant la réalisation de la compensation, il se pose un problème lié à l'uniformité du réseau de bases. En d'autres termes, pour déterminer la pesanteur en une base du réseau, à partir de la base de départ, nous pouvons suivre des cheminements différents qui peuvent avoir des parties communes ou non et nous aurons une valeur de la pesanteur à la base considérée pour chaque cheminement.

Or il est indispensable à une exploitation correcte des programmes de mesures que chaque base de référence ait une valeur de la pesanteur et une seule. La compensation du réseau, basé sur la répartition des écarts de fermeture des mailles sur les liaisons qui les composent, a pour objectif l'obtention de résultats ayant un caractère univoque. Remarquons que cette compensation ne peut être réalisée maille par maille mais pour toutes les mailles du réseau en même temps car elles sont interdépendantes. Pour ce faire, on peut utiliser plusieurs méthodes, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Nous citerons ici deux méthodes qui peuvent être programmées sur ordinateur. Avant de les utiliser, il est nécessaire de prendre certaines précautions:

1- Orienter les liaisons de la base où la lecture est la plus faible à celle où elle est la plus élevée. Ainsi les liaisons seront toutes positives.

2- Définir un sens conventionnel de rotation, le même pour toutes les mailles et on comptera en positif toute liaison orientée dans ce sens et en négatif celles qui sont orientées dans le sens contraire, ainsi les écarts de fermeture prendront un signe.

5. La méthode des coefficients auxiliaires

Elle est réalisée en deux étapes. La première consiste à déterminer le coefficient auxiliaire (L_μ) de chaque maille (μ), par la résolution du système linéaire ($AX=B$), obtenu à partir de l'application de la relation suivante à toutes les mailles du réseau:

$$F_\mu = P_{i\mu} L_\mu - \sum_\lambda N_{\lambda\mu} L_\lambda$$

Où (F_μ), ($P_{i\mu}$) et (L_μ) représentent respectivement l'écart de fermeture, le nombre de liaisons et le coefficient auxiliaire de la maille (μ).

($N_{\lambda\mu}$) et (L_λ) représentent respectivement le nombre de liaisons communes aux mailles (λ) et (μ) et le coefficient auxiliaire de la maille (λ).

Après avoir déterminé le coefficient auxiliaire de chaque maille à partir du système linéaire précédemment défini, on calcule, en utilisant la relation suivante, la correction (C_i) à apporter à chaque liaison (i) de chaque maille (α) du réseau de bases.

$$C_i = - \sum_\alpha L_\alpha \varepsilon_{i\alpha}$$

Où

$\varepsilon_{i\alpha} = +1$ si le coté (i) est parcouru dans le sens positif

$\varepsilon_{i\alpha} = 0$ si le coté (i) n'appartient pas à la maille considérée

$\varepsilon_{i\alpha} = -1$ si le coté (i) est parcouru dans le sens négatif

6. La méthode de Kirchhoff

Elle est basée sur l'analogie que l'on peut remarquer entre le réseau de bases gravimétriques et les circuits électriques. En effet, on peut assimiler les corrections, à apporter aux liaisons du réseau, au courant circulant dans les branches d'un circuit électrique et on écrit les équations aux nœuds et les équations aux mailles.

6.1 Equations aux nœuds

$\sum_i C_i = 0$ où C_i représente la correction à apporter à la liaison (i)

6.2 Equations aux mailles

$\sum_i C_i = -F_\mu$ où (F_μ) représente l'écart de fermeture de la maille (μ) composée des liaisons (i).

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'obtenir directement les corrections, à partir de la résolution du système linéaire ($AX=B$) obtenu à partir équations précédentes. Son inconvénient, s'il en est un, réside dans la multiplication du nombre d'équations, donc de la dimension du système linéaire.

Remarque

Pour les deux méthodes précédentes, il faut ajouter chaque correction à la valeur de la liaison correspondante pour obtenir la valeur de la liaison corrigée. Il faut ensuite vérifier que l'écart de fermeture de chaque maille s'annule.

L'étape finale consiste à déterminer la pesanteur en chaque base du réseau à partir de la base voisine où la pesanteur est connue, en utilisant la relation suivante:

$g_B = g_A + k(L_B - L_A)$ Où (g_A) et (g_B) représentent les valeurs de la pesanteur aux bases (A) et (B) respectivement et $k(L_B - L_A)$ la valeur de la liaison entre les mêmes bases, déterminée après la compensation du réseau.

7. Précision du réseau de bases de référence

Pour réaliser un réseau de qualité, il faut commencer par choisir des bases pouvant être reliées entre elles en un temps le plus court possible en tenant compte de la qualité des routes et des moyens de locomotion. On peut, par exemple, installer ces bases en dehors des agglomérations et réaliser les liaisons pendant les jours où les routes sont moins encombrées.

Ensuite, comparer toujours les valeurs des liaisons entre deux bases voisines, corrigées de l'effet de la dérive et de la luni-solaire, et évaluer si la différence, entre ces valeurs, se situe dans la norme fixée auparavant. Avant de réaliser la compensation du réseau, il faut analyser les rapports de l'écart de fermeture de chaque maille sur le nombre de ses liaisons. Dans le cas du nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie, nous avons disposé de 47 mailles dont les écarts de fermeture sont donnés par le tableau 2:

Tableau 2. Précision des liaisons déterminée à partir des écarts de fermeture des mailles.

Maille	Ecart (F) (mgal)	Nombre de liaisons	Précision	Maille	Ecart (F) (mgal)	Nombre de liaisons	Précision
1	0,2	3	0,1	25	0,01	3	0,003
2	0,1	4	0,025	26	0,32	3	0,107
3	0,21	5	0,042	27	1,21	3	0,403
4	0,02	4	0,005	28	0,39	6	0,065
5	0,06	5	0,012	29	0,15	13	0,012
6	0,27	4	0,068	30	0,16	5	0,032
7	0,51	5	0,102	31	0,3	4	0,075
8	0,07	4	0,018	32	0,42	6	0,07
9	0,07	4	0,018	33	0,1	6	0,017
10	0,03	3	0,01	34	0,02	4	0,005
11	0,14	4	0,035	35	0,1	6	0,017
12	0,71	4	0,178	36	0,14	6	0,023
13	0,26	4	0,065	37	0,26	5	0,052
14	0,33	3	0,11	38	0,1	5	0,02
15	0,1	5	0,02	39	0,17	5	0,034
16	0,3	4	0,075	40	0,06	3	0,02
17	0,59	5	0,118	41	0,2	3	0,067
18	0,19	5	0,038	42	0,09	4	0,023
19	0,04	4	0,01	43	0,1	4	0,025
20	0,4	3	0,133	44	0,44	6	0,07
21	0,39	4	0,133	45	0,31	4	0,078
22	0,13	4	0,033	46	0,27	4	0,068
23	0,78	3	0,26	47	0,1	3	0,033
24	0,29	4	0,073				

La précision, obtenue pour chaque liaison a été déterminée par le rapport de l'écart de fermeture de chaque maille sur le nombre de ses liaisons. L'étude statistique de cette précision (Figure 2) montre que 24 liaisons ont une valeur située autour de 0.02 mgal, 13 liaisons ont une valeur située autour de 0.06 mgal et 05 liaisons ont une valeur située autour de 0.1 mgal. Donc, sur un total de 47 mailles, 43 mailles (91%) sont composées de liaisons dont l'indice de qualité est inférieur ou égal à 0.1mgal.

Même si l'on ne peut pas calculer la précision du réseau, à partir des données précédentes, on peut raisonnablement penser que le nouveau réseau de bases de référence du Nord de l'Algérie est de bonne qualité.

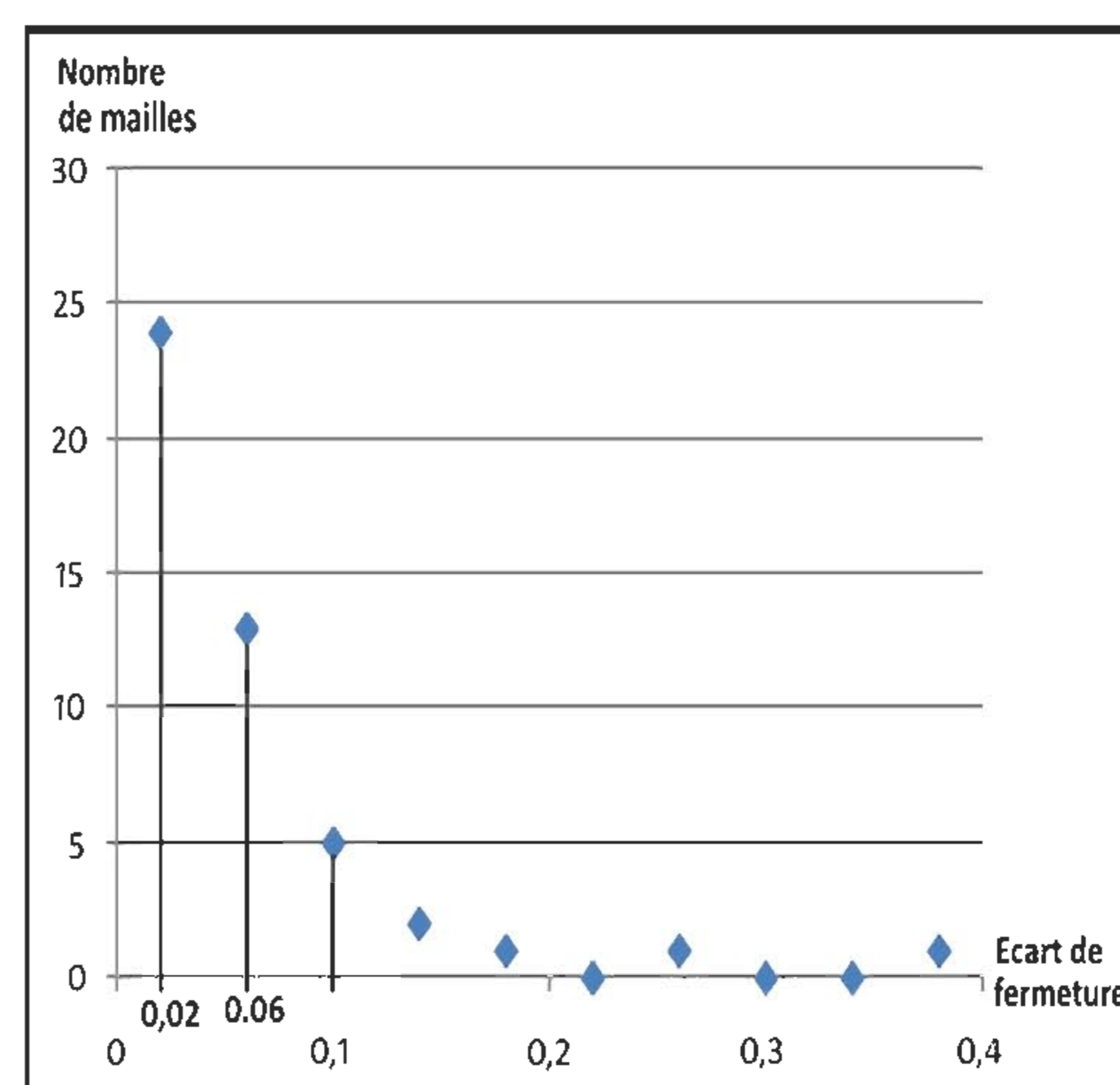


Fig. 2 Nombre de mailles du réseau en fonction de leur écart de fermeture.

8. Conclusion

Réaliser un réseau de bases gravimétriques de qualité est nécessaire car il est à la base de toute étude gravimétrique ultérieure. Pour cela, on doit d'abord choisir la position des stations telle que les liaisons entre les bases doivent être effectuées en un temps le plus court possible pour considérer la variation la dérive du gravimètre linéaire. Au fur et à mesure de l'acquisition des données, on doit toujours évaluer la qualité des mesures en comparant les valeurs des liaisons entre deux bases voisines et c'est pour cela que l'on doit disposer d'au moins deux valeurs pour chaque liaison. La compensation du réseau permet, en plus d'attribuer une seule valeur de la pesanteur à chaque base, d'améliorer les résultats en répartissant les écarts de fermeture des mailles sur les liaisons qui les composent. Si l'erreur sur une liaison est importante mais acceptable, la compensation permet de réduire son influence en la diluant sur les autres liaisons de la maille.

Références bibliographiques

- B.G.I., 1977; 1978. Transformation du système ORSTOM en IGSN1971 à partir des résultats publiés dans le catalogue: « Etablissement . . . ». Cf (4), Univ. P. et M. Curie, Paris (France).
- Idres, M., 1983. Réseau de bases de référence et cartes des anomalies de Bouguer et isostatique de l'Algérie du Nord; Etude gravimétrique du massif d'Alger. Thèse de Magister, USTHB, Alger (Algérie), 75p.
- Lagrula, J., 1951. Etude gravimétrique de l'Algérie-Tunisie. Bull. Serv. Carte Géol., Algérie, 4, 2, 114p.
- Lagrula, J., 1959. Nouvelles études gravimétriques, première partie, stations de référence de l'Algérie et du Sahara. Publ. Serv. Carte Géol., Algérie, Nouvelle série, 25, travaux collaborateurs, p. 265-304.

Analyse de l'étalement urbain de la ville de Mostaganem à l'aide des données satellitales multi-dates

N. BENTEKHICI & DJ. YOUSFI

Centre des Techniques Spatiales, Algérie / Agence Spatiale Algérienne

1, Avenue de Palestine. BP 13 Arzew. Oran 31200. Algérie

Nadjla_b@yahoo.fr

ملخص: إن البحوث المتعلقة بالتوسع الحضري هي مسألة خرائطية، للتقييم و المتابعة المكانية - الزمنية للمدن. بحيث يتوجب استعمال الاستشعار عن بعد لأنه يوفر لنا صوراً بصفة مستمرة و التي تسمح لنا بتمييز الأقاليم و توسعها.

يوفر تطور الوسائل الحديثة للكشف عن بعد و الإعلام الآلي بشكل عام، دعماً لسكان المدينة من أجل دراسة و متابعة المجال الحضري ذو التوسع السريع كما هو واضح في مدينة مستغانم. تتمتع هذه المدينة بإمكانيات سياحية هامة مرتبطة بواجهتها البحرية و اتصالها السهل (شبكة الطرقات السريعة) مع مدينة وهران (80 كلم) و المركز الصناعي لأرزو - بطيو (40 كلم). عرفت هذه المدينة السياحية عدة تغيرات اجتماعية - مكانية عميقة و توسع حضري مهم نتج خاصة عن مختلف برامج الدولة المتعلقة بالسكن، التنمية العقارية العمومية و الخاصة، المرافق العامة و كذا المناطق السكنية الفردية و بشكل خاص مستعملو العقار.

الهدف من هذا المقال هو استعمال أجهزة الكشف للأقمار الصناعية لاندسات من أجل تحديد حجم و اتجاه التوسع الحضري لمدينة مستغانم. يتم استعمال صورة TM لاندسات التي تم التقاطها سنة 1984 و سنة 2007 على التوالي (لاندسات ETM+) من أجل تكيم و تمييز المكان الحضري و متابعة التوسع في المناطق المحيطة. تكمن منهجية هذا البحث في استعمال تقنية الكشف عن التغيرات من خلال طريقة التصنيف المراقب من أجل إعداد خرائط المناطق الحضرية و الغير حضرية لسنتي 1984 و 2007 و كذا طريقة الدمج لاستخراج عناصر النمو الحضري. تبين نتائج هذه الدراسة بوضوح أن مدينة مستغانم قد توسعت ما بين 1984 و 2007 بنسبة متوسطة تقدر بـ 3.3% في السنة. تكمن أيضاً هذه المنهجية على استعمال تطبيق المؤشر كويراس على الصورتين من أجل إعداد خريطة التغير الحضري. تسهل تقنيات معالجة الصور الحصول على معطيات مفيدة لتقييم التوسع الحضري.

الكلمات الأساسية: التوسع الحضري، الاستشعار عن بعد، مستغانم، توسع مكاني.

Résumé: Les recherches sur l'étalement urbain posent la question de la cartographie, de l'évaluation et du suivi spatio-temporel des villes. Elles interpellent la télédétection car celle-ci fournit en continu des images qui permettent de caractériser les territoires et leur évolution.

Le développement de nouveaux outils de télédétection et de l'informatique d'une manière générale, offre aux urbanistes une aide pour l'étude et le suivi de l'espace urbain à évolution rapide comme le montre la ville de Mostaganem. Une ville qui bénéficie d'un potentiel touristique important lié à sa façade maritime. De liaison aisée (réseau autoroutier) avec la métropole oranaise (80 km) et le pôle industriel d'Arzew - Bethioua (40 km), cette agglomération portuaire a connu des mutations socio-spatiales profondes et un étalement urbain important, produit essentiellement par les différents programmes étatiques de logement, les promotions immobilières publiques et privées, les équipements publics ainsi que les zones d'habitat pavillonnaire individuel particulièrement consommateur du foncier.

L'objectif de cet article est d'utiliser les images des capteurs des satellites Landsat pour déterminer la taille et la tendance de la dynamique urbaine de Mostaganem. Une image TM de Landsat, acquise respectivement en 1984 et en 2007 (Landsat ETM+) sont utilisées en vue de quantifier et caractériser l'espace urbanisé et de suivre l'évolution périurbaine. La méthodologie consiste à utiliser la technique de détection des changements par la méthode de classification supervisée afin d'établir les cartes des espaces urbanisés et non urbanisés pour les années 1984 et 2007, ainsi que la méthode de fusion pour extraire les éléments de croissance urbaine. Les résultats de cette étude montrent clairement, qu'entre 1984 et 2007, la ville de Mostaganem s'est étendue à un taux moyen de 3.3 % par an. La méthodologie consiste aussi à utiliser l'application de l'indice de cuirasse sur les deux images pour établir une carte de changement du tissu urbain. Ces techniques de traitement d'images facilitent l'acquisition des données utiles à l'appréciation de l'extension spatiale.

Mots clés: extensions urbains, télédétection, Mostaganem, dynamique spatiale.

Abstract: Research on the urban extension asks the question of the cartography, the evaluation and the space-temporal follow-up of the cities. They challenge the remote sensing because this one provides uninterrupted images which make it possible to characterize the territories and their evolution.

The development of new tools of remote sensing and data processing generally, offer with the town planners a help for the study and the follow-up of urban space with quick change as the town of Mostaganem shows it. A city which profits from an important tourist potential related to its maritime frontage. Of easy connection (motorway network) with the Oranian metropolis (80 km) and the industrial pole of Arzew – Bethioua (40 km), this urban area knew major socio-space changes and an important urban extension, produces primarily by the various official programs of housing, public and deprived property developments, public equipment as well as the zones of individual suburban habitat particularly consuming the land one.

The objective of this article is to use the images of the sensors of the Landsat satellites to determine the size and the trend of the urban dynamics of Mostaganem. An image TM of Landsat, acquired respectively in 1984 and 2007 (Landsat ETM+) is used in order to quantify and characterize urbanized space and to follow the evolution semi urban. Methodology consists in using the technique of detection of the changes by the method of classification supervised in order to establish the cards of the spaces urbanized and not urbanized for the years 1984 and 2007, as well as the method of fusion to extract the elements from urban growth. The results of this study show clearly, that between 1984 and 2007, the town of Mostaganem extended to an average rate from 3.3% a year. Methodology also consists in using the application of the index of cuirasse on the two images to establish a map of change of urban fabric. These techniques of image processing facilitate the acquisition of the data useful for the appreciation of the space extension.

Key words: extensions urban, remote sensing, Mostaganem, Space Dynamics.

1. Introduction et méthodologie de travail

L'Algérie a connu une croissance démographique importante. Mieux encore, 95 % de cette croissance s'opèrent dans les villes (ONS 2008). Par conséquent, l'assiette urbaine connaît des transformations spatiales rapides. Mostaganem, comme les autres villes d'Algérie, se densifie et s'étale sur l'espace périurbain.

La maîtrise de cette croissance urbaine est indispensable car elle conditionne la qualité de vie mais aussi le développement économique : la majeure partie des richesses étant créée dans les villes. Le bon fonctionnement d'une agglomération dépend de la qualité des infrastructures et de leur organisation. Une réalité d'autant plus exigeante que de nouveaux besoins apparaissent en termes de services : eau et assainissement, lutte contre la pollution, déchets, système de distribution d'énergie, réseaux de communication et de transports etc. Dans les pays développés le phénomène urbain est un enjeu majeur de développement. C'est pourquoi il est nécessaire de quantifier et mesurer cet étalement.

Afin de contribuer à mesurer l'étalement urbain, des images satellitaires sont utilisées pour délimiter, localiser et quantifier l'évolution spatio-temporelle de la ville de Mostaganem. La disponibilité de l'imagerie de moyenne et très haute résolution, permet désormais d'accéder à des niveaux de détails élevés facilitant des analyses croisées sur le milieu urbain. Une des applications des images satellitaires est le suivi des changements sur un espace donné, utilisant l'approche de détection des changements.

Deux modes de détection des changements sont utilisés dans cette étude. Le premier consiste à comparer visuellement les images afin d'identifier les changements intervenus. C'est une technique bien rodée communément appelée « photo-interprétation » mais dont les résultats dépendent des qualités du photo-interprète et de ses travaux sur le terrain. Le deuxième procédé consiste à identifier et quantifier automatiquement les différents types de modifications sur des images préalablement classées par l'application de l'indice de cuirasse, un indice qui permet de différencier des surfaces bâties et des sols nus. Les surfaces végétalisées et aquatiques apparaissent en noir alors que les surfaces minéralisées sont codées en gris clair ou en blanc.

L'opération procède aux compositions des images d'indice multi date (pour les changements thématiques). Cette dernière méthode est appliquée sur les deux images de Mostaganem afin d'estimer le taux de l'extension spatiale et la superficie urbanisée entre 1984 et 2007.

2. Cadre d'étude

Depuis les années 1988, la population connaît une croissance élevée. Mostaganem est passée de

101600 habitants en 1977, 114000 en 1987, 125900 en 1998 et 145960 en 2008 (ONS, Algérie).

Le taux de croissance annuelle de la population de Mostaganem demeure l'un des plus importants en Algérie, il est de l'ordre de 1.6 % annuellement pour la période (1998 et 2008) voir figure n°1 (ONS 2008). Par conséquent, l'espace urbain se développe aussi de façon spectaculaire ou significative.

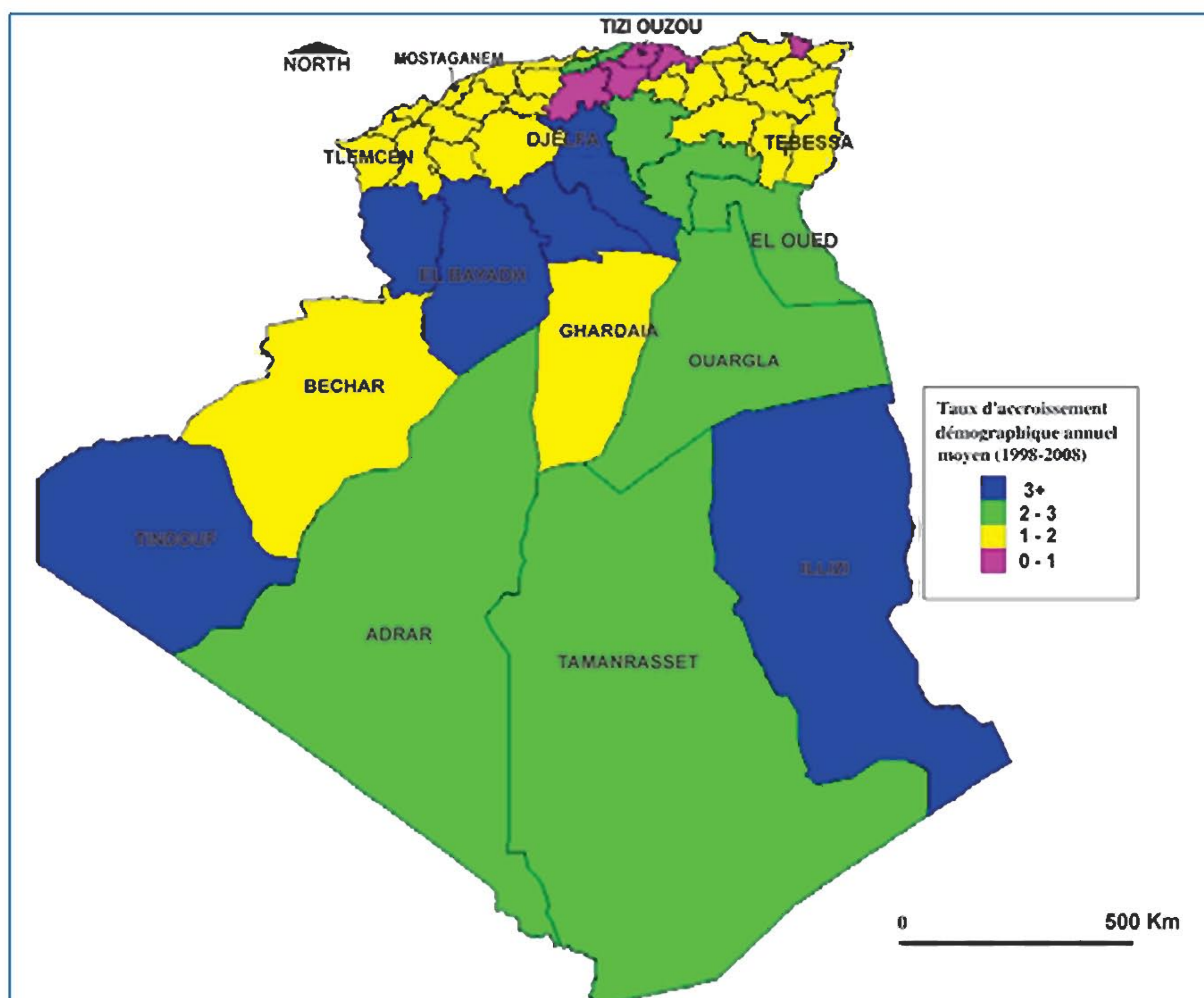


Fig. 1 Taux d'accroissement démographique annuel moyen (1998-2008) en Algérie (source ONS).

Mostaganem est située à 104 m d'altitude sur le rebord d'un plateau côtier. La ville s'ouvre à l'ouest sur la large baie d'Arzew qui se ferme par le djebel Orouse. Capitale du Dahra, elle est assise sur les rives de l'Aïn Sefra dont, à plusieurs reprises et notamment en 1927, elle a eu à redouter les crues. Elle se compose d'une périphérie nouvelle et très étendue, qui s'étire à l'ouest vers la Salamandre (logement social, cité administrative...) et à l'est vers Kharrouba (programmes logement, équipements universitaires et sanitaires...). Quant à la vieille ville (Tijditt et Tebana), plus compacte, particulièrement précaire, située de part et d'autre d'un profond ravin creusé par l'oued Aïn Sefra, qui a pendant de longues années assuré l'irrigation de ses jardins maraîchers.

Dans les années 70, Mostaganem a bénéficié d'un programme de planification urbaine qui a tracé les grandes orientations de son développement urbain. La Salamandre, une station balnéaire au sud-ouest du centre-ville, est devenue un quartier de l'agglomération. Au sud l'extension de l'urbanisation a assuré la jonction avec Mazagran, une des communes qui surplombe la ville. Au nord est vers Kharrouba, de grands projets structurants ont vu le jour tels le nouveau pôle universitaire, les cités universitaires et le nouvel hôpital. La partie donnant sur la mer est dominée par l'habitat individuel et semi-collectif. L'espace bâti de Mostaganem s'est accru à un rythme annuel de 7.34 % entre 1977 et 2000, la superficie bâtie de la ville est multipliée par 1.5 (données DPAT Mostaganem).

Cette étude se propose de mesurer l'étalement de la ville de Mostaganem sur cet espace à paysage urbain contrasté entre 1984 et 2007 (23 ans) et cela à partir

des images de capteurs des satellites Landsat TM et ETM+ ainsi que les images du satellite très haute résolution Quick Bird.

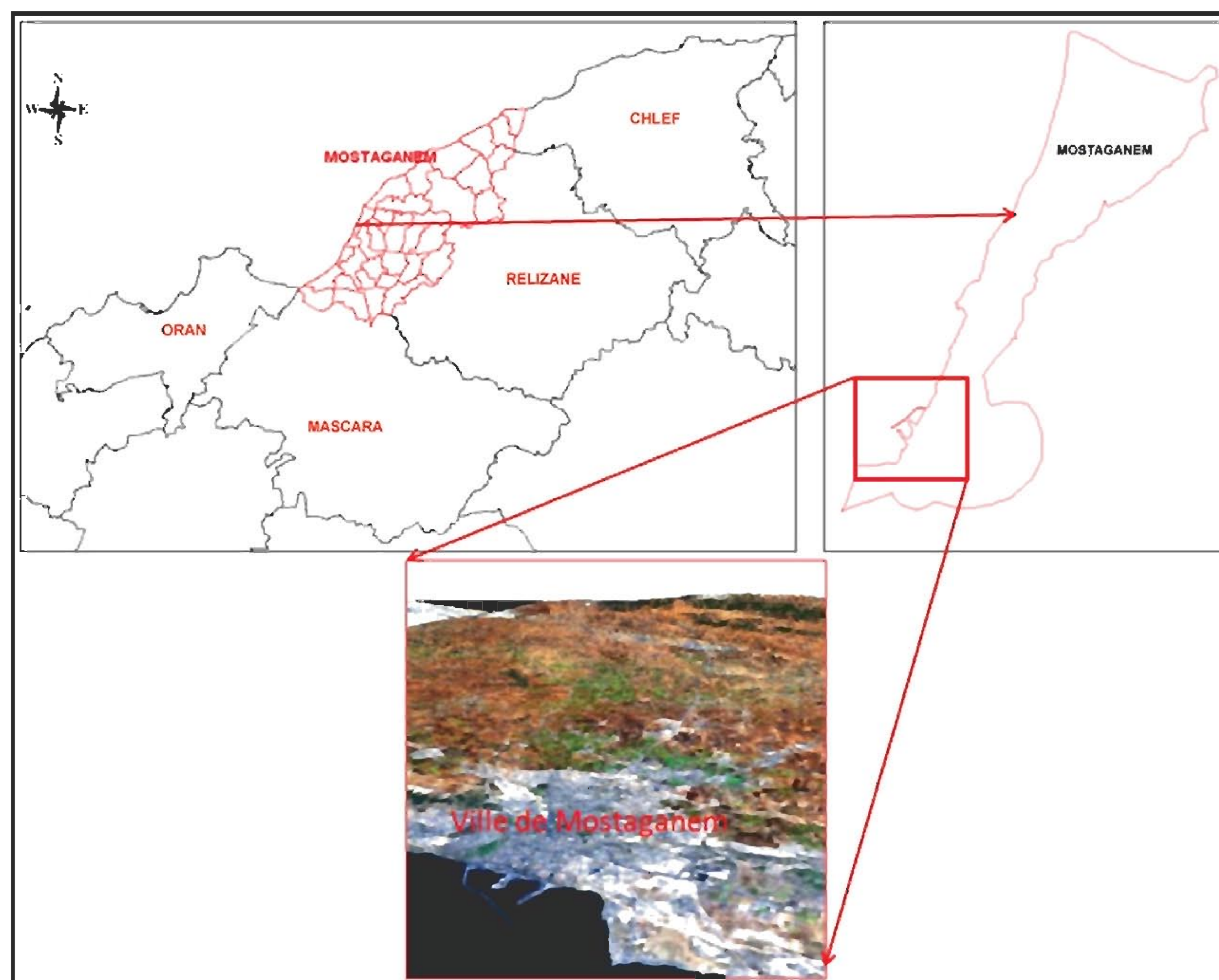


Fig. 2 Localisation de la ville de Mostaganem

3. Données utilisées et leurs traitements

La moyenne résolution du "Thematic Mapper" des satellites Landsat 5 et 7 (30 mètres) a élargi le champ d'application de l'imagerie satellite, en particulier dans l'étude des villes. De ce fait au cours des dernières années, la télédétection urbaine a bien évolué. Landsat est devenu un outil intéressant pour produire facilement des fonds de cartes et étudier les structures et l'étalement des villes.

Dans ce domaine et afin d'étudier l'évolution urbaine de l'agglomération de Mostaganem, nous avons traité deux scènes multi spectrales et multi-dates des satellites Landsat (année 1984 et 2007) sur un intervalle de 23 ans ainsi que l'image à très haute résolution du satellite Quick Bird (année 2006). Ces informations sont couplées à des données auxiliaires disponibles dans le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) de Mostaganem.

En vue de réaliser une étude multi temporelle destinée à mesurer ces dynamiques urbaines, les images qui ont servi de base à cette étude sont les suivantes :

1. Image Landsat TM prise en 01/11/1984 d'une résolution de 30 m ;

2. Image Landsat ETM+ prise en 09/05/2007 d'une résolution de 30 m ;

3. Image Quick Bird prise en 2006 d'une résolution de 0.6 m.

L'exploitation de ces données satellitaires a nécessité un certain nombre de traitements spécifiques. En effet nous avons réalisé une composition colorée de trois canaux (TM1, TM3, TM4), corrigés géométriquement. Des traitements similaires ont été appliqués aux images des deux dates, afin d'extraire les informations utiles et élaborer des cartes nécessaires à la caractérisation des modes d'occupation du sol et à l'évaluation de l'évolution du bâti. Différents traitements ont été réalisés :

- Extraction des zones d'intérêt : agglomération urbaine, communauté urbaine, ville Mostaganem ;
- Analyse des compositions colorées pour déterminer les types d'occupation du sol ;
- Classification supervisée sur des extractions correspondant aux zones d'intérêt ;
- Estimations statistiques d'occupation sol en milieu urbain ;
- Evaluation de l'emprise du bâti et de son évolution spatio-temporelle par l'application de l'indice de cuirasse.

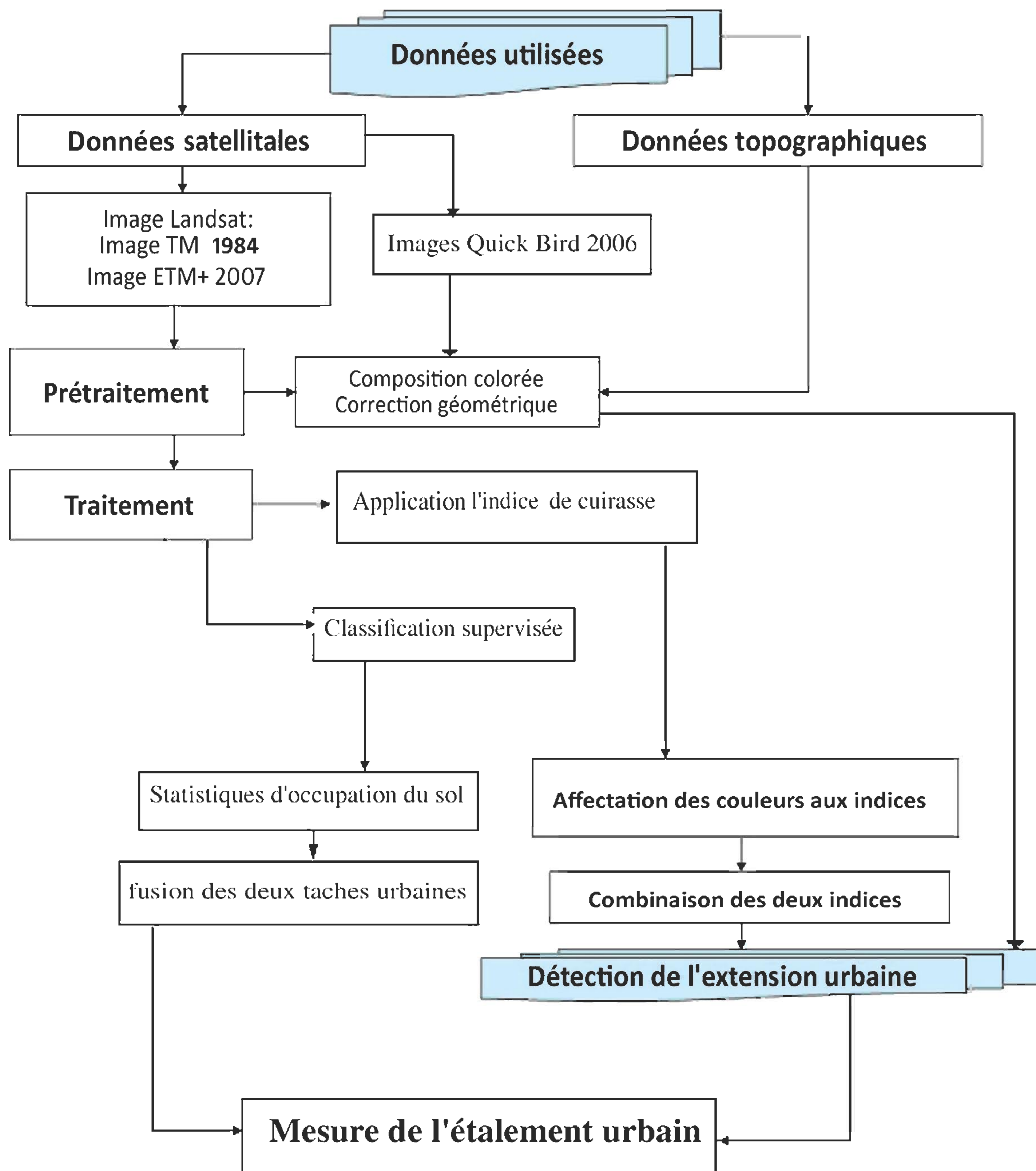


Fig. 3 Organigramme de la méthodologie utilisée

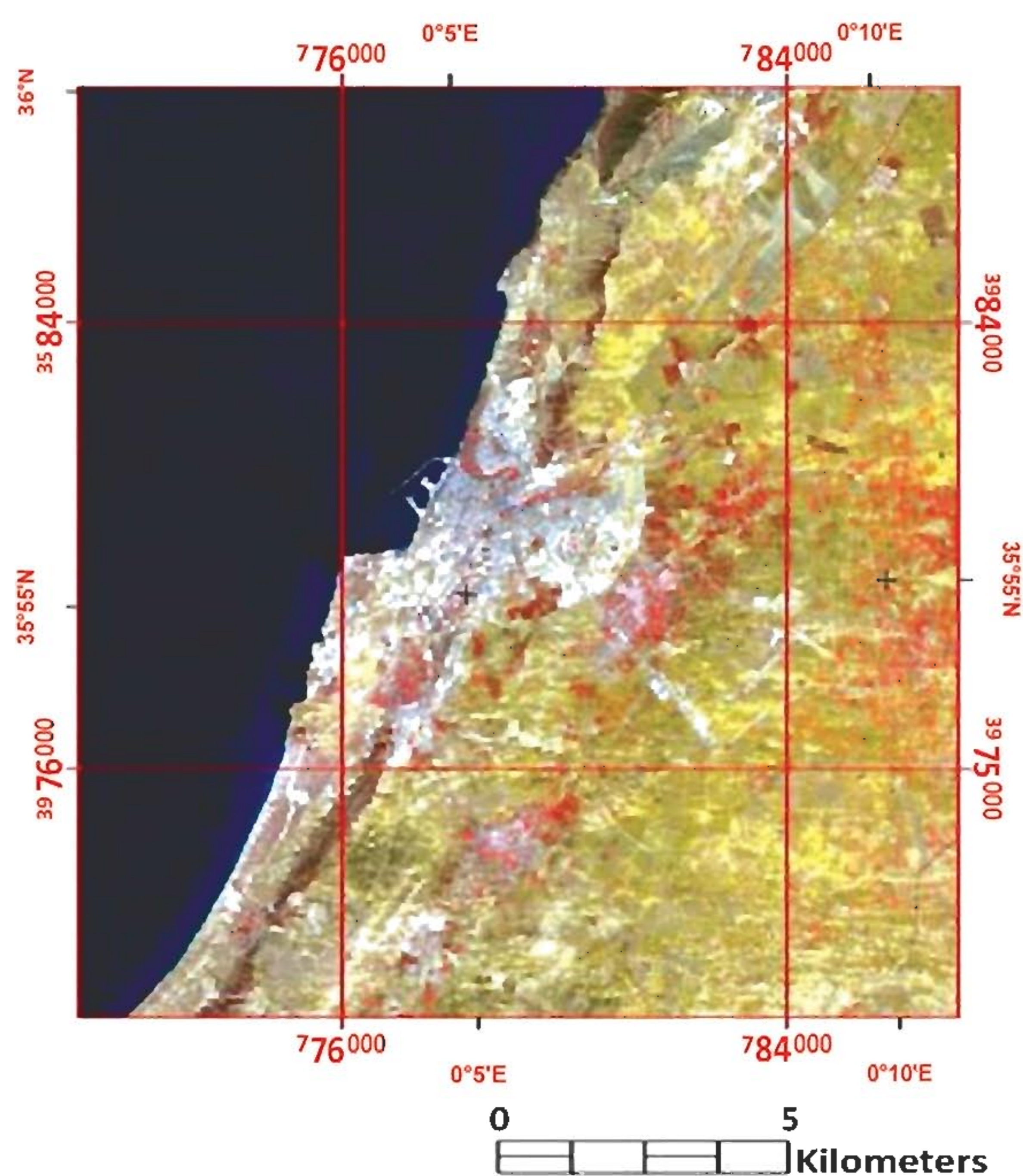


Fig. 4 Image Landsat TM de la ville de Mostaganem prise en 1984.

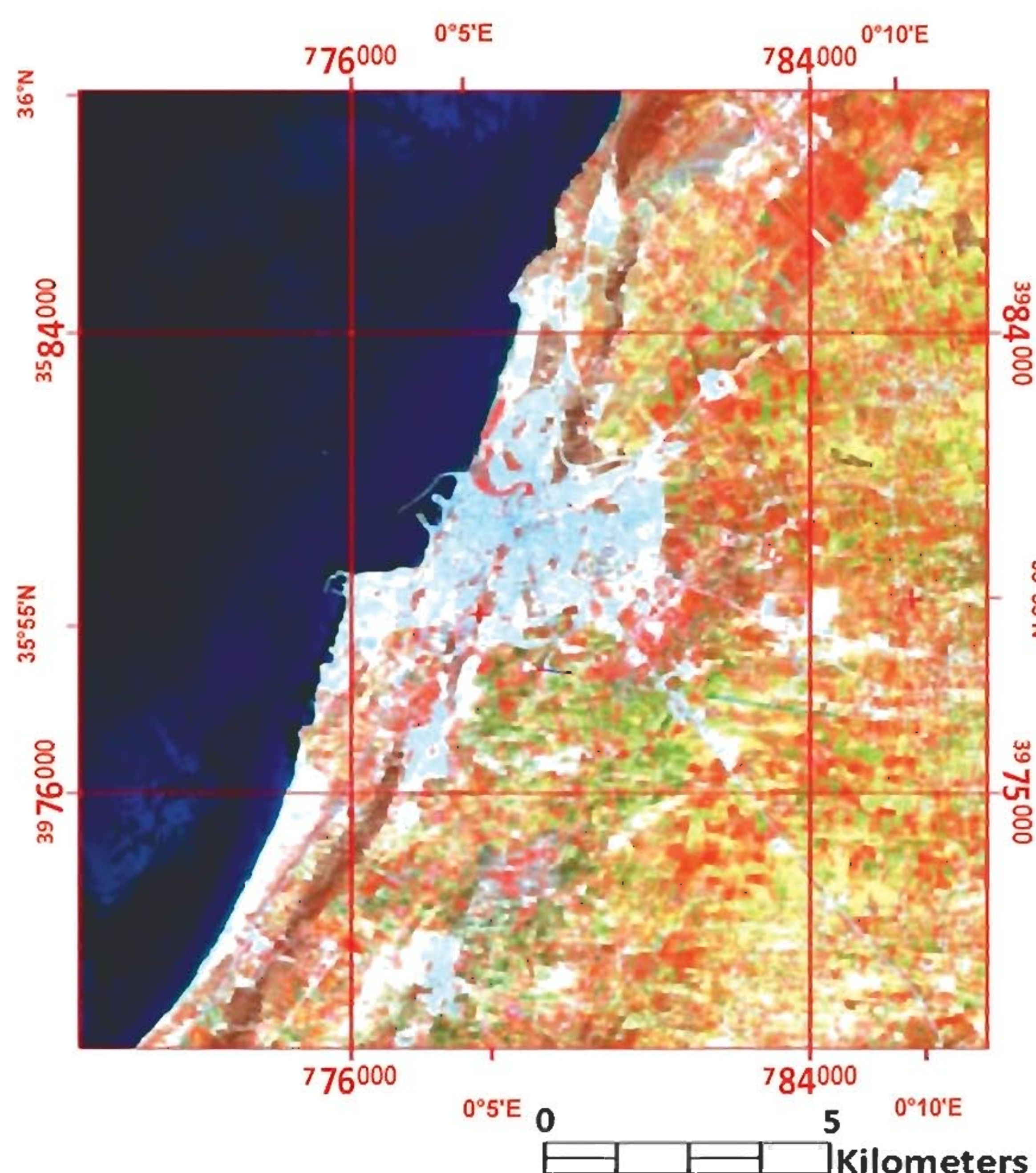


Fig. 5 Image Landsat ETM+ de la ville de Mostaganem prise en 2007.

4. Mesure de la croissance urbaine par télédétection

L'étude de l'étalement urbain est une thématique qui mobilise des chercheurs de plusieurs disciplines: géographie, aménagement du territoire, urbanisme, écologie, économie, etc. La question de l'évaluation de ce phénomène est de ce fait très importante: comment mesurer l'étalement d'une ville et analyser ses effets? La télédétection, parce qu'elle fournit régulièrement des données, s'avère très utile

pour caractériser et suivre l'évolution des territoires. Deux méthodes ont été utilisées pour atteindre cet objectif: l'une correspond à la classification des images satellitaires et l'autre celle de l'application des indices.

Après avoir extrait l'agglomération de la ville de Mostaganem sur les images de 1984 et de 2007, deux classifications supervisées ont été réalisées. La classification assistée par la méthode du maximum de vraisemblance consiste à classer les pixels en fonction de leur ressemblance avec les comptes numériques d'objets géographiques de référence préalablement déterminés sur l'image (parcelles d'entraînement) et validés par des relevés de terrain. Le profil numérique des parcelles d'entraînement est alors supposé représentatif du profil numérique de l'ensemble des classes identifiées sur l'image. Les parcelles d'entraînement ont été définies sur les zones stables et homogènes à partir de la composition colorée de l'image.

Pour la réalisation de cette classification, nous avons suivi six étapes: définition de la légende, sélection des échantillons représentatifs, description et séparation des classes, choix d'un algorithme de classification, classification proprement dite et évaluation de la classification.

A l'aide de cette classification, nous avons obtenu 7 classes d'occupation que l'on rencontre sur la zone d'étude et qui sont: les affleurements rocheux, les forêts, les maraichages et céréalicultures, les jachères et terrains labourés, les sols nus et enfin le tissu urbain.

Le changement majeur d'occupation des sols au cours de la période 1984-2007 à Mostaganem est la croissance moyenne annuelle de 3.3% de la tache urbaine qui passe ainsi de 1377 ha en 1984 à 2936.2 ha en 2007 soit une augmentation de 1559.2 ha sur 23 ans (tableau n°2). Cette croissance spatiale globale a été réalisée essentiellement par densification et par l'étalement sur la côte nord-est et sud-ouest de la ville. La figure n° 7 montre bien ce phénomène dans la région nord-est de Mostaganem, où l'urbanisation a conquis les espaces à proximité de la côte vers Kharouba. Ceci s'explique par l'accroissement du nombre de logements en 2008 et qui a atteint le nombre de 34533 unités.

La fusion des deux taches urbaines fournit une carte qui permet de localiser simultanément le bâti de 1984 et celui de 2007. L'image résultat permet par ailleurs de repérer les endroits où il y a eu changement d'occupation des sols en matière d'urbanisation entre les deux dates. La carte obtenue (figure n°10) conforte l'interprétation des classifications supervisées, car elle montre qu'en 2007, relativement à 1984, le bâti s'est densifié à la périphérie de la ville de Mostaganem.

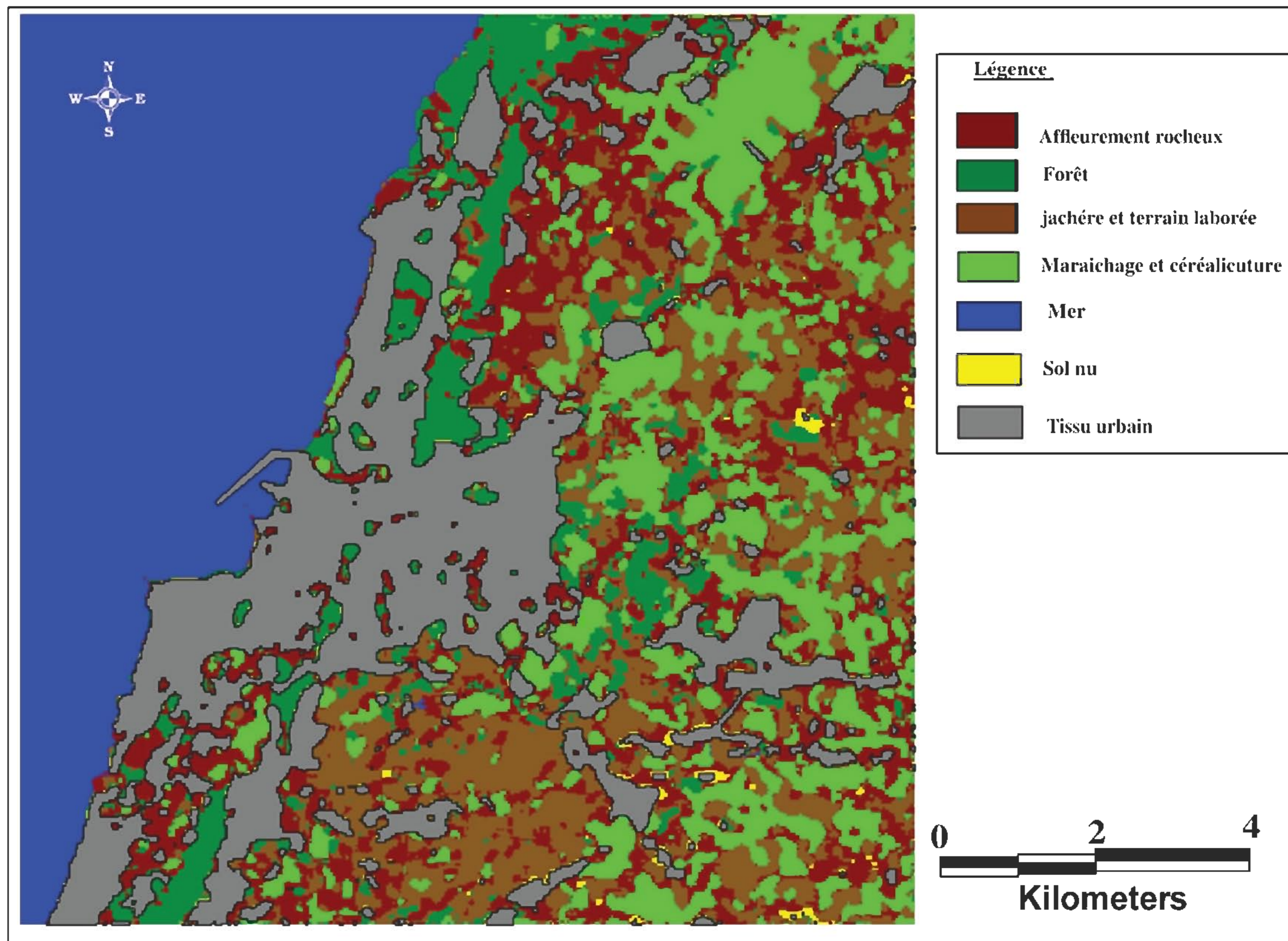


Fig. 6 Carte d'occupation du sol de Mostaganem en 2007

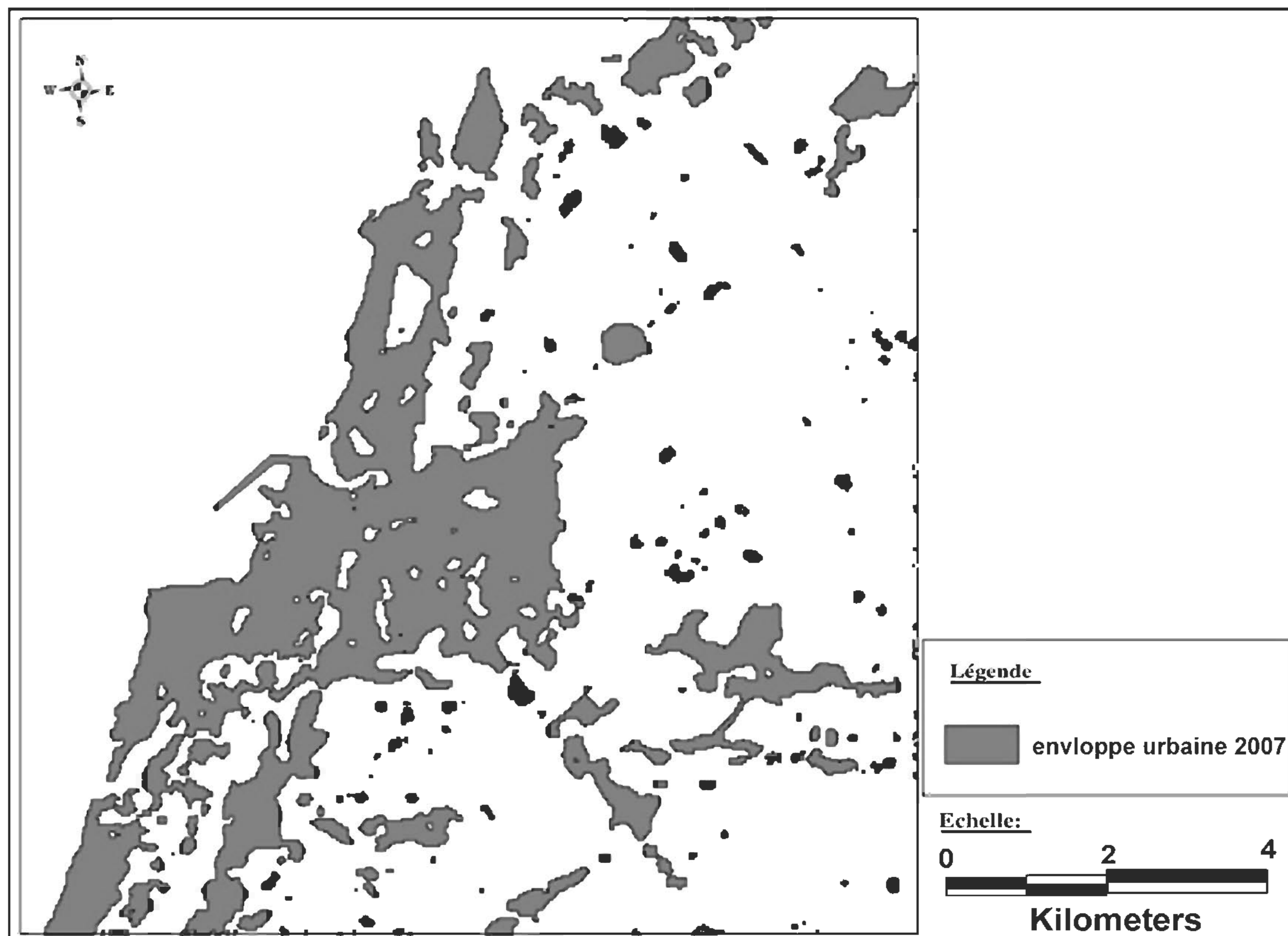


Fig. 7 Carte de l'enveloppe urbaine en 2007.

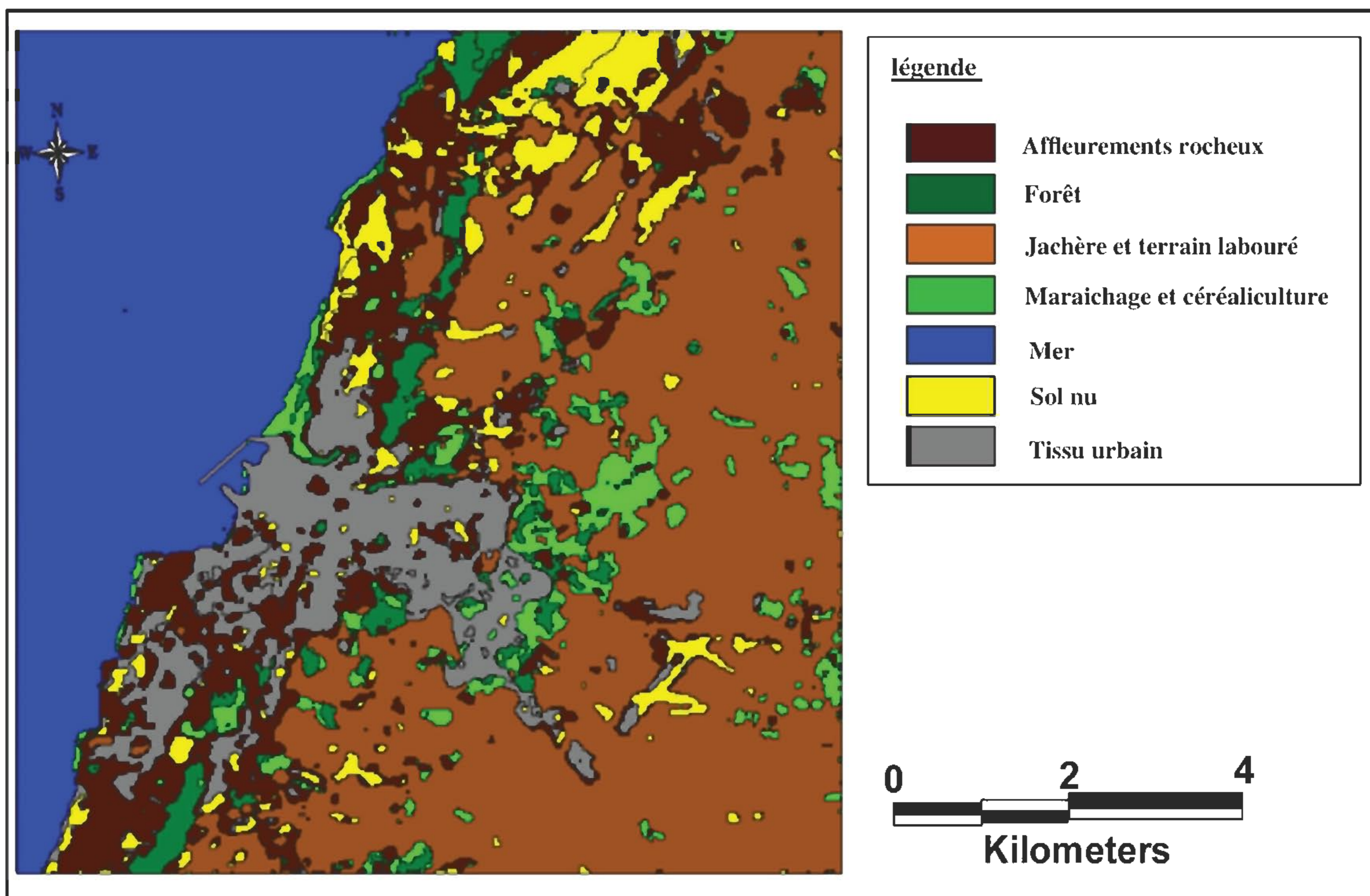


Fig. 8 Carte d'occupation du sol de Mostaganem en 1984.

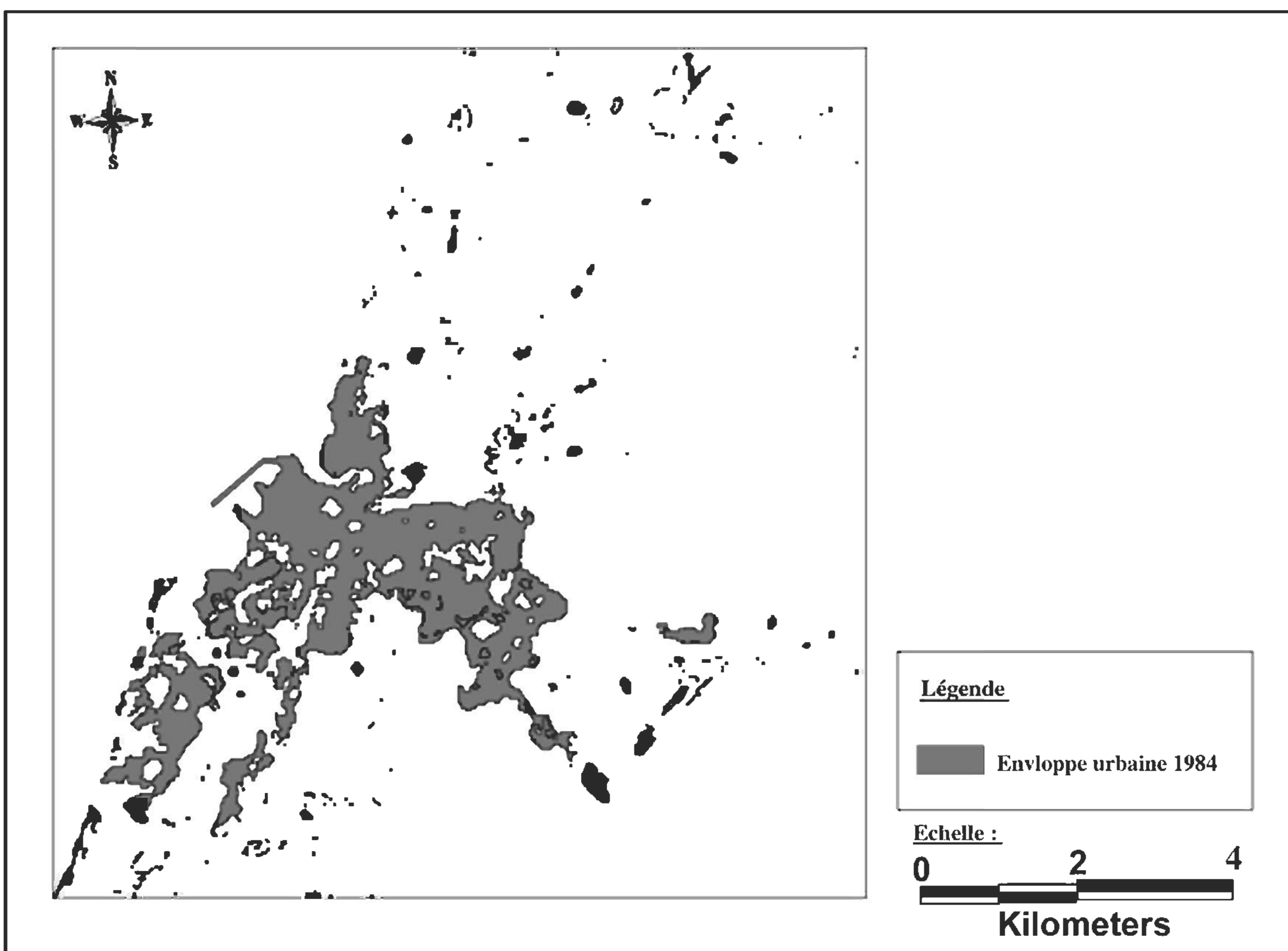


Fig. 9 Carte de l'enveloppe urbaine en 1984.

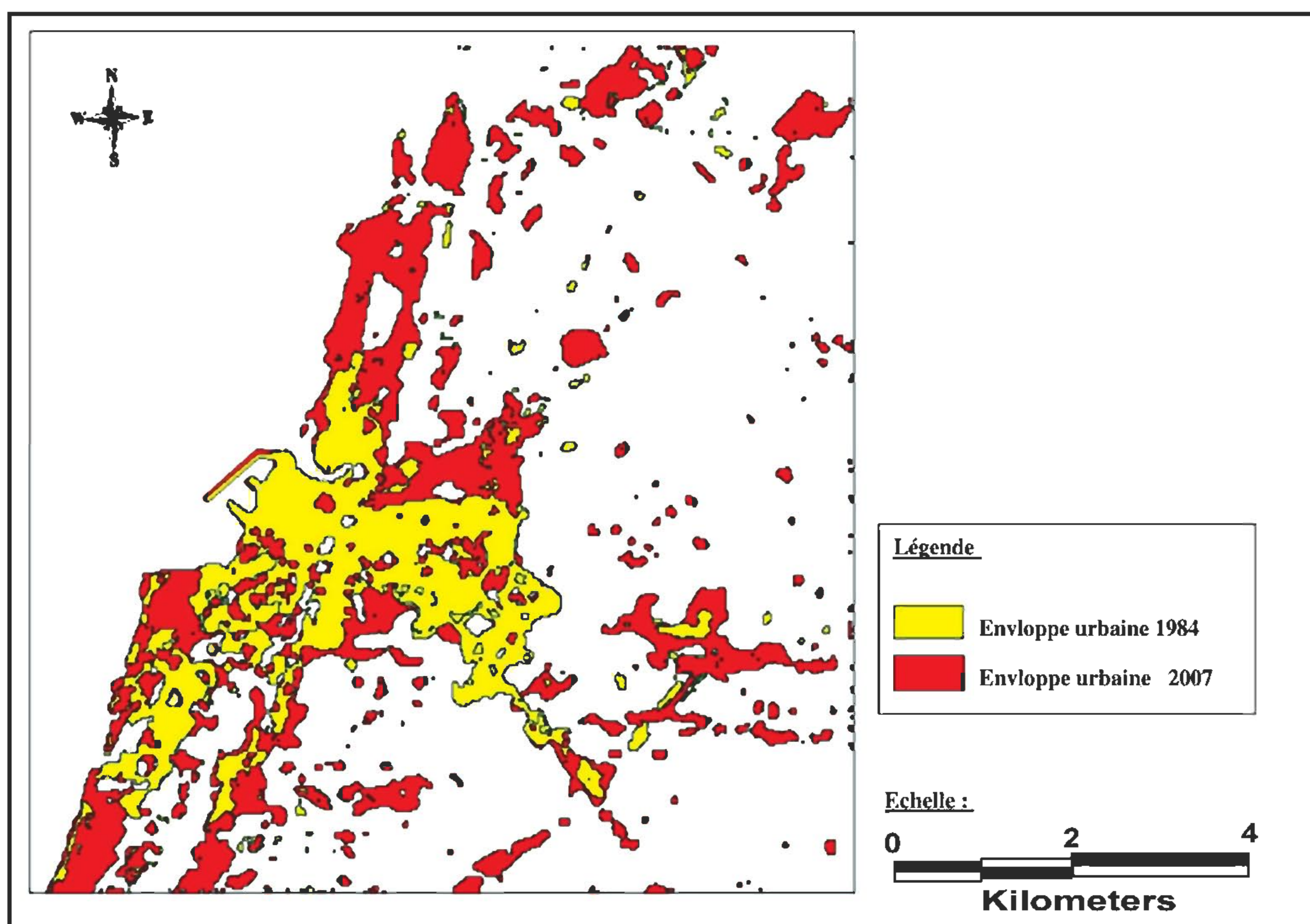


Fig. 10 Carte de fusion des deux taches urbaines en 1984 et 2007 de Mostaganem

Tableau 1. Évaluation de la dynamique des populations de Mostaganem.

	Population RGPH 1987 et 2008 (hab)
1987	114000
2008	145960
Croissance annuelle	1.22%

Tableau 2. Évaluation de la dynamique de l'enveloppe urbaine de Mostaganem.

	Superficie (ha)
1984	1377
2007	2936.2
Croissance annuelle	3.3 %

Un élément essentiel qui explique la croissance urbaine très rapide depuis plusieurs décennies est la croissance démographique liée en partie au solde naturel mais surtout aux apports extérieurs de plusieurs origines géographiques. Les facteurs essentiels de la croissance urbaine sont en effet d'ordre économique, social et psychologique. Ainsi l'exode rural ou la migration de la campagne vers les villes et la croissance naturelle des populations urbaines constitue les principales composantes de la croissance urbaine.

Mostaganem présente un taux d'accroissement de la population de 1.22% (1987 et 2008) en face d'un taux de croissance urbain de 3.3 % (tableau n° 1 et 2) ceci peut poser un problème de gestion de l'espace, car on se retrouve en face d'un déséquilibre, une croissance urbaine très élevée par

rapport à la croissance démographique moyenne.

Une autre méthode permettant de distinguer les changements en milieu urbain et de préciser l'extension des constructions. Celle-ci consiste en l'application de l'indice de cuirasse et l'élaboration de ce dernier peut se faire par l'application de la méthode mathématique ($IC = [(3 \times canal\ vert) - canal\ rouge - 100]$). Cette application a donné un très bon résultat sur le tissu urbain, en permettant de discriminer l'enveloppe urbaine dans sa globalité. En affectant les couleurs rouge et verte, respectivement à l'indice de 2007 et à celui de 1984, sur la composition colorée, ceci a permis de suivre l'évolution urbaine entre les deux dates. Le tissu urbain existant, en 1984, apparaît en jaune tandis que l'extension urbaine en 2007 apparaît en rouge (figure n° 13).

L'indice de cuirasse (figure. 11 et 12) facilite la mise en évidence et la différenciation des surfaces bâties et des sols nus. Les surfaces végétalisées et

aquatiques apparaissent en nuances de vert foncé alors que les surfaces minéralisées sont codées en vert clair ou en blanc.

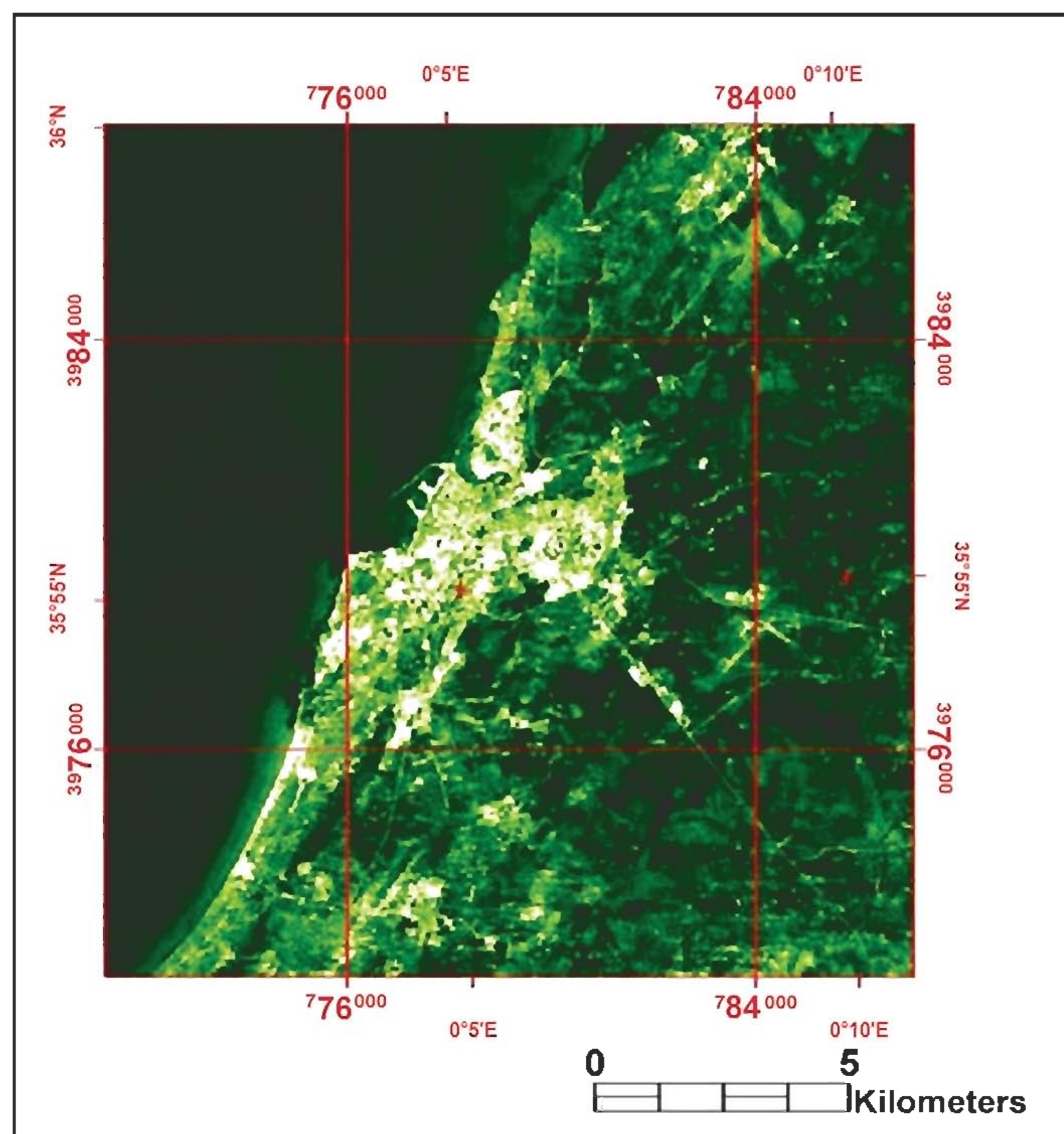


Fig. 11 Indice de cuirasse de l'image Landsat 1984

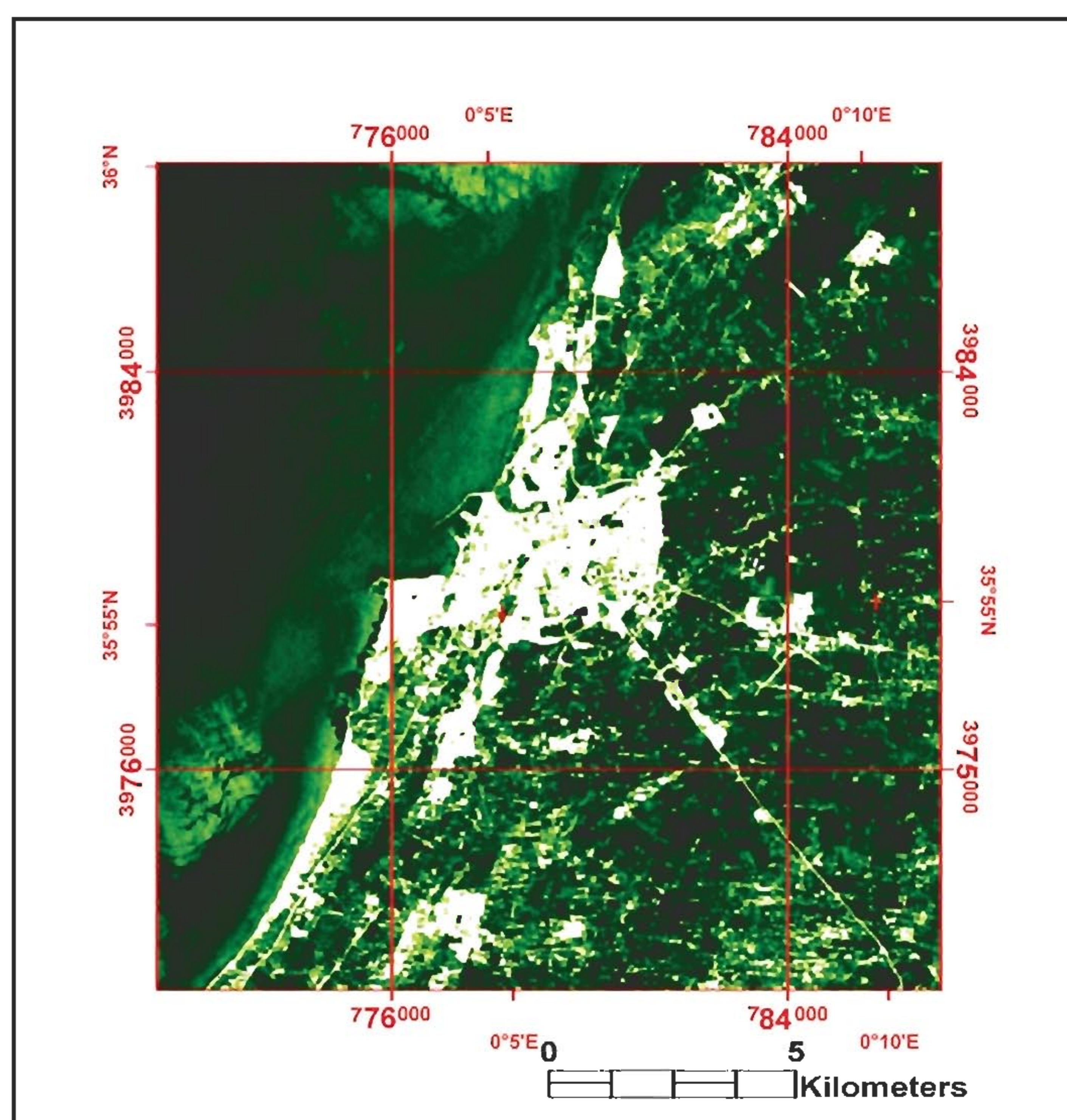


Fig. 12 Indice de cuirasse de l'image Landsat 2007

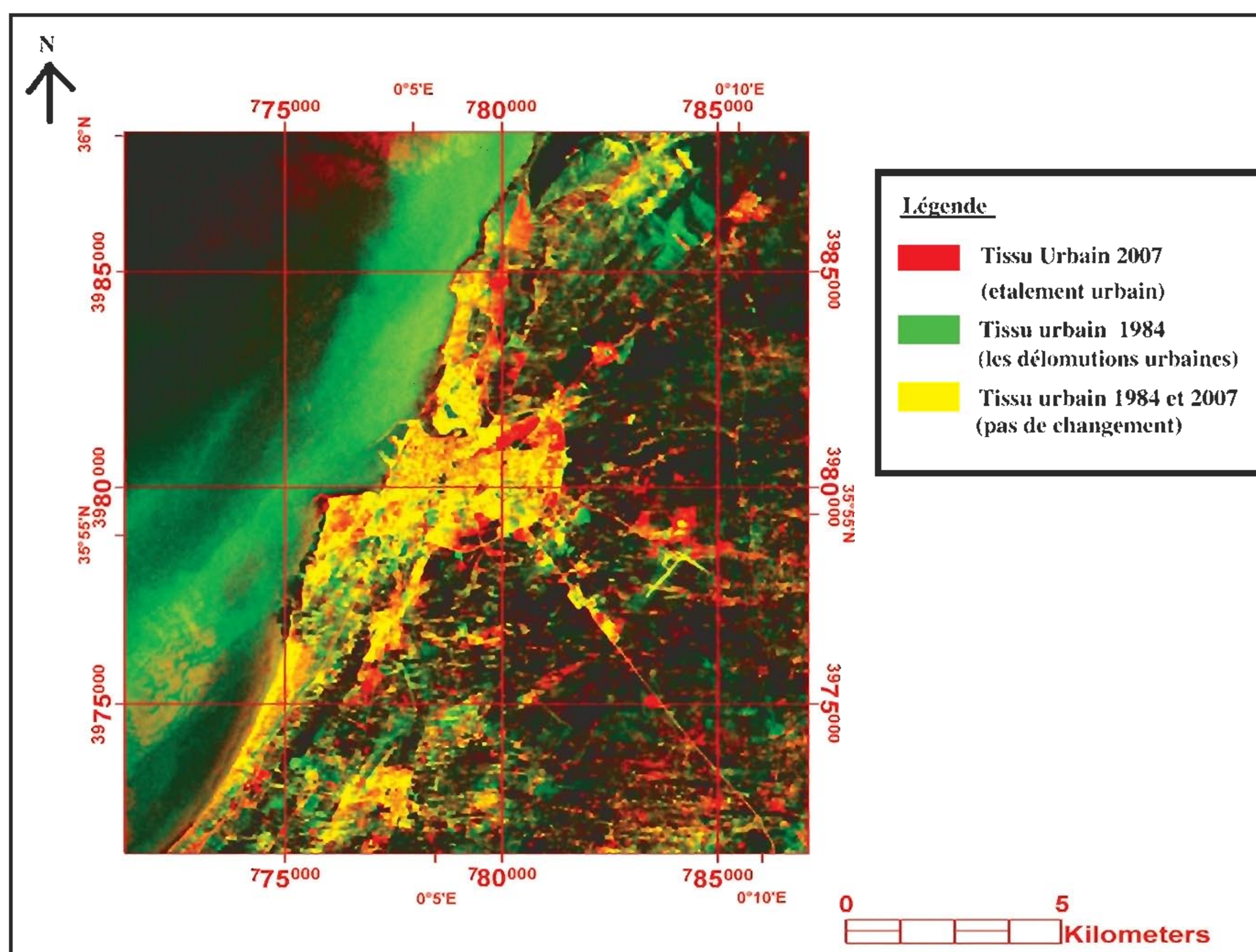


Fig. 13 Détection de l'étalement urbain (1984 et 2007).

La validation des résultats s'est fait sur la base des données de terrain ainsi que sur la donnée à très haute résolution de Quick Bird de résolution 0.6 mètre (figure 14).

L'image Quick Bird de 2006 confirme les tendances observées à partir des traitements réalisées sur les images Landsat de 1984 et 2007 : densification et étalement en périphérie.

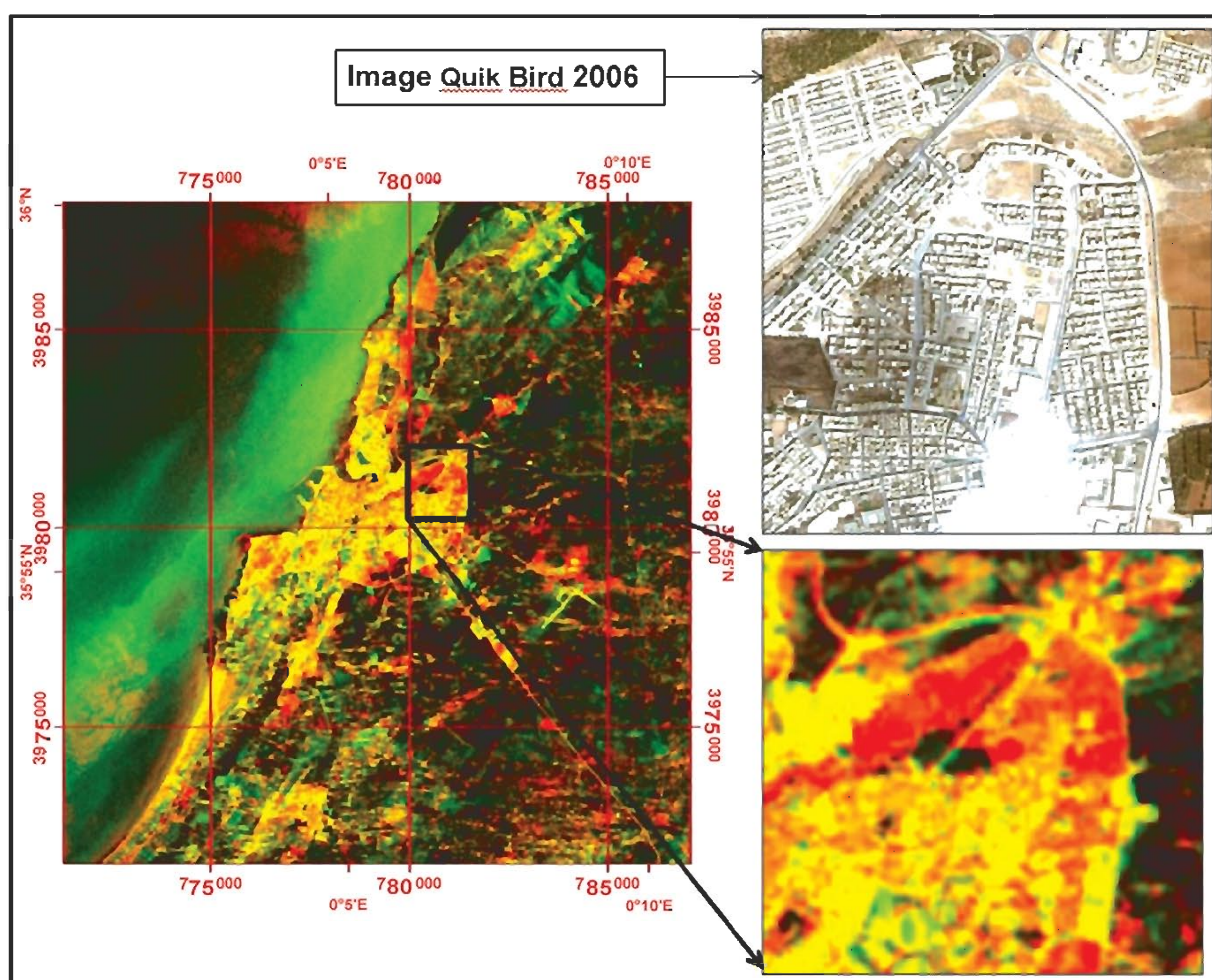


Fig. 14 Identification, par l'imagerie Quik bird 2006, de l'extension urbaine dans la région Est de la ville de Mostaganem.

5. Conclusion

L'exemple de Mostaganem confirme que l'urbanisation des grandes et moyennes villes algériennes a fait un bond prodigieux au cours de ces dernières années, On constate que Mostaganem a connu une évolution spatiale accélérée concentrée dans la zone périphérie immédiate de la ville et le long de la côte, ce qui engendre de profondes répercussions sur la structure globale de la ville et de son fonctionnement.

Cette dynamique, récente et brutale, pose de redoutables problèmes dans la gestion de la ville et indique un gaspillage foncier important dans les choix retenus. Un système d'évaluation périodique, fiable et performant pour la gestion du phénomène urbain aurait pu alerter les pouvoirs publics et les aménageurs afin d'éviter les effets pouvant compromettre le devenir de la ville.

Dans ce cadre nous avons trouvé utile de cartographier l'étalement urbain de la ville de Mostaganem. Cette application, du fait de sa précision et de sa souplesse, prouve que la télédétection par satellite pour la cartographie des extensions urbaines est un outil précieux dans la gestion des territoires urbains. Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons développé une chaîne de traitements basée sur la classification des images, d'une part et sur l'application de l'indice de cuirasse, d'autres part. Cette application a montré que la classification supervisée d'images satellites permet d'élaborer une cartographie pour la mesure de l'étalement urbain et la répartition spatiale des nouvelles extensions de la ville. Par ailleurs, la télédétection à haute résolution spatiale apparaît ainsi comme un outil d'aide à l'élaboration de documents nécessaires aux investigations en aménagement urbain. Les cartes produites à l'issue des classifications peuvent orienter les enquêtes de terrain destinées à analyser finement l'étalement urbain aussi bien au niveau de l'agglomération urbaine qu'au niveau de la communauté urbaine en intégrant les communes suburbaines.

Enfin nous avons montré, qu'à partir d'images satellitaires multidates, on peut estimer avec une précision satisfaisante la superficie et le périmètre urbain. De même qu'en absence d'une mise à jour des outils de planification et de suivi de la croissance spatiale d'une ville, la méthode de détection des changements se révèle comme une approche rapide,

peu coûteuse et fiable et peut être applicable aux autres villes de l'Algérie.

Références bibliographiques

- PUISSANT A., 2001, Classification et évolution des tissus urbains à partir de données vectorielles, *Revue internationale de géomatique*. Volume X – n°Y/2011.
- LEFEBVRE A., 2011, Contribution de la texture pour l'analyse d'images à très haute résolution spatiale. Application à la détection de changement en milieu périurbain, thèse de doctorat, université rennes 2 Haute Bretagne, Option : Géographie Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales.
- DPAT MOSTAGANEM., 2007, Monographie de la Wilaya de Mostaganem.
- SKUPINSKI G., BINHTRAN D., et WEBER C., 2009, Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain – Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France), *Cybergeo, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, article 439, mis en ligne le 12 mars 2009 *Cybergeo (European Journal of Geography)*. Mars 2009.
- TSAYEM DEMAZE M., et TREBOUET A., 2008, Cartographie et évaluation multi-échelle de l'étalement urbain à l'aide d'images Spot XS : Exemple du Mans (Ouest-France), halshs-00457689, version 1 - 18 Feb 2010, *proceeding colloque « Télédétection et gestion de l'environnement » organisé à Madagascar en novembre 2008 par le réseau télédétection de l'Agence Universitaire de la Francophonie et par l'Université de Tananarive.*
- AGUEJDAD R., 2009, Etalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole, thèse de doctorat, université rennes 2 Haute Bretagne, Option : Géographie Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales.
- SIETCHIPING R., 2003, évolution de l'espace urbain de Yaoundé au Cameroun, entre 1973 et 1988 par télédétection, *Télédétection*, 2003, vol. 3, n° 2-3-4, p. 229–236.

Le M'zab: De la Pentapole à la "Métropole"

H M. MAACHOU
 Université d'Oran
 hmaachou@yahoo.fr

ملخص: بنيت المدن الصحراوية في الجزائر في بدايتها على مخطط الواحة الذي يعتمد على بعض الشروط الأساسية التي سمحت بالاستقرار: منبع مائي، الواحة، الحصون الدفاعية الطبيعية، منطقة عبور للقوافل التجارية المختلفة.

نجم عن اكتشاف حقول البترول و الغاز، الزيادة السكانية الكبيرة إضافة إلى إستراتيجية التنمية الوطنية في هذه المنطقة، نتائج سلبية انعكست على توازن نظام الواحات.

التعمير في الصحراء هو ظاهرة معقدة على أكثر من صعيد، تميزه يكمن في جانبه التاريخي وما سيؤول إليه. فالمرحلة الحالية من التعمير بالنظر إلى ضخامتها و أبعادها الغير المسبوقة التي أخذتها تسببت، في إعادة النظر لعدة توازنات داخلية وخارجية للمراكز العمرانية، خصوصا في وادي مزاب.

من خلال قراءة لشكل التعمير في وادي مزاب فإن أهمية هذا البحث تتجلي في فئة من المدن العتيقة التي حافظت على أشكالها ووظائفها وتماسكها الاجتماعي من جهة، ومن جهة أخرى يتعلق الأمر بتجمع حضري تجلت فيه حالات من التعمير المتنوع المعقد. انطلاقا منه يمكن لنا أن نوضح الممارسات الاجتماعية - المجالية التي أضفت إلى الديناميكية الحضرية الحالية. تركز هذه الدراسة أيضا على عدم تجانس هذه المرحلة و على انعكاساتها.

الكلمات الأساسية: المدن الصحراوية، غرداية، التحضر، وادي مزاب، القصور، الواحة، المدن الخمسة.

Résumé: Les villes sahariennes en Algérie sont construites au départ sur un schéma d'oasis qui implique des conditions primaires ayant servi à la sédentarisation; point d'eau, palmeraie, possibilité de défense naturelle et zone de passage.

La découverte de gisements pétroliers et gaziers, une démographie galopante et une stratégie de développement volontariste ont eu pour principales conséquences une rupture des équilibres sur lesquels étaient bâties les oasis.

L'urbanisation au Sahara est un phénomène problématique à plus d'un titre. Son originalité réside dans l'aspect historique et son devenir.

La phase d'urbanisation en cours, par son ampleur et ses dimensions sans précédent, remet en cause de nombreux équilibres tant à l'intérieur qu'à

l'extérieur des centres urbains et principalement dans la vallée du M'zab.

L'intérêt de cette recherche, à travers la lecture du mode d'urbanisation des villes du M'zab est double: il s'agit, d'une part, d'une catégorie de villes anciennes qui a préservé son intégralité morphologique et fonctionnelle et sa cohésion sociale; d'autre part, d'une agglomération qui présente des cas d'urbanisation très divers mais complexes à partir desquels on peut mettre en évidence les pratiques socio-spatiales qui ont généré la dynamique urbaine actuelle. Cette étude insiste aussi sur les incohérences de la présente phase d'urbanisation et de ses conséquences.

Mots clés: villes sahariennes, Ghardaïa, urbanisation, vallée du M'zab, ksar, oasis, pentapole.

Abstract: the Saharan cities in Algeria are built at the beginning on a diagram of oasis which implies primary conditions having been used for settlement; water source, palm plantation, possibility of natural defense and zone of passage. The discovery of oil and gas layers, a demography growth and proactive development strategy had for principal consequences for breaking the balances on which were built the oasis.

The urbanization in the Sahara is a problematic phenomenon in more than one way. Its originality lies in the historical aspect and its future. The phase of urbanization in progress, by its width and its dimensions without precedent, calls into question of many balances as well inside as outside the urban centers and mainly in the valley of M'zab. The interest of this research, through the reading the mode of urbanization of the cities of M'zab is twofold: it's, in part, a category of old cities which preserved its integral morphology and functional and its social cohesion; in addition, of an urban area which presents very diverse but complex cases of urbanization from which one can make evidence the socio-spatial practices which generated current urban dynamics. This study also insists on the inconsistencies of the present phase of urbanization and its consequences.

Key words: Saharan cities, Ghardaïa, urbanization, valley of M'zab, ksar, oasis, pentapole.

Introduction

Ville du désert par excellence, Ghardaïa a été fondée par les Ibadites au XI^e siècle avec quatre autres cités: El Atteuf, Bounoura, Beni Izguen et Mélika. Ces cinq villes ont été organisées en une confédération par les mozabites. comme l'affirme Marc côte, "on est devant des ksour pleinement urbains, une culture urbaine: 2 ou 3 niveaux, emploi de pierre mêlée au mortier et à la terre, monumentalité de certaines constructions, activités majoritairement non agricoles, fortes institutions de gestion de l'espace, font de ces localités des cités au sens fort du terme. Ici, le ksar est médina"(COTE M. 2012).

L'appartenance au milieu saharien et aride contraint fortement l'occupation de l'espace. La fondation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat et relief).

Les mozabites se caractérisent par une profonde organisation sociale et religieuse. Une échelle hiérarchique constitue la communauté mozabite. Celle-ci se compose du « A'rch » (tous les habitants du ksar) qui regroupe plusieurs tribus, constituées elles-mêmes de fractions sociales « A'chira » dont la famille est l'unité de base.

L'organisation sociale est fondée sur des instances juridico-religieuses dont certaines continuent à fonctionner sans pour autant perturber le champ de la gestion administrative des institutions publiques officielles.

Administrativement, la vallée du M'zab est partagée entre trois communes: Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf.

Comme toutes les villes d'Algérie, celles de la vallée du M'zab n'ont pas échappé au phénomène majeur des dernières années: l'explosion urbaine. Mais, plus que partout ailleurs, le phénomène affecte fortement tout l'équilibre séculaire qui existait entre la ville et son environnement.

1. La vallée du M'zab: ses potentialités et ses contraintes

La composition naturelle de la vallée du M'zab offre de nombreuses potentialités s'articulant pour l'essentiel autour de la diversité. C'est un plateau calcaire de la *Hamada*, dont l'altitude varie entre 300 et 800 m, coupé par une vallée sablonneuse s'érigeant en couloir ouvert aux cotés nord-ouest et sud-est laissant couler dans le même sens de la pente un cours d'eau principal, celui de l'oued M'zab, que viennent alimenter les cours secondaires disposés transversalement. Le milieu est constitué d'une variété de sols, d'altitude, de pentes, de couloirs, de percées et d'ouvertures (BENYOUSEF B. 2004).

Ce plateau est une véritable charpente rocheuse qui a été masqué par la forte érosion pluviale du début du quaternaire. Celle-ci a découpé des buttes à sommet plat dans sa partie sud et a façonné des vallées et ravins qui s'enchevêtrent les uns dans les autres. C'est à cette configuration que la vallée doit son nom de Chebka (filet) que l'oued M'zab traverse du nord-ouest vers le sud-est.

La première cité vit le jour sur la crête du plateau et en bordure de ce cours principal, les autres cités viennent s'ajouter et chacune prit part de ce cours et s'implanta sur sa bordure, et souvent au confluent de celui-ci et d'un cours d'eau secondaire.

La vallée du M'zab mesure 20 km de long, sur près 2 Km de large; elle atteint une altitude de 500 m à hauteur de Ghardaïa et couvre une superficie de plus de 4000 ha.

Le paysage de la Chebka est dépourvu de toute trace de végétation en dehors de quelques champs de palmiers dattiers qui entourent les villes. On y cultive des légumes, des citronniers, des orangers et des grenadiers dont les produits sont destinés à la consommation locale.

La palmeraie est un élément indissociable de la structure de la cité; elle est appelée "forêt" par les locaux. Pour les familles aisées, la maison a été conçue au sein de la palmeraie comme une résidence d'été plus fraîche durant les périodes de grande chaleur. Toutes tendent aujourd'hui à devenir des résidences permanentes.

Les villes de la vallée sont confrontées aux contraintes du relief qui limitent leur extension.

La nature juridique des terrains de la vallée est privée à plus de 90 %. Les terrains domaniaux se trouvant à l'extérieur de la vallée, occupant les plateaux et les terrains accidentés.

2. Fondation de la pentapole: de la variété naturelle à une diversité fonctionnelle

Les Ibadites originaires de TIHRET, capitale Ibadite s'installèrent d'abord dans la région de Sedrata et de l'Oued Righ, aux environs de l'actuelle ville de Ouargla. Après un demi-siècle de séjour dans la cité saharienne, les Ibadites durent se déplacer plus au nord vers l'oued M'zab pour rechercher dans un milieu hostile et aride paix et sécurité.

Des villes fortifiées furent édifiées en fonction du rythme de sédentarisation des nomades.

Les fondateurs devaient rationaliser l'acte d'occupation de l'espace en superposant au schéma de variété naturelle un schéma de variété fonctionnelle, à travers l'implantation d'une fonction appropriée sur chaque type d'espace (BENYOUSEF B. 2004).

Les sols sablonneux creusés au fond de la vallée sont destinés à la végétation et à l'aménagement des

oasis, alors que les monticules rocheux sont désignés pour l'implantation des cités.

Au pied du monticule s'arrête la cité bâtie, pour laisser place à la palmeraie sur toute l'étendue de la vallée.

La vallée du M'zab présentait donc un aménagement relativement classique au Sahara où les cités contrôlent les palmeraies de part et d'autre du lit de l'oued sur le versant de la vallée (COTE M. 2002). Au rythme du cours d'eau principal, la vallée du M'zab s'urbanisait.

L'option fut prise délibérément pour un mode d'urbanisation discontinue intervenant par la multiplication de cités dans le but de préserver ces équilibres. Pour cela, limiter l'étalement urbain constitue une exigence vitale, afin de préserver des territoires propres à chaque cité pour une meilleure gestion de la dynamique urbaine.

Les cités se sont créées sur les monticules dominant la vallée. Leur genèse c'est réalisé d'aval en amont dès que le site précédent ait été saturé, ce qui explique la distance moyenne de 2 km qui existe entre elles à l'exception d'El Atteuf qui se trouve à 6 km de sa voisine Bounoura. Cette configuration donne à chaque cité son propre territoire. Ont été fondées successivement: El Atteuf entre 1010- 1012, Bounoura en 1046, Melika en 1048, puis Beni Izguen en 1050 et enfin Ghardaïa en 1053.

Les cités de la pentapole représentent un ensemble architectural et urbanistique unique au monde. Les constructions, les maisons étagées les unes au-dessus des autres forment une sorte de pyramide avec le minaret de la mosquée au sommet. Les villes sont entourées de murs hauts, les places de marché sont bordées de boutiques aux arcades très caractéristiques de l'architecture du M'zab.

Considérée par les architectes comme un véritable musée architectural à ciel ouvert et classée par l'UNESCO comme patrimoine historique mondial, la vallée du M'zab est le produit d'une relation toute particulière entre l'homme et la nature qui se sont mutuellement façonnés selon un schéma de peuplement unique en son genre et accordant à la vallée un cachet historique.

3. Une importante croissance démographique

Les résultats des différents recensements montrent une évolution rapide de la population de la vallée.

La pentapole a connu depuis 1966 des mutations sans équivalent dans son histoire par leur ampleur et surtout par leur rapidité.

La population a considérablement augmenté.

La pentapole a vu sa population multipliée par trois en quarante deux ans (1966 – 2008).

En 1966, la pentapole comptait 50 708 habitants, en 1977, la population s'est élevée à plus de 66 000 habitants, soit un accroissement de plus de 15 000 âmes, avec un taux d'accroissement de 2,48%.

En 1987, la population de la pentapole atteint 89 415 habitants, avec un taux d'accroissement de 3%.

Entre 1987 et 1998, Ghardaïa a été érigée à nouveau rang administratif supérieur lors du découpage administratif 1984. Elle exerce le rôle de chef lieu de wilaya. Cette période est caractérisée par une légère reprise du taux de croissance pour atteindre 3.20% avec une population de 127 972 habitants.

Ce n'est qu'au cours de cette dernière décennie 1998-2008 que le rythme de cette croissance s'est ralenti, soit 1,13%/an, la population s'est élevée à 142 913 habitants.

La pentapole regroupe à elle seule presque la moitié de la population totale de la wilaya de Ghardaïa; elle compte 373 688 habitants en 2008.

La croissance de la vallée du M'zab repose sur des forces d'attractions diverses:

- la sédentarisation des nomades;

Historiquement, les populations nomades ont toujours participé au renouvellement de la population des villes. Mais aujourd'hui, cette sédentarisation est massive et définitive. La fin des activités traditionnelles de transhumance oblige ces populations à se fixer dans les villes, lieux où sont concentrées les activités et donc les nouvelles sources de revenus (BELGUIDOUM S. 2002).

Ainsi de 1987-2004, la population de nomades passe de 18% à 1,14% de la population totale de la wilaya de Ghardaïa.

- la vallée accueille des populations venues d'ailleurs, des populations proches et lointaines, des non-Mozabites;

- la croissance démographique a été impulsée par les mouvements naturels de la population (natalité, mortalité);

- la rencontre entre la politique volontariste et la dynamique privée a produit une véritable dynamique de synthèse. Les nouvelles activités (administratives...) injectées par l'Etat et le dynamisme du secteur privé (industriel, commercial...) ont aussi pour effet l'arrivée de populations du Nord de l'Algérie, marquant l'inversion d'une tendance migratoire séculaire et participant à la nouvelle configuration urbaine.

En fait, après 1998, la conurbation entre Ghardaïa et les deux cités toutes proches: Mélika et Beni Izguen.

On peut noter également que cette évolution s'est traduite par une hiérarchisation progressive au sein de la pentapole, Ghardaïa tendant à asseoir sa prééminence: elle regroupe à elle seule plus de 2/3 de la population en 2008.

4. Evolution de la pentapole: une véritable conurbation

Il a fallu attendre les années 1950 pour voir s'annoncer une croissance plus rapide.

Au rythme de l'afflux de nouvelles populations et de la fixation des nomades, de nouveaux quartiers virent le jour. Conçus sur la base d'un parcellaire en damier, ces quartiers se veulent être différents de ce qui existait tant sur le plan du modèle urbain que sur le plan de la conception architecturale. Ceci intervient suite à la saturation des périmètres des ksour par occupation et urbanisation progressive des territoires de la palmeraie.

Cette période a connu un mouvement d'urbanisation spontané glissant sur les terrains en contrebas des ksour. Ceci a été permis par la sédentarisation des nomades¹ et par les autochtones (les mozabites) disposant d'un droit foncier. Une forte extension du bâti se réalise hors des cités et autour de Ghardaïa où l'extension était la plus forte et la plus dense. Les palmeraies ont été progressivement envahies par le bâti (résidence d'été).

Après l'Indépendance la vallée du M'zab va connaître de réelles transformations sociale, économique et urbanistique qui vont se manifester par:

- un changement des structures du pouvoir: le pouvoir local, représenté par les institutions traditionnelles, a complètement disparu, remplacé par les structures du pouvoir national.
- le développement économique, l'amélioration des infrastructures de communication, la croissance démographique et l'afflux continu et massif de populations ont été à l'origine d'une transformation importante du tissu urbain.

- l'extension continue du tissu urbain; la voie parallèle au cours de l'oued devint la ligne principale de croissance et suggère, une forme linéaire et deux directions de croissance. A partir du nœud, carrefour principal au sud de la ville de Ghardaïa, l'urbanisation est ordonnée par cette ligne et se fait de part et d'autre de la ville, à l'ouest en amont, en direction de la palmeraie, et à l'est en aval, en direction de Beni Izguen et des autres villes de la vallée (BENYOUSEF B. 2004).

Cette extension a abouti à l'absorption des agglomérations voisines qui génère une véritable conurbation en s'annexant Melika et Beni Izguen. Désormais, les trois cités sont confondues, formant une seule et même grande agglomération... avec une population totale de 142 913 habitants (fig. 1).

Ces extensions sont généralement réalisées en rupture complète avec les modes de construction traditionnels, dans les plans comme dans les matériaux.

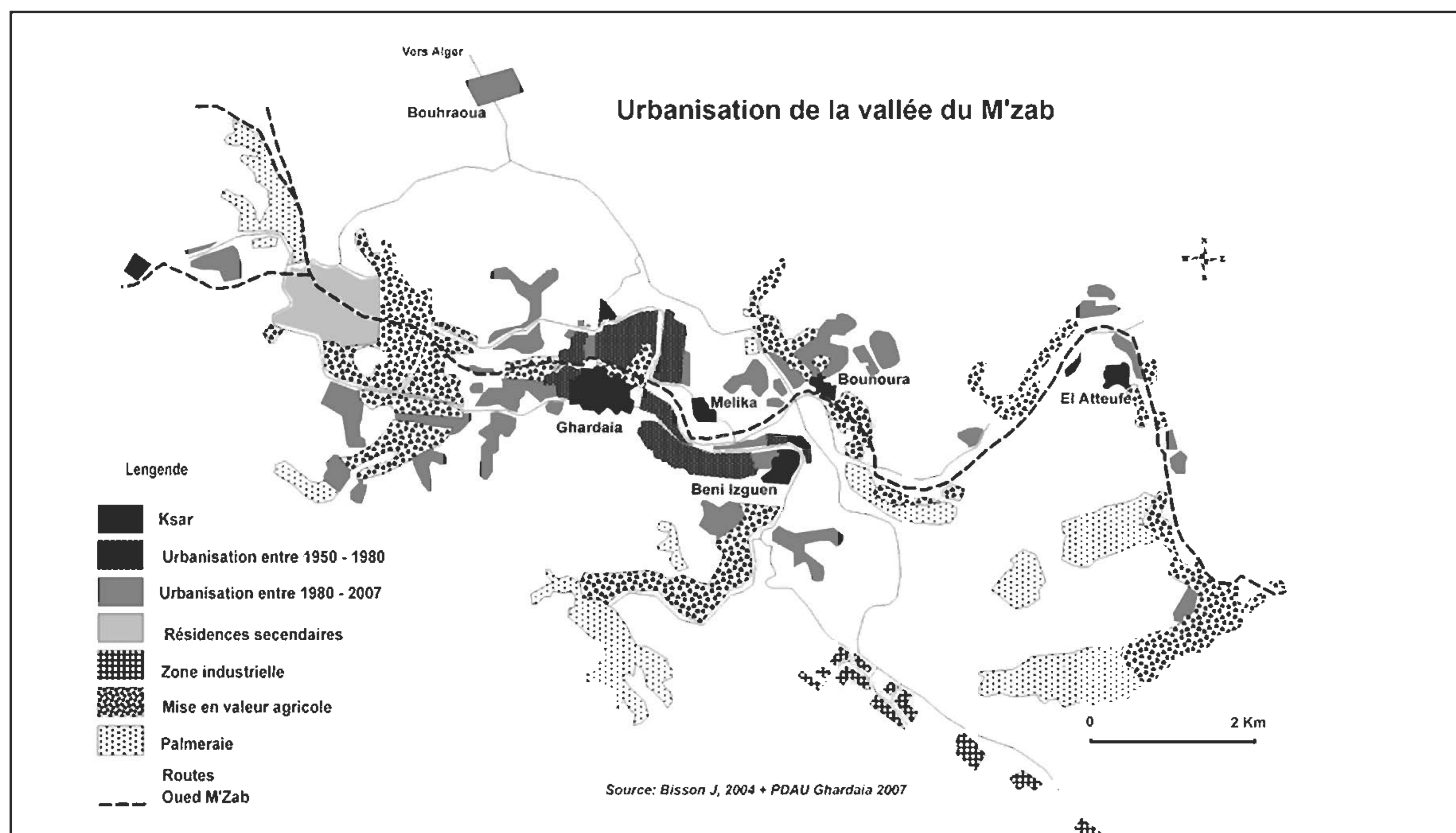
- la création d'une zone industrielle par l'Etat durant la période 1975-1985, sur le plateau sud, le long de la route de Ouargla.

Au lendemain de l'indépendance, le secteur industriel était pratiquement inexistant, la création de cette zone et les différents plans de développement ont permis de la vallée de bénéficier de quelques unités économiques.

Parce que l'agglomération était devenue importante, les pouvoirs publics ont voulu intervenir. Ils l'ont fait de façon identique à leurs interventions sur d'autres villes. Cela s'est traduit en particulier par la réalisation des forages, châteaux d'eau pour alimenter les différentes cités, réseaux d'assainissements, ponts et passerelles le long de la vallée, création d'une voie routière le long de l'oued, création d'un certain nombre d'équipements publics, les plus consommateurs d'espace étant implantés dans le fond de la vallée (gare routière, lycée, hôtel 500 lits, ...).

En outre, ont été réalisées quelques cités d'habitat, soit en logements collectifs, soit en individuel.

¹Les nomades se sont des personnes qui se déplacent fréquemment à la recherche de nouveaux pâturages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa.



5. D'une vallée agricole à une vallée urbaine

La culture des jardins, réalisée grâce à un système judicieux d'irrigation, et l'élevage constituaient les principales sources de revenus des premières communautés oasiennes mozabites. Lorsque les palmeraies se sont avérées insuffisantes pour l'autosuffisance des populations locales, la vocation commerciale prit forme et s'affirma.

La vallée devint un centre caravanier qui amènera un cercle de nomades de plus en plus important.

A partir du 18^e siècle, Ghardaïa devint une plate forme commerciale et caravanière où vont transiter l'ensemble des échanges commerciaux entre le centre du Maghreb du nord et l'Afrique sahélienne (Ghardaïa- Atlas 2004).

Le caractère central de l'agglomération dans l'espace saharien, point de connexion entre les différentes parties du Sahara, lui confère un net avantage en terme d'attractivité. Sa connexion avec le Nord algérien en a fait une réelle plaque tournante de l'échange entre Nord et l'espace saharien, les réseaux mozabites constituant une structure spatiale très vaste qui a participé à structurer ces connexions commerciales historiques (KOUZMINE Y. 2010). Historiquement, le commerce transsaharien était contrôlé par des ibadites (BISSON J. 2004).

En faisant du Sahara un territoire d'intégration politique et économique, l'Etat modifia les données de la société saharienne. La diffusion d'un modèle de développement et de nouvelles logiques (forte présence de l'Etat, salarisation croissante, migrations de travail, création de nouveaux bassins d'emploi) rencontre un dynamisme interne reposant sur les ressources propres de la société saharienne. Le déclin des formes traditionnelles de l'économie saharienne a obligé les populations à s'adapter aux exigences de l'économie globale.

L'industrialisation du Sahara a considérablement impulsé l'activité de la vallée qui se trouve à une centaine de kilomètres des champs pétroliers et gaziers dont l'exploitation fit de Ghardaïa un centre de transit de la main d'œuvre industrielle.

Faisant partie d'une stratégie nationale de développement, Ghardaïa a vu son potentiel économique renforcé afin qu'elle puisse jouer son rôle de pôle de croissance. Cela s'est traduit par la création d'une zone industrielle par l'Etat durant la période 1975-1985, sur le plateau sud, le long de la route de Ouargla. Cette zone se compose de plusieurs unités de production étatiques et privées: PIPE GAZ (une grosse tuberie étatique spécialisée dans la production des tubes soudés en spirale entrée en production en 1977).

Au départ, la production était destinée à répondre aux besoins de l'industrie des hydrocarbures et actuellement l'unité s'est redéployée dans le domaine de l'hydraulique, avec un effectif de 826 en 2004), (société des produits dérivés du centre, spécialisée dans la production du plâtre à bâtir, emploie 102 personnes) et une centaine de petites unités privées dont 2/3 spécialisées dans la production du textiles (tissage, confection, tricotage, ...) avec un effectif d'environ 800 personnes.

Aujourd'hui, la principale source de richesse économique est liée à l'activité commerciale. Le M'zab est le cas le plus probant montrant comment l'activité marchande a réussi à générer des réseaux de commerçants puissants, dont une partie de l'accumulation financière permet un financement d'activités industrielles.

Les croissances démographique et urbaine et les déséquilibres qu'elles engendrent à tous les niveaux, ont produit la vallée urbaine du M'zab d'aujourd'hui (COTE M. 2002).

6. Une urbanisation excentrée

L'agglomération se trouve aujourd'hui devant une situation nouvelle qui se manifeste par: d'une part, la saturation du fond de vallée et d'autre part, par la difficulté de satisfaire les nouveaux besoins de la population en matière d'habitat et d'équipements. De ce fait, les extensions ne peuvent être envisagées qu'en dehors de la vallée, c'est-à-dire sur le plateau. La prise en charge de cette situation constitue l'objectif visé par les pouvoirs publics à travers les différents plans et plus particulièrement à travers le PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de 1992 et son révision en 2007). Ce dernier insiste sur la préservation de la vallée et sur la promotion de l'espace oasien et préconise des sites appropriés à l'extérieur de la vallée sous l'appellation de *nouveaux pôles de croissance* (NPC). Il s'agit:

- Site d'Ourighnou (Oued Nechou), c'est un site situé à 15 km au nord de Ghardaïa.

En 1989, il a fait l'objet de lotissements, presque 3 000 lots ont été distribués, dont 400 logements destinés à la promotion immobilière sociale, prise en charge par l'OPGI. Le PDAU est venu le réhabiliter en lui donnant le statut de NPC. Le site se trouve dépourvu de tout instrument d'occupation du sol, et dépourvu de grands équipements de service ou de production.

- le site de Noumérat, situé à la limite sud du territoire de la vallée, d'une superficie de 300 ha, ce site est intégré au territoire communal de Metlili, distante de 40 km de Ghardaïa. 5000 logements semi collectifs programmés dont seulement 30% réalisés à cause de non adhésion de la population.

- le site de Hamaraiate, situé à la périphérie nord-est de la ville d'El Atteuf à environ 3 km, un programme d'habitat social intégré de 250 logements, sous forme de nouveau ksar reste inhabité.

- le site de Bouhraoua, situé à la périphérie nord de Ghardaïa sur la RN1 à une distance d'environ 3 km. Y ont été réalisés 500 logements collectifs, une zone d'activité. Un programme de 2000 logements est prévu; la difficulté est de raccorder cet ensemble à l'assainissement de la vallée.

- Par ailleurs, durant ces dernières années, on relève avec intérêt un effort d'innovation tendant à se concrétiser par l'apparition de formes d'habitat et d'architecture conciliant tradition et modernité (SARI Dj. 2003). Ces programmes d'habitat sont réalisés par les collectivités locales sur le plateau sur des sites totalement vierges (à Bouhraoua), ainsi que par des promoteurs privés "nouveau ksar" à Beni Izguen. Ce dernier, en fait, pour ne pas tourner le dos à l'histoire, mais en même temps tenir compte du présent. Les habitants répugnent aux seuls procédés de construction moderne, ils concilient techniques nouvelles et savoir-faire traditionnel, pour pouvoir constituer des ensembles architecturaux adaptés à la sociologie du lieu.

Malgré les mesures incitatives préconisées en vue d'encourager les populations à s'installer dans les nouveaux pôles de croissance, cela, ne réussissent pas toujours à détacher les populations mozabites de leur ksar d'origine.

7. Du local au régional

A travers le programme spécial accordé à cette ville suite à sa promotion au rang de chef-lieu de wilaya dans le cadre de découpage administratif de 1984 (directions, équipements, ...). Ghardaïa a renforcé son rôle de métropole régionale. Cette ville saharienne est aujourd'hui une plaque tournante, non seulement au niveau local mais aussi régional voire national, du fait de sa position stratégique centrale dans le système micro-régional et dans les systèmes plus larges. Le trafic par voies routières au Sahara transite généralement par elle. Elle assure la liaison nord-sud (RN1, Alger – Ghardaïa - Tamanrasset).

Du point de vue économique et géographique, elle constitue le moteur du système local et a une incidence régionale. De ce fait, Ghardaïa constitue l'élément majeur de l'organisation centrale (wilaya), des établissements financiers, des sièges de sociétés nationales, des directions générales, des entreprises publiques et privées locales ou régionales et des commerces tous types confondus. Elle constitue le relais économique et administratif de l'influence nationale sur l'ensemble du territoire wilayal, Ce qui a généré au fil du temps une tertiarisation marquée qui ne cesse de s'accroître. En effet, le secteur tertiaire occupe 70 % de la population active de la ville.

L'activité à l'échelle macro est un des éléments les plus remarquables de l'adaptation à l'économie globale. Son rôle de plate forme commerciale n'est pas un fait récent. « Le M'zab, où la citadinité est le produit d'une longue tradition commerciale...a une position privilégiée qui lui permet de jouer un rôle éminent dans l'organisation de l'espace, car c'est à l'échelle saharienne, une plaque tournante très animée » (BISSON J. 1983).

La concentration des services, du commerce et des équipements (banques, agences de voyages, cabinets d'architectures, et des institutions à rayonnement régional (Université...) renforce son potentiel tertiaire et confirme son rôle métropolitain.

Cette domination sur ce territoire est liée à la présence d'activités de commandement et de centres de décision dans les domaines politico-administratifs, économiques, culturels, financiers et d'importantes infrastructures de transport (gare routière, aéroport international).

L'originalité actuelle de la ville est liée au rôle que les pouvoirs publics lui ont dévolu à tous les niveaux territoriaux. Conjugués à sa situation de ville carrefour, de grande ville et des possibilités de développement économique lui confèrent le rôle de place centrale, de métropole autour de laquelle gravitent tous les centres du système micro-régional. Elle assure la liaison nord-sud du point de vue économique et géographique; elle constitue le moteur à l'échelle locale et a une incidence régionale.

Le secteur du tourisme et de l'artisanat est un secteur stratégique au vu des potentialités touristiques et artisanales que recèle la région (sites touristiques, culturels, artisanat, pentapole...). Ghardaïa demeure

le deuxième pôle touristique algérien après le littoral et constitue une des régions les plus visitées du pays (Ghardaïa-Atlas 2004).

8. Conclusion: vers une "métropole régionale confirmée"

L'urbanisation de la vallée du M'zab est un phénomène irréversible et rapide.

Des bouleversements de fond en comble sont intervenus durant les trois dernières décennies avec inévitablement des retombées préjudiciables sur la vallée et ses équilibres patiemment réalisés durant tout le millénaire écoulé.

En fait, il n'est pas aisé d'isoler Ghardaïa des deux cités toutes proches: Melika et Beni Izguen. Les trois cités sont confondues et forment désormais une seule et même grande agglomération. Elle occupe le 26^{ème} rang des agglomérations urbaines et 6^{ème} au Sahara (2008).

Incontestablement, le phénomène de métropolisation ne cesse de s'affirmer. Il en est ainsi en particulier de l'expansion continue du tertiaire avec une spécialisation en rapport avec l'implantation d'un certain nombre d'infrastructures.

Ghardaïa possède des atouts territoriaux pouvant lui permettre de jouer un rôle important dans la région saharienne, voire dans le développement socio-économique du pays: d'une part, l'agglomération bénéficie d'une position géographique stratégique au carrefour des routes (Nord-Sud et Est-Ouest) et d'importantes infrastructures de haut niveau (Universités, hôpital, gare routière, aéroport, centres culturels et de loisirs...). Par ailleurs, elle dispose d'un tissu industriel de PME, PMI (industrie sidérurgique, métallique, mécanique et électrique, industrie des matériaux de construction, céramique et verre, industrie du textiles, agroalimentaire, bois, papier, ...). Ainsi la fonction à promouvoir est plutôt celle de plaque commerciale à l'échelle régionale, Ghardaïa a également vocation à devenir un pôle touristique et culturel. Son patrimoine culturel doit être valorisé. Cela passera nécessairement par la mise en œuvre d'un programme de valorisation et de sauvegarde du patrimoine urbain.

Mais, des efforts restent à faire notamment en terme de services aux entreprises de niveau supérieur et de remise à niveau de son cadre urbain pour le rendre adéquat à ces fonctions d'accueil.

Références Bibliographiques

- BELGUIDOUM. S, 2002 « Urbanisation et urbanité au Sahara », revue *Méditerranée* n° 3.4 Aix En Provence, pp.
- BENYOUCEF. B, 2004 « Les villes nouvelles: autopsie d'une expérience locale », revue du *laboratoire d'aménagement du territoire*, n°2, Université de Constantine, pp. 99 – 118.
- BENYOUCEF. B, 1986, *Le M'zab les pratiques de l'espace*, Entreprise nationale du livre, Alger, 119p.
- BISSON. J, 2004, *Mythes et réalités d'un désert convoité, le Sahara*, éd. L'Harmattan, 479 p.
- BISSON. J, 2002 « Rôle et évolution de capitales de région dans le fonctionnement de l'espace au Sahara », revue *Méditerranée* n° 3.4 Aix En Provence, pp 65 - 69.
- BISSON. J, 1995, *Développement et mutations au Sahara maghrébin*, Orléans-Tours. CRDP, 172 p.
- BISSON. J, 1983 « Les sahariennes, politique volontariste et particularisme régionaux » *Maghreb-Machrek*, n° 100, pp. 25-41, Paris.
- BOUSQUET. C, 1986 « Les nouveaux citadins de Beni Izguen, M'zab », *URBAMA*, fascicule de recherches n° 17, tome II, Tours.
- COTE. M, 1012, *Signatures sahariennes, terroirs et territoires vus du ciel, méditerranée*, Aix En Provence, 307p.
- COTE. M, 2002 « Une ville remplit sa vallée: Ghardaïa », revue *Méditerranée* n° 3.4 Aix en Provence, pp107 - 110.
- COTE. M, 1996, *L'Algérie espace et société*, Masson/Armand Colin, Paris, 245p.
- FONTAINE. J, 1996 « Les populations sahariennes » Tours, *Les Cahiers d'URBAMA*, n° 12, p.p. 33-44.
- KOUZMINE. Y, 2010 « villes sahariennes et migration en Algérie, polarisation et structures spatiales régionales », *villes d'Algérie*, éd. CRASC, pp. 127-137, Oran.
- RAVEREAU. A, 1981, *Le M'zab, une leçon d'architecture*, Sindbad, Paris, 282p
- SARI. Dj, 2003, *Le M'zab une création ex-nihilo en harmonie avec les principes égalitaires de ses créateurs*, éditions ANEP, Alger, 77 p
- Ghardaïa- Atlas 2004
- PDAU de la vallée du M'zab, 1992, URBATIA, Ghardaïa
- PDAU de la vallée du M'zab révision, 2007, URBATIA, Ghardaïa
- ONS, 1998, Armature urbaine n° 97, collections statistiques, RGPH 1998.
- Armature urbaine, RGPH 2008.

Second Forum de Haut niveau sur la Gestion Globale de l'Information Géospatiale (UN.GGIM)

■ *Doha, Qatar, du 4 au 6 février 2013.*

Le Directeur Général de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), a représenté l'Algérie au second Forum de Haut niveau sur la Gestion Globale de l'Information Géospatiale, qui s'est tenu à Doha du 4 au 6 février 2013.

Ce Forum a enregistré la participation de 60 pays avec plus de 300 représentants dont (08) ministres de différents pays, (10) organisations des Nations Unis ainsi que (50) organisations internationales et le secteur privé.

Les travaux du Forum ont été inaugurés par son excellence Sheikh Hamad Bin Jassim Bin Jabr Al-Thani, premier Ministre et Ministre des Affaires Etrangères du Qatar, qui a rappelé l'importance de l'information géospatiale et a exhorté les pays à coopérer davantage pour répondre aux questions sur le développement durable par l'utilisation appropriée de l'information géospatiale.

L'intervention du segment ministériel, a porté essentiellement sur le partage de point de vue et le rôle joué par l'information géospatiale dans le développement national dans leur pays respectifs. Les travaux du forum se sont poursuivis par les sessions thématiques suivantes :

- la construction d'un système national d'information géospatiale ;
- les tendances futures en matière d'information géospatiale : croissance de la base d'information, favoriser une plus grande utilisation ;
- l'élaboration d'un cadre global de référence géodésique et le soutien des services de géolocalisation ;
- l'information géospatiale et le développement durable (RIO+20), et les défis dans le développement de jeux de données de base de référence mondiale.

Lors des débats les délégués ont salué les efforts de l'organisation des nations Unies et souligné la prise de conscience croissante des avantages sociaux et économiques de l'information géospatiale et qu'elle est un atout stratégique pour guider l'action des gouvernements pour répondre aux attentes de leurs populations.



A l'issue de leurs travaux les participants au Forum et en vue de renforcer la coopération dans la gestion de l'information géospatiale pour faire face aux défis globaux ont adopté la déclaration dite déclaration de Doha (Lien: <http://ggim.un.org/docs/meetings/2ndHighLevelForum/Doha%20Declaration%20of%2006-2-13%20Final.pdf>) sur la gestion avancée de l'information géospatiale, qui porte essentiellement sur :

- collaborer entre états avec la coordination des Nations unies pour élaborer un référentiel géodésique opérationnel ;
- œuvrer pour l'élaboration d'une infrastructure nationale de données géospatiales aux normes internationales dans des délais raisonnables pour le pouvoir décisionnel ;
- promouvoir l'utilisation de l'information géospatiale pour le développement durable ;
- travailler en collaboration pour l'amélioration des programmes de formation à tous les niveaux et favoriser le transfert du savoir faire et le partage des expériences ;
- encourager la collaboration régionale dans la promotion et le développement de la gestion de l'information géospatiale ;
- définir un cadre commun pour supporter les activités de développement durable.

Ce forum dénote donc de l'intérêt accordé par les instances onusiennes à l'information géospatiale et la nécessité de la coopération internationale et le partage d'expériences et de meilleures pratiques pour faciliter le transfert de technologies vers les pays en voie de développement.

■ *Rapport signé Mr A. KESRAOUI
Directeur Général de l'Institut National de
Cartographie et de Télédétection (INCT)*

3^{ème} édition de la Semaine Forestière Méditerranéenne (III SFM)

■ Tlemcen, du 17 au 21 Mars 2013.

La 3^{ème} édition de la Semaine Forestière Méditerranéenne qui s'est déroulée du 17 au 21 Mars 2013 à la maison du parc de Lalla Setti à Tlemcen a été conçue comme une plate-forme commune pour la coopération régionale sur les forêts méditerranéennes, visant à améliorer le dialogue entre la communauté de recherche, les décideurs politiques et les acteurs concernés ainsi qu'à communiquer à la communauté internationale et à la société dans son ensemble l'importance des forêts méditerranéennes et les défis qui les affectent.

Après le succès des deux premières SFM, en 2010 à Antalya (Turquie) et en 2011 à Avignon (France), l'Algérie a accueilli cette troisième édition. Cette rencontre a été organisée sous l'égide du Gouvernement Algérien, du Fonds Alimentaire Mondial (FAO), le Ministère français de l'Agriculture, le comité Silva Méditerranéen, la Coopération Allemande au Développement (GIZ), le Plan Bleu, le Réseau Méditerranéen des Forêts des Modèles (RMFM), l'Institut Européen des Forêts bureau Méditerranéen (EFIMED), l'Association internationale forêts méditerranéennes (AIFM), et du Centre Technolo-gique Forestier de Catalogne (CTFC).

«Les forêts méditerranéennes au service du développement durable des territoires: quelles stratégies d'adaptation et d'atténuation face aux changements globaux ?» est le thème central autour duquel se sont articulés les travaux de cette rencontre. L'objectif de cette semaine est de montrer l'importance de la forêt et l'impact climatique sur les forêts méditerranéennes.

Ont participé à cette rencontre près de 200 experts et chercheurs (de l'agriculture et/ou de l'environnement) des pays du bassin méditerranéen, en l'occurrence l'Algérie, le Maroc, la Tunisie, la Turquie, la Syrie, le Liban, la France, l'Espagne, le Portugal et l'Italie.

La cérémonie d'ouverture de cette rencontre a été présidée par le Secrétaire Général du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, M. Fodhil Ferroukhi.

Des communications, ateliers et tables rondes ont été organisés lors de cette manifestation autour de sujets liés à l'état conjoncturel de la forêt à travers les pays du bassin méditerranéen, les enjeux rencontrés par le développement social,



le changement climatique et la contribution méditerranéenne dans le développement durable des territoires ruraux riverains.

En marge de cette Semaine forestière méditerranéenne, une opération de plantation d'arbres à la faveur de la Journée internationale de la forêt (2013) a été initiée. Aussi, une visite du parc de Tlemcen a été organisée à l'intention des participants.

Cette manifestation a permis le partage de l'état des forêts méditerranéennes et le renforcement des échanges et des synergies entre les acteurs concernés par la gestion intégrée des espaces boisés méditerranéens. Aussi, cette rencontre était l'occasion de discuter et de partager le projet de Cadre Stratégique pour les Forêts Méditerranéennes (CSFM): Orientations politiques pour la gestion intégrée des Ecosystèmes Forestiers dans les territoires Méditerranéens.

Les travaux de cette manifestation ont été sanctionnés par l'adoption d'un document final dit Déclaration de Tlemcen, qui intègre les éléments clés du Cadre Stratégique pour les Forêts Méditerranéennes (CSFM) et les principales conclusions issues des discussions échangées. Aussi, il a été annoncé l'organisation de la prochaine rencontre (IV SFM) en 2015 à Barcelone, Espagne.



■ *Rapport signé Mr M.ZIDANE
Le Chef de l'Etablissement Régional
de Cartographie et Télédétection / Oran*

16^{ème} Conférence d'AGILE sur la science de l'information géographique

■ Leuven, Belgique, du 14 au 17 mai 2013.

La 16^{ème} Conférence d'AGILE (Association des Laboratoires en Information Géographique de l'Europe) a eu lieu du 14 au 17 mai 2013, sous l'égide de la Division des Applications Spatiales de l'Université Catholique de Louvain (SADL) en collaboration avec le Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement de cette université. L'intitulé de cette 16^{ème} édition est « la Science de l'Information Géographique au cœur de l'Europe »



Cette conférence avait pour objectif de fournir un espace de discussion et d'échange à l'effet de présenter les nouvelles orientations de la science de l'information géographique dans le monde et aussi, de discuter les rapports de cette science avec les différents secteurs d'activité économiques et académiques, notamment au niveau européen.

Aussi, les travaux de cette manifestation ont permis aux représentants de l'Algérie de s'enquérir des nouvelles technologies dans le domaine de l'exploitation des données géographiques et ce, à travers les multiples rencontres et discussions avec les spécialistes internationaux dans ce domaine, afin de s'inspirer de leurs expériences pour le développement d'applications SIG au niveau de notre pays.

Dans ce sens, diverses applications peuvent être engagées avec des opérateurs potentiels utilisateurs des outils SIG nécessaires pour une planification efficace des projets et une gestion rationnelle des ressources. Parmi les applications à mettre en œuvre, on peut citer:

- la conception et la réalisation d'un système SIG de gestion des ressources hydrauliques, notamment dans les zones à activité agricole importante;

- la conception et la réalisation d'un système SIG pour "aménagement du territoire, mis à jour régulièrement en utilisant des données émanant des organismes compétents en la matière;
- la conception et la réalisation d'un système SIG de gestion et de contrôle (Monitoring) des réseaux de communication (routes, chemins de fer, et transport maritime) ;
- la conception et la réalisation d'un système SIG de gestion des structures du réseau industriel et de services. Cet outil, avec les ressources susmentionnées, est très important pour la planification de tout projet à caractère économique et surtout son insertion efficace dans le tissu industriel existant.

D'après l'expérience des pays développés dans le domaine des sciences de l'information géographique, notamment ceux de l'Union Européenne, Il ressort que les projets SIG nécessitent un investissement matériel minimal pour être mis en œuvre, mais exigent un potentiel humain de qualité et une bonne gestion de projet. Néanmoins, grâce aux nouvelles technologies, les projets SIG ont aujourd'hui une valeur ajoutée significative notamment en termes d'économie de moyens logistiques et de gestion.

■ *Rapport signé Mr M. ABID / INCT
& Mr Dj. BENAMEUR / CREIS*

Symposium International sur les grands séismes méditerranéens : du passé vers le présent

■ Alger, du 21 au 23 mai 2013.

Dans le cadre de la commémoration du 10^{ème} anniversaire du séisme de Boumerdes, le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et de Géophysique (CRAAG) en collaboration avec la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC) ont organisé un Symposium International sur les grands séismes méditerranéens du 21 au 23 mai 2013 au niveau de l'Unité de la DGPC à Dar El Beida à Alger.

Après la cérémonie d'ouverture animée par une parade des agents d'intervention de la DGPC qui ont présenté tous les dispositifs récents basés sur la technologie de pointe utilisée pour les secours après les séismes, les allocutions de bienvenue du Directeur du CRAAG et du Directeur Général de la DGPC ont mis l'accent sur la nécessité du développement de la sismologie en Algérie pour minimiser les pertes matériels et humaines. S'en est suivi des présentations reflétant les témoignages sur l'ampleur des dégâts causés par les différents séismes qui ont touché notre pays à travers les siècles et l'organisation des secours.

Cette Manifestation scientifique considérée comme un retour d'expérience du séisme de Boumerdes a vu la participation de plusieurs scientifiques et chercheurs dans le domaine de la sismologie et autres disciplines connexes, de plus d'une dizaine de pays du bassin méditerranéen et autre tels que la France, l'Italie, la Turquie, l'Afrique du Sud, l'Espagne, la Grande Bretagne, le Portugal, la Tunisie, le Maroc, la Libye, l'Egypte,... A travers leurs communications diverses, les intervenants ont établi les synthèses des différentes études et technologies développées 10 ans après ce séisme et ont tenu un forum de discussion très riche sur les résultats scientifiques obtenus et de la nécessité d'intégrer ce séisme dans le contexte de la sismicité méditerranéenne.

Les communications scientifiques présentées lors de ce symposium international étaient réparties en 8 sessions:

- 1. la session 1 :** historique des grands séismes ;
- 2. la session 2 :** la sismicité d'aujourd'hui où les communicants ont mis l'accent sur les nouveaux modèles de Failles dans le bassin méditerranéen établis en utilisant le GPS et l'InSar comme techniques de base;



3. la session 3 : la séismotectonique et la paléosismicité;

4. la session 4 : la déformation de la croûte terrestre qui peut être quantifiée par l'utilisation des différentes données issues des :

- réseaux du GPS permanent et réseaux GNSS,
- réseaux de gravimétrie,
- observations enregistrées par les satellites altimétriques,
- observations acquises par l'interférométrie radar satellitaire.

5. la session 5 : étude des mécanismes qui génèrent les tsunamis au niveau du bassin méditerranéen ;

6. la session 6 : évaluation du risque sismique;

7. la session 7 : étude des différents systèmes de prédiction sismique et de leurs conséquences (tsunamis) en se basant sur les diverses bases de données terrestres et spatiales (base de données du microsatellite demeter). Etablissement des SIG sismiques pour pouvoir déclencher les alertes et établir des plans de gestion des crises ;

8. la session 8 : utilisation des différentes techniques géophysiques pour l'identification et la localisation des structures de failles.

En marge des conférences et communications scientifiques, s'est tenue une exposition pour la présentation des activités de plusieurs organismes liés aux sciences de la terre et à l'environnement notamment l'INCT, le CTC, l'ONM, le Ministère de l'Habitat, le CRAAG,...etc.

A l'issue des trois journées du symposium, les organisateurs de cette manifestation internationale ont déclaré lors de la cérémonie de clôture, la réussite de cet événement vu le nombre important de participants enregistrés et la qualité des travaux présentés.

■ *Rapport signé Mme R. GUEMDANI
Institut National de Cartographie
et de Télédétection (INCT)*

5^{ème} conférence internationale sur les Missions de vol en formation des engins spatiaux et les technologies

■ Munich-Allemagne, du 29 au 31 mai 2013.

La conférence internationale sur les missions de vol en formation des engins spatiaux et les technologies, dans sa 5^{ème} édition, a eu lieu à Munich (Allemagne) du 29 au 31 mai 2013 sous l'égide du Centre de Recherche en Aérospatiale Allemand (DLR/GSOC) en collaboration avec l'Agence Spatiale Nationale (NASA/USA) et l'Agence Spatiale Canadienne (CSA/Canada).

La première édition de cette manifestation scientifique a été organisée à Toulouse - France en 2002, et un peu plus tard à Washington DC - USA en 2004, Noordwijk - Hollande en 2008 et Saint Hubert (Quebec) - Canada en 2011.

Cette conférence est un forum de discussion entre scientifiques, chercheurs, industriels et utilisateurs intéressés par les technologies et les systèmes de vol en formation des engins spatiaux. Elle offre des opportunités d'échange d'expériences et de points de vue entre les acteurs et les utilisateurs de ces technologies à travers le monde.

De l'algorithmique et essais d'application de nouveaux concepts mathématiques et physiques pour les calculs d'orbites et la planification de missions de vol en formation de deux ou plusieurs satellites évoluant en tandem ou en constellation sur des orbites elliptiques ou quasi-circulaires, à la description de missions opérationnelles ou testées sur des simulateurs, les sujets et thèmes ayant animé cette conférence sont :

- Missions opérationnelles ou planifiées (**Planned or Operative Missions**)
- Guidage, Navigation et Contrôle (**Guidance, Navigation, and Control**)
- Les nouveaux concepts de missions, les services en orbite (**New Mission Concepts - On-orbit Servicing**)
- Technologies des plateformes (**Platform Technologies**)
- Les nouveaux concepts de missions, vol en formation (**New Missions concept -Formation Flying**)
- Poursuite et Navigation des systèmes Spatiaux distribués (**Tracking and Navigation of Distributed Space Systems**)
- Conception des orbites relatives et trajectoires (**Relative Orbit Design and Trajectories**)



- Les leçons apprises à partir des missions passées et actuelles (**Lessons Learned from Current and Past Missions**)

Les missions spatiales, et en particulier celles de l'observation de la terre, sont des opérations exigeantes en délais de préparation (conception, construction, lancement) et surtout en coût de réalisation et d'exploitation. De ce fait elles ne sont pas à la portée de tous les pays et institutions. Les avancées technologiques dans le domaine de l'industrie spatiale ont démontré l'efficacité des micros et nano satellites pour effectuer des missions de courtes durées, en orbites basses, dans le domaine de l'observation de la terre.

En effet, plusieurs missions de satellites de communication et d'observation de la terre, volant en formation, sont actuellement opérationnelles dont on peut citer : les missions (GRACE, TSX/TDX) et les constellations (SATCOMBw) du DLR/GSOC-Allemagne ; la mission de vol en formation Suédoise PRISMA; la mission TANDEM-X réalisée par le DLR/GSOC-Allemagne et la société privée EADS Astrium.

Cette mission est dédiée à l'acquisition de modèle numérique du terrain (MNT) par interférométrie radar d'une précision de 2 mètres en altimétrie. Elle est composée de deux satellites, TerraSAR-X (lancé en juin 2007) et TanDEM-X (lancé en juin 2010).

L'intérêt de l'Algérie, qui est à ses premiers balbutiements dans l'aventure spatiale, et plus spécialement dans le domaine des satellites de télédétection, réside prioritairement dans l'application future des technologies des systèmes spatiaux distribués et de vol en formation de microsattelites d'observation de la terre, dédiés à l'imagerie stéréoscopique pour les applications de cartographie topographique du territoire.

De part sa superficie et sa diversité géomorphologique, la cartographie topographique de l'Algérie - pays continent - est, et restera une problématique de coûts et surtout de délais, et cela malgré les efforts titanesques déployés à ce jour. Conscient, de façon très précoce, depuis la décennie 1970, que l'avenir de la cartographie est dans le spatial, l'INCT n'a cessé de multiplier les efforts pour tester et mettre en œuvre des processus

nouveaux, avant-gardistes et prometteurs pour le développement de la cartographie spatiale.

Les leçons tirées des expériences passées dans le domaine de la cartographie topographique à l'aide de l'imagerie satellitaire, dont le projet CAIS, nous ont appris que de pareils projets ne peuvent être concrétisés que si l'on dispose d'un dispositif efficace et autonome de fourniture d'images stéréoscopiques à haute résolution de qualité, à la date et à l'endroit voulu. La mise en œuvre d'un satellite de télédétection fournissant des images stéréoscopiques de haute résolution, de la gamme de SPOT, est difficilement envisageable aujourd'hui. Mais la mise en orbite de deux microsattelites (ou bien 2 pico-sattelites) évoluant en tandem et fournissant des images stéréoscopiques est un projet réalisable.

Certain que l'ambition et la volonté de toujours mieux faire existe, les trois institutions directement concernées par ce sujet et qui sont : l'INCT, le CREIS et l'ASAL, doivent inscrire dans leurs agenda une collaboration pour réfléchir dès à présent à la mise en œuvre d'un tel projet aux horizons 2020.

■ *Rapport signé Mr M.ABDEDOU
Chargé de Mission Etudes
& Synthèses / INCT*

Colloque international sur les risques de Tsunami et de séisme sur les deux rives de la Méditerranée

■ Tipaza, Alger, les 08 et 09 juin 2013.

Chercheurs et universitaires issus de sept pays ont pris part au colloque international sur "Les risques de Tsunami et de séisme sur les deux rives de la Méditerranée", qui s'est déroulé les 08 et 09 juin 2013, à l'Unité de développement des équipements solaires (UDES) de Bou Ismail -Tipaza.

Cette rencontre a été organisée à l'initiative de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, en collaboration avec le Réseau Algérien

des Sciences de la Mer (RASMER), le Service Hydrographique des Forces Navales (SHFN) et l'Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB).

Cette rencontre internationale a drainé un nombre important d'imminents experts internationaux activant dans le domaine (France, d'Espagne, du Portugal, d'Italie, des Etats-Unis d'Amérique, de Grèce et de Turquie), qui ont essayé pendant les deux jours de la rencontre de présenter différentes études liées au phénomène en question ainsi que les résultats de leurs travaux de recherche.

L'objectif du colloque était de débattre les risques de Tsunami encourus par les pays des deux rives méditerranéennes, ainsi que de suggérer des pistes de solutions pour prévenir et anticiper ces risques, en toute sérénité.

Encadrées par le Professeur M. MEGHRAOUI, les communications ont porté sur :

- Tsunami dans la région méditerranéenne (06 communications)
- Glissement de terrain et les météotsunami (04 communications)



- Géodynamique de la région et les anciens tsunamis (05 communications)
- Zemmouri 2003 : les leçons (08 communications)

Cette rencontre a constitué, pour les participants algériens, représentant les secteurs des travaux publics et de l'habitat, ainsi que les Forces Navales, les universités et les laboratoires de recherche, une opportunité de s'enquérir des voies et moyens susceptibles d'aider à vivre avec le Tsunami et les catastrophes naturelles pouvant frapper notre pays à tout moment.







Cette manifestation internationale a été clôturée après deux jours de travaux, et les différents participants ont tenu à souligner sa réussite dans l'espoir de voir un jour ses recommandations prises en charge dans la politique de développement territorial de l'Algérie, et le renforcement des liens de collaboration entre la communauté scientifique et leurs collègues des différentes institutions.

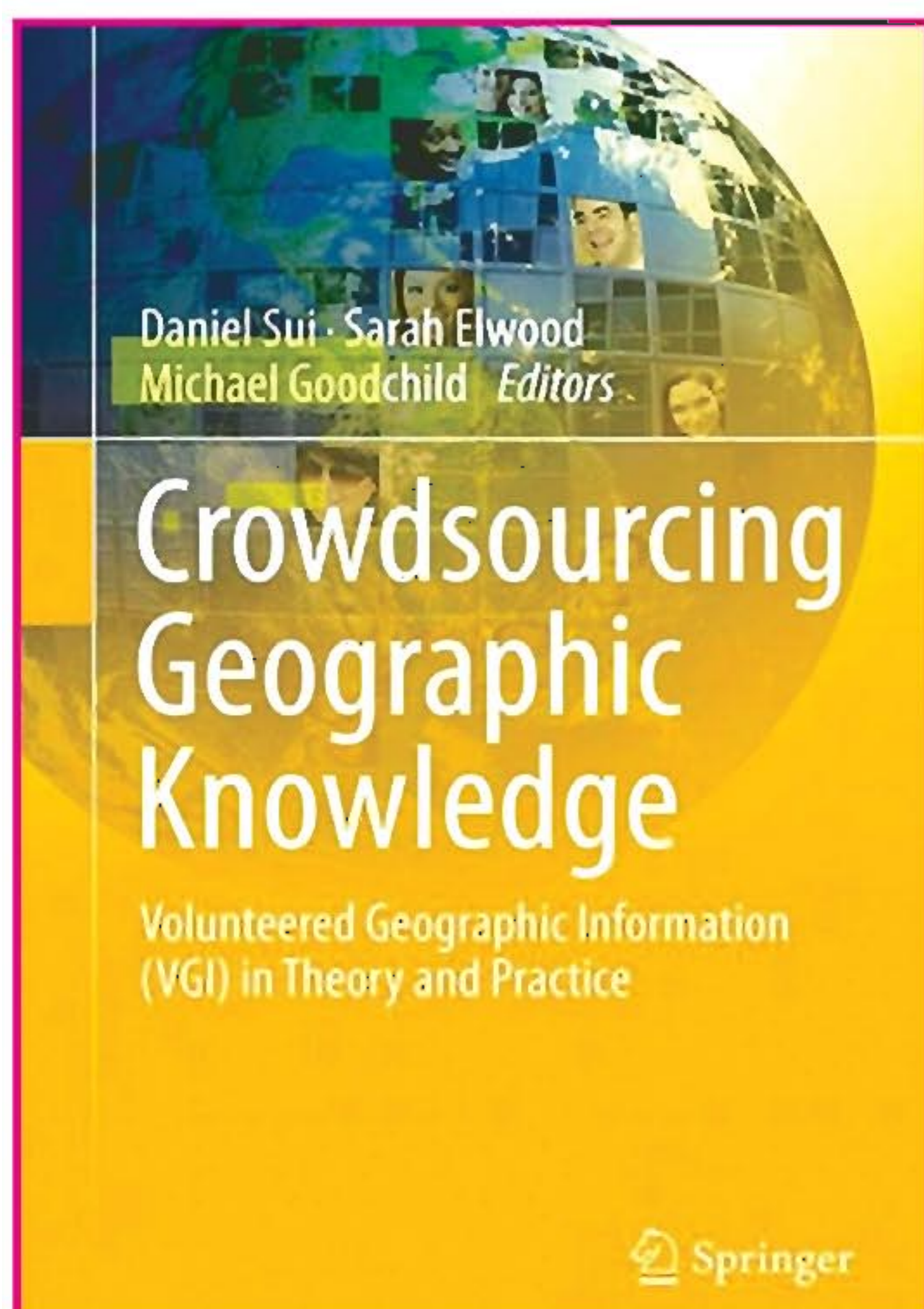
■ *Rapport signé Mr N. OMRANE
Directeur Technique / INCT*

CALENDRIER DES MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

DATE ET LIEU	MANIFESTATIONS	SITE WEB	CONTACT
<p>21 au 26 Juillet 2013 Melbourne, AUSTRALIE</p> 	<p>IGARSS 2013 IEEE Symposium international sur les géosciences et la télédétection</p>	<p>http://www.igarss2013.org/</p>	<p>info@igarss2013.org</p>
<p>20 au 22 Août 2013 Antu, province de Jilin CHINE</p> 	<p>ISIDF 2013 3^{ème} Colloque international sur l'image et la fusion de données</p>	<p>http://iwidf2013.casm.ac.cn</p>	<p>http://iwidf2013.casm.ac.cn Yu Zheng Tél: +86 10 88628818 Fax: +86 10 88217813 zengyu@casm.ac.cn</p>
<p>25 au 29 Août 2013 Arlington, Virginia, USA</p> 	<p>ICWG VIII / 2 2^{ème} Symposium sur les avancés des technologies géospaciales</p>	<p>isprs-wg8-2.info/symposium/</p>	<p>Fazlay Faruque Tél: + 1 601-815-9027 ffaruque@umc.edu</p>
<p>25 au 30 Août 2013 Dresde, Allemagne</p> 	<p>26^{ème} Conférence cartographique internationale 2013</p>	<p>http://www.icc2013.org</p>	<p>Manfred F. Buchroithner Tél: +49 177 48 68 121 Manfred.Buchroithner@tu-dresden.de</p>
<p>26 au 29 Août 2013 Sarawak, MALAISIE</p> 	<p>ISDE 2013 8^{ème} Symposium international sur la terre numérique</p>	<p>http://isde2013kuching.com/</p>	<p>SDE 2013 Secrétariat du Symposium Tél: +603 4252 9100 Fax: +603 4257 1133 isde2013@aosconventions.com</p>
<p>9 au 11 Septembre 2013 Nottingham, Royaume-Uni</p> 	<p>2^{ème} Symposium international sur le suivi de la déformation (JISDM)</p>	<p>www.nottingham.ac.uk</p>	<p>Xiaolin Meng Tél: +44 115 846 6029 Fax: +44 115 951 3881 xiaolin.meng@nottingham.ac.uk</p>
<p>9 au 13 Septembre 2013 Stuttgart, ALLEMAGNE</p> 	<p>54^{ème} Semaine de photogrammétrie</p>	<p>www.ifp.uni-stuttgart.de/phowo/index.en.html</p>	<p>Secrétariat Phowo Tél: +49 711 685 83201 Fax: +44 711 685 83297 phowo@ifp.uni-stuttgart.de</p>

<p>17 au 21 Septembre 2013 Nottingham, Royaume-Uni</p> 	<p>FOSS4G 2013 Conférence mondiale sur le logiciel géospatial open source - "Geo pour tous"</p>	<p>http://2013.foss4g.org/</p>	<p>shfeldman@gmail.com</p>
<p>23 au 26 Septembre 2013 Dresde, ALLEMAGNE</p> 	<p>SPIE Télédétection 2013</p>	<p>http://spie.org/x6262.xml</p>	<p>SPIE Europe Tél: +44 29 2089 4747 info@spieurope.org</p>
<p>23 au 26 Septembre 2013 Fontainebleau, FRANCE</p> 	<p>13^{ème} Conférence internationale scientifique et technique « de l'imagerie à la carte: les technologies de photogrammétrie numérique »</p>		<p>Mrs. Mona Awada Tél: +7 495 720 51 27 Fax: +7 495 720 51 28 conference@racurs.ru</p>
<p>23 au 27 Septembre 2013 Beijing, CHINE</p> 	<p>64^{ème} IAC Congrès international sur l'astronomie</p>	<p>http://iac2013.wizmeeting.com/dct/page/1</p>	<p>office@csaspace.org.cn Tél: +86 10 68193081/+86 10 68768623 Fax: +86 10 68768624 iac2013@csaspace.org.cn</p>
<p>24 au 25 Septembre 2013 Kuala Lumpur, MALAISIE</p> 	<p>ISG 2013 Symposium international de la géoinformation</p>	<p>www.voronoï.com/isg2013/</p>	<p>Secretariat de ISG 2013 +607 - 5530801 +607 - 5566163 isg2013@utm.my</p>
<p>24 au 25 Septembre 2013 Kuala Lumpur, MALAYSIA</p> 	<p>FIG Atelier international sur le model du domaine de l'administration de la terre (LADM2013)</p>	<p>www.isoladm.org</p>	<p>Peter van Oosterom P.J.M.vanOosterom@tudelft.nl</p>

<p>4 au 8 Octobre 2013 Téhéran, IRAN</p> 	<p>WG I / 4 SMPR 2013 2^{ème} Conférence internationale sur les capteurs et les modèles de télédétection et de photogrammétrie</p>	<p>smpr.ut.ac.ir</p>	<p>H. Arefi Tél: +49-8153-282165 (Office) Fax: +49-8153-281444 hossein.arefi@dlr.de</p>
<p>20 au 24 Octobre, 2013 Bali, INDONÉSIE</p> 	<p>ACRS 2013 34^{ème} Conférence asiatique sur la télédétection</p>	<p>www.acrs2013.com</p>	<p>ACRS 2013 Secretariat secretariat@acrs2013.com</p>
<p>23 au 25 Octobre 2013 Santiago du Chili, CHILI</p> 	<p>LARS 2013 Semaine de la télédétection de l'Amérique latine</p>	<p>www.lars.cl</p>	<p>Viviana Barrientos Lardinois viviana.barrientos@saf.cl</p>
<p>29 au 30 Octobre 2013 Téhéran, IRAN</p> 	<p>2^{ème} Conférence internationale sur les dangers environnementaux</p>	<p>http://ICEH2013.ir</p>	<p>Tél: +98 9308999260 Fax: +98 2188329214 iceh@khu.ac.ir</p>
<p>11 au 12 Novembre 2013 Xuzhou, province du Jiangsu, CHINE</p> 	<p>WG IV / 5 3^{ème} atelier international sur la cartographie web et les services de géotraitement et applications (WebMGS 2013)</p>		<p>Lixin Wu & Jieqing Yu Tél: +86 516 83899708 awulixin@yahoo.com.cn yujieqing@gmail.com Prof Bert Veenendaal Tél: +618 9266 7565 b.veenendaal@curtin.edu.au</p>
<p>9 au 11 Décembre 2013 Hanoi, VIETNAM</p> 	<p>La 9^{ème} Conférence internationale sur la géoinformation pour la gestion des catastrophes (Gi4DM)</p>	<p>www.gi4dm2013.com</p>	<p>Conference Office contact@gi4dm2013.com gi4dm2013@gmail.com</p>

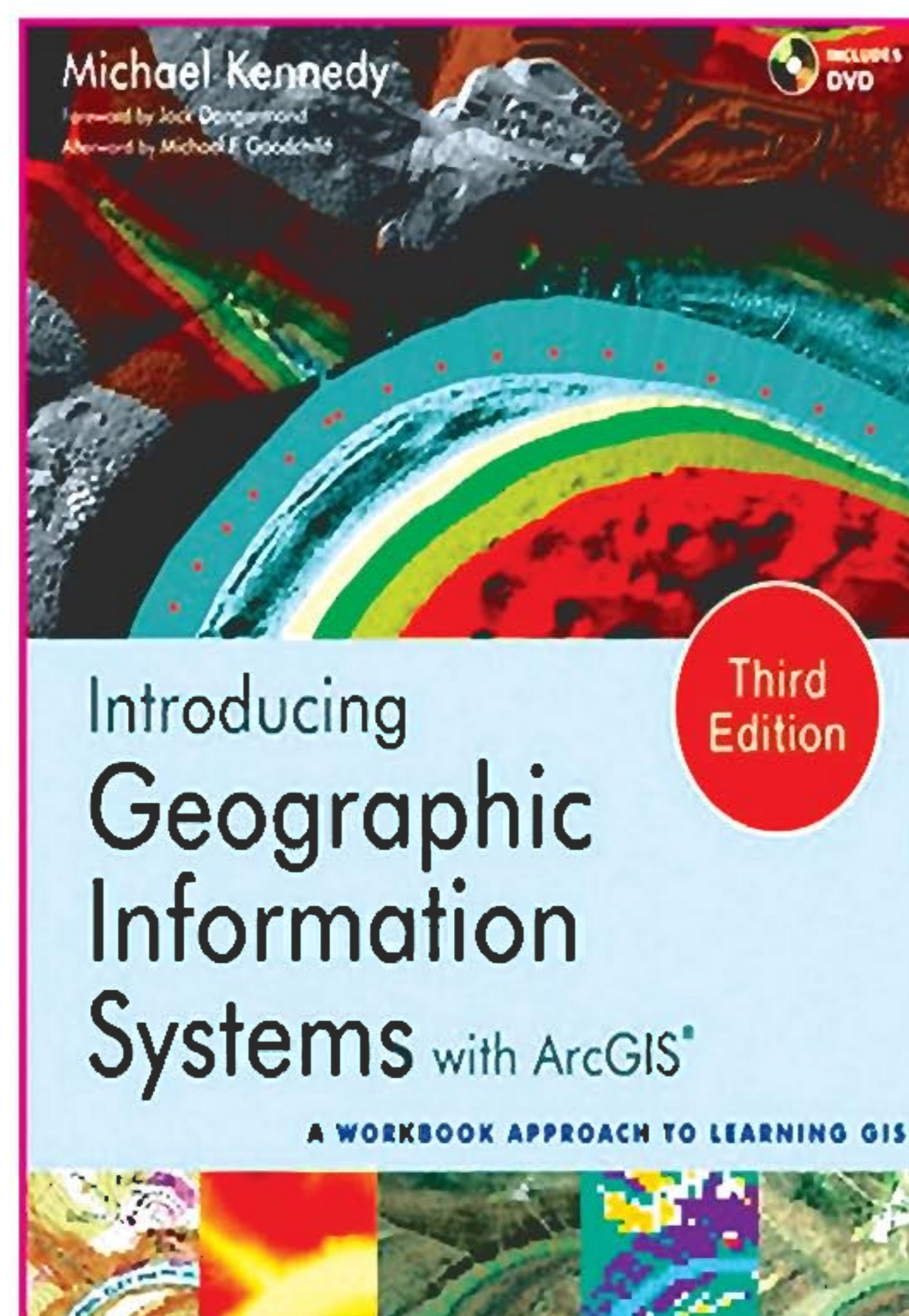


Crowdsourcing Geographic Knowledge

Daniel Sui, Sarah Elwood & Michael Goodchild

The phenomenon of volunteered geographic information is part of a profound transformation in how geographic data, information, and knowledge are produced and circulated. By situating volunteered geographic information (VGI) in the context of big-data deluge and the data-intensive inquiry, the 20 chapters in this book explore both the theories and applications of crowdsourcing for geographic knowledge production with three sections focusing on 1). VGI, Public Participation, and Citizen Science; 2). Geographic Knowledge Production and Place Inference; and 3). Emerging Applications and New Challenges. This book argues that future progress in VGI research depends in large part on building strong linkages with diverse geographic scholarship. Contributors of this volume situate VGI research in geography's core concerns with space and place, and offer several ways of addressing persistent challenges of quality assurance in VGI. This book positions VGI as part of a shift toward hybrid epistemologies, and potentially a fourth paradigm of data-intensive inquiry across the sciences. It also considers the implications of VGI and the exaflood for further time-space compression and new forms, degrees of digital inequality, the renewed importance of geography, and the role of crowdsourcing for geographic knowledge production.

Editon: Springer édition 2013
407 pages / 9 Août 2012
Langue Anglaise
ISBN-13: 978-9400745865



Geographic Information Systems

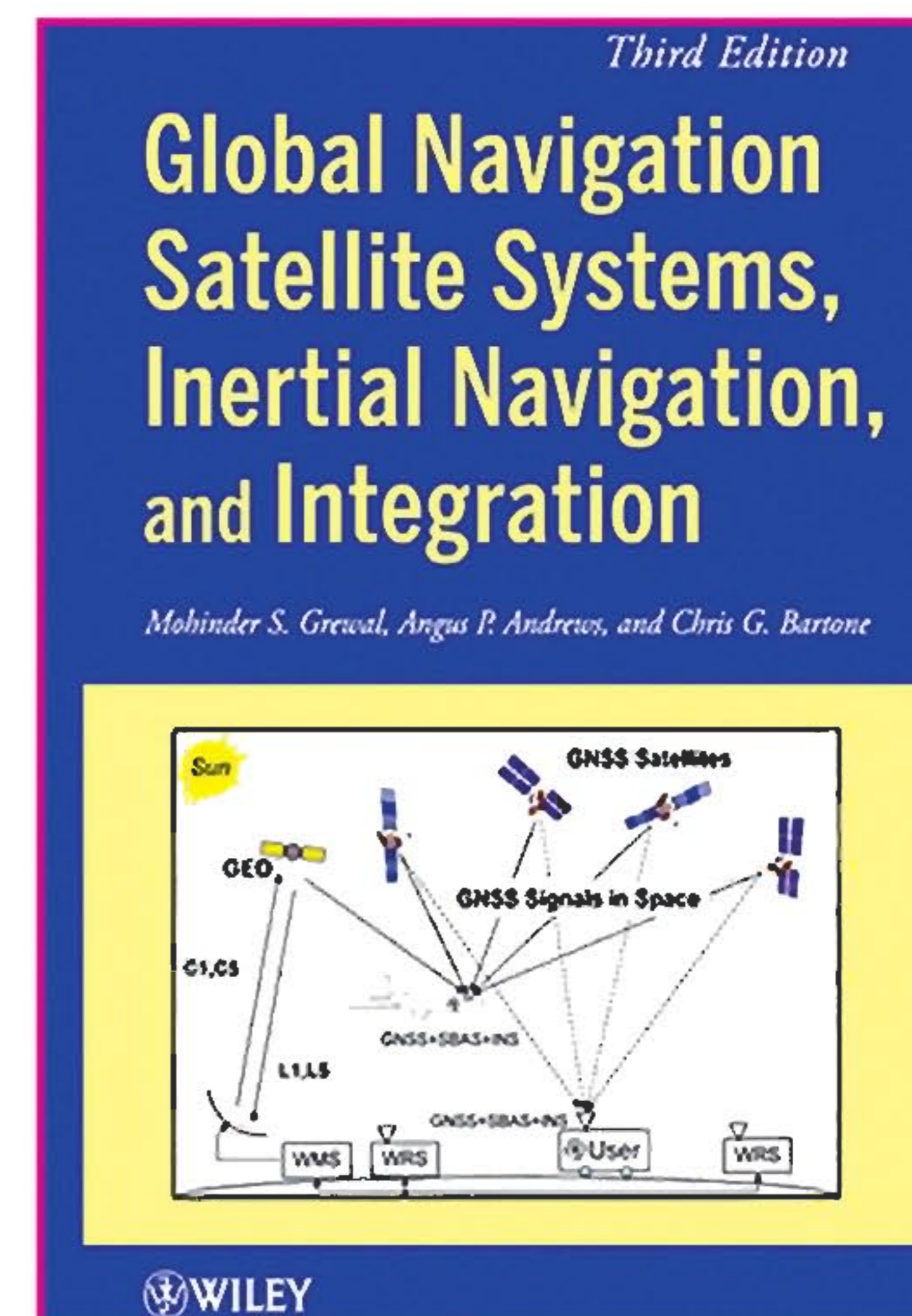
Michael Kennedy

Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS® integrates a broad introduction to GIS with a software-specific workbook for Esri's ArcGIS®. Where most courses make do using two separate texts, one covering GIS and another the software, this book enables students and instructors to use a single text with an integrated approach covering both in one volume with a common vocabulary and instructional style. This revised edition focuses on the latest software updates - ArcGIS® 10.0 and 10.1. In addition to its already successful coverage, the book allows students to experience publishing maps on the Internet through new exercises, and introduces the idea of programming in the language Esri has chosen for applications (i.e., Python). A DVD is packaged with the book, as in prior editions, containing data for working out all of the exercises. This complete, user-friendly coursebook:

- Is updated for the latest ArcGIS® releases—ArcGIS® 10.0 and 10.1
 - Introduces the central concepts of GIS and topics needed to understand spatial information analysis
 - Provides a considerable ability to operate important tools in ArcGIS®
 - Demonstrates new capabilities of ArcGIS® 10.0 and 10.1
 - Provides a basis for the advanced study of GIS and the study of the newly emerging field of GIScience
- Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS®*, Third Edition is the ideal guide for undergraduate students taking courses such as Introduction to GIS, Fundamentals of GIS, and Introduction to ArcGIS® Desktop. It is also an important guide for professionals

looking to update their skills for ArcGIS® 10.0 and 10.1.

Edition: John Wiley & Sons
3^{ème} édition / 15 Avril 2013
Langue Anglaise / 672 pages
ISBN-13: 978-1118159804



Global Navigation Satellite Systems Inertial Navigation, and Integration

Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews & Chris G. Bartone

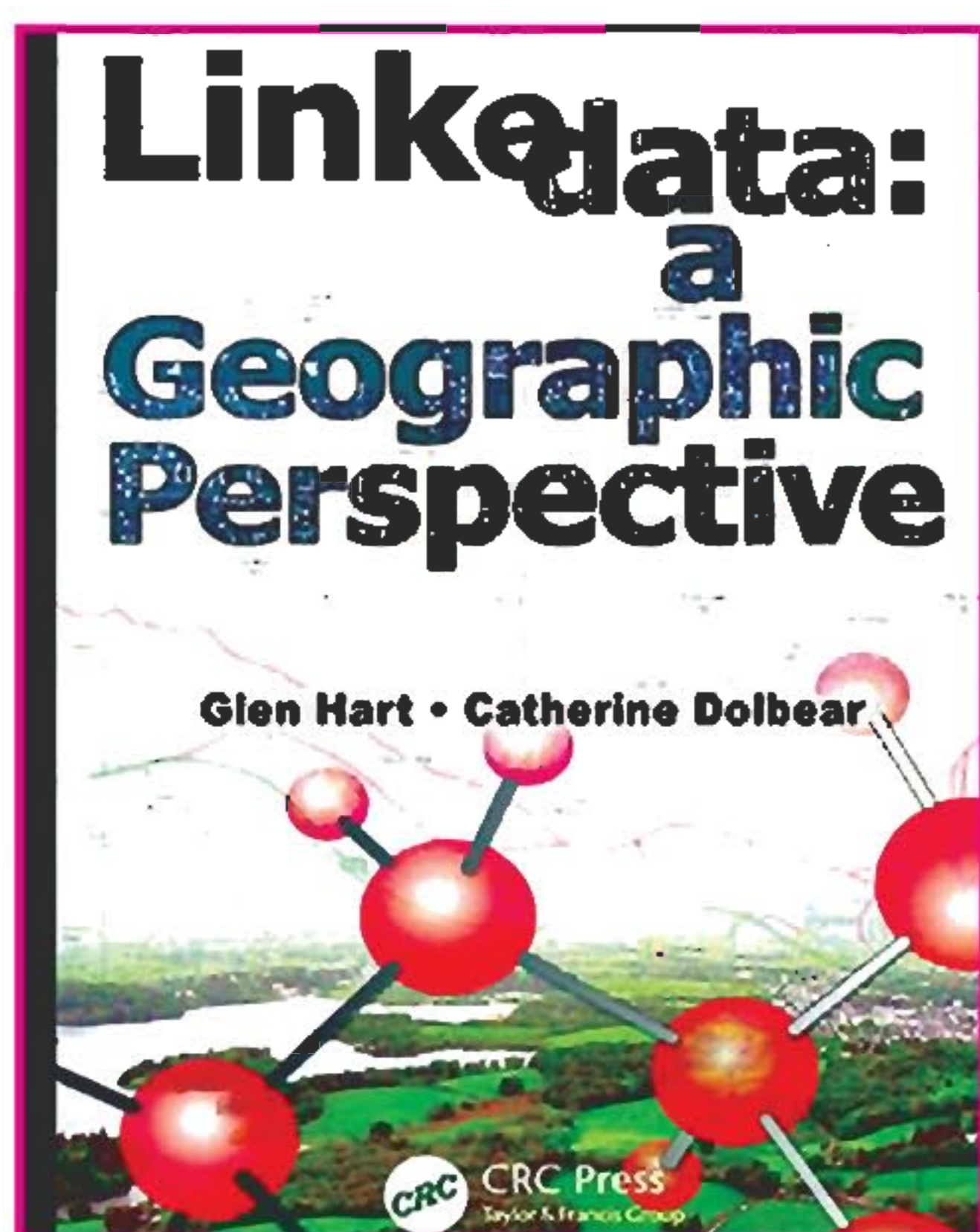
Written by recognized authorities in the field, this third edition of a landmark work provides engineers, computer scientists, and others with a working familiarity of the theory and contemporary applications of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), Inertial Navigational Systems, and Kalman filters. Throughout, the focus is on solving real-world problems, with an emphasis on the effective use of state-of-the-art integration techniques for those systems, especially the application of Kalman filtering. To that end, the authors explore the various subtleties, common failures, and inherent limitations of the theory as it applies to real-world situations, and provide numerous detailed application examples and practice problems, including GNSS-aided INS (tightly and loosely coupled), modeling of gyros and accelerometers, and SBAS and GBAS.

Drawing upon their many years of experience with GNSS, INS, and the Kalman filter, the authors present numerous design and implementation techniques not found in other professional references. The Third Edition includes:

- Updates on the upgrades in existing GNSS and other systems currently under development

- Expanded coverage of inertial navigation, its history, its technology, and the mathematical models and methods used in its implementation
- Derivations of dynamic models for the propagation of inertial navigation errors, including the effects of drifting sensor compensation parameters
- Greatly expanded coverage of GNSS/INS integration, including derivation of a unified GNSS/INS integration model, its MATLAB® implementations, and performance evaluation under simulated dynamic conditions. The companion website includes updated background material; additional MATLAB scripts for simulating GNSS-only and integrated GNSS/INS navigation; satellite position determination; calculation of ionosphere delays; and dilution of precision.

Edition Wiley-Interscience
3^{ème} édition / 19 Février 2013
Langue Anglaise - 608 pages
ISBN-13: 978-1118447000



Link data : a Geographic Perspective

Glen Hart & Catherine Dolbear

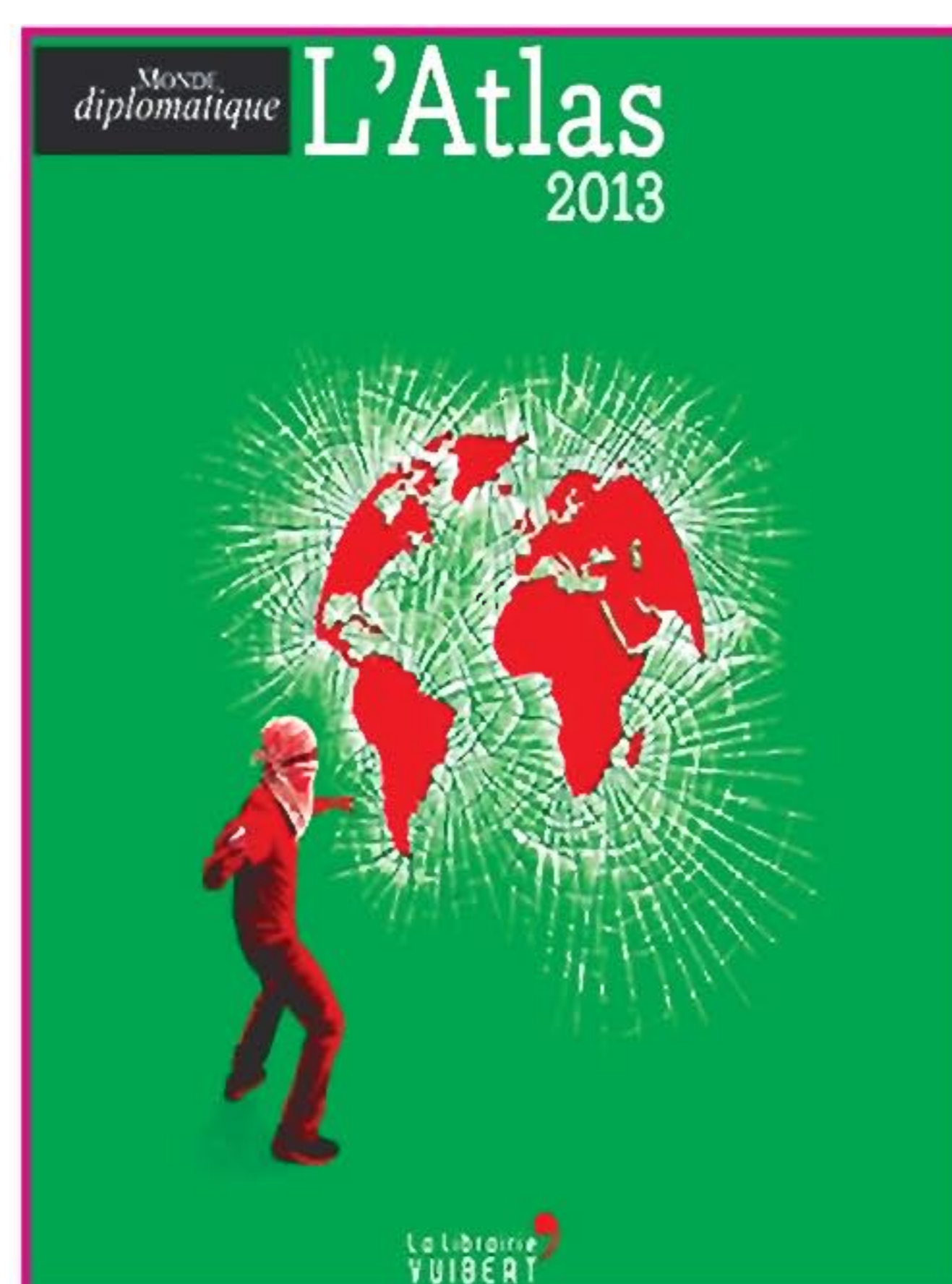
Geographic Information has an important role to play in linking and combining datasets through shared location, but the potential is still far from fully realized because the data is not well organized and the technology to aid this process has not been available. Developments in the Semantic Web and Linked Data, however, are making it possible to integrate data based on Geographic Information in a way that is more accessible to users. Drawing on the industry experience of a geographer and a computer scientist, **Linked Data: A Geographic Perspective** is a practical guide to implementing Geographic Information as Linked Data.

Combine Geographic Information from

Multiple Sources Using Linked Data:

After an introduction to the building blocks of Geographic Information, the Semantic Web, and Linked Data, the book explores how Geographic Information can become part of the Semantic Web as Linked Data. In easy-to-understand terms, the authors explain the complexities of modeling Geographic Information using Semantic Web technologies and publishing it as Linked Data. They review the software tools currently available for publishing and modeling Linked Data and provide a framework to help you evaluate new tools in a rapidly developing market. They also give an overview of the important languages and syntaxes you will need to master. Throughout, extensive examples demonstrate why and how you can use ontologies and Linked Data to manipulate and integrate real-world Geographic Information data from multiple sources. **A Practical, Readable Guide for Geographers, Software Engineers, and Laypersons:** A coherent, readable introduction to a complex subject, this book supplies the durable knowledge and insight you need to think about Geographic Information through the lens of the Semantic Web. It provides a window to Linked Data for geographers, as well as a geographic perspective for software engineers who need to understand how to work with Geographic Information. Highlighting best practices, this book helps you organize and publish Geographic Information on the Semantic Web with more confidence.

Edition CRC Press
1^{ère} édition / 28 Janvier 2013
Langue Anglaise - 289 pages
ISBN-13: 978-1439869956



L'Atlas 2013 vise le Monde Diplomatique

Depuis une décennie, nous assistons à

l'émergence de nouveaux centres de production, de nouveaux lieux de pouvoir, de nouvelles routes de communication. C'est toute la géographie politique, économique et culturelle de la planète qui bascule sous nos yeux, parfois sans que nous le remarquions. Qui aurait pu imaginer que l'ordre capitaliste serait ébranlé par la plus grave crise depuis les années 1930 ? Qui pourrait penser que, d'ici quelques années, les compagnies aériennes du Golfe seront les premières du monde ? Que de nouvelles voies maritimes s'ouvriront à travers le Grand Nord ?

Comme les précédentes versions, cette édition de L'Atlas du Monde diplomatique vise à mettre en lumière les transformations en cours, à dégager les grandes lignes de force derrière les évolutions stratégiques, à montrer que le bouillonnement actuel n'est aléatoire qu'en apparence. Il s'appuie sur une vision « longue durée » historique, en revenant sur d'autres périodes similaires, quand les centres de pouvoir migraient de l'Orient vers l'Occident, au début du XIX^e siècle, ou au sein même de l'Occident, avec l'affirmation des Etats-Unis durant le XX^e siècle.

Edition VUIBER - Langue: Française
ISBN-13: 978-2311012293



Dessiner un plan topographique à l'aide du logiciel AutoCAD Civil 3D

Jean-François Meunier

Les plans topographiques sont des outils essentiels à la réalisation de tout projet de construction d'envergure, qu'il s'agisse de routes, d'infrastructures souterraines, de ponts ou d'autres ouvrages de même ampleur. Pour créer ces plans à partir des données qu'il a recueillies sur le terrain, l'arpenteur a recours à des logiciels, dont l'un des plus performants est AutoCAD Civil 3D. C'est pourquoi nombre de firmes d'ingénieurs-conseils, de bureaux

d'ingénieurs civils et d'entrepreneurs en construction y ont recours. Le logiciel est simple d'utilisation pour peu qu'on en maîtrise les bases. Conçu selon un modèle pas à pas, Dessiner un plan topographique à l'aide du logiciel AutoCAD Civil 3D est le premier livre en français destiné à l'apprentissage autodidacte d'AutoCAD Civil 3D pour la conception et le dessin de plans topographiques. Il assiste notamment le lecteur dans la création et la gestion de points, la création de surfaces mettant en évidence les courbes de niveau du terrain, le dessin de profils longitudinaux, les calculs de volume, l'insertion de photos aériennes dans les plans et la conception de routes simples. En fin de chapitres, l'ouvrage fournit des exercices qui permettent la mise en pratique des notions apprises.

Un site Web d'accompagnement comporte les fichiers de données à télécharger pour réaliser les exercices, les corrigés ainsi que des ressources Web d'intérêt. Plusieurs annexes, qui fournissent des renseignements complémentaires pratiques, ainsi qu'un glossaire complètent l'ouvrage. Ce volume s'adresse en premier lieu aux élèves de la formation professionnelle en arpentage et topographie, mais il intéressera aussi les étudiants des niveaux collégial et universitaire inscrits aux programmes de génie civil et de géodésie. De plus, il répond à un besoin pressant des entreprises en construction francophones qui utilisent ce logiciel.

Edition Presses polytechnique de Montréal / 15 Novembre 2010
Langue Française / 150 pages
ISBN-13: 978-2553015502

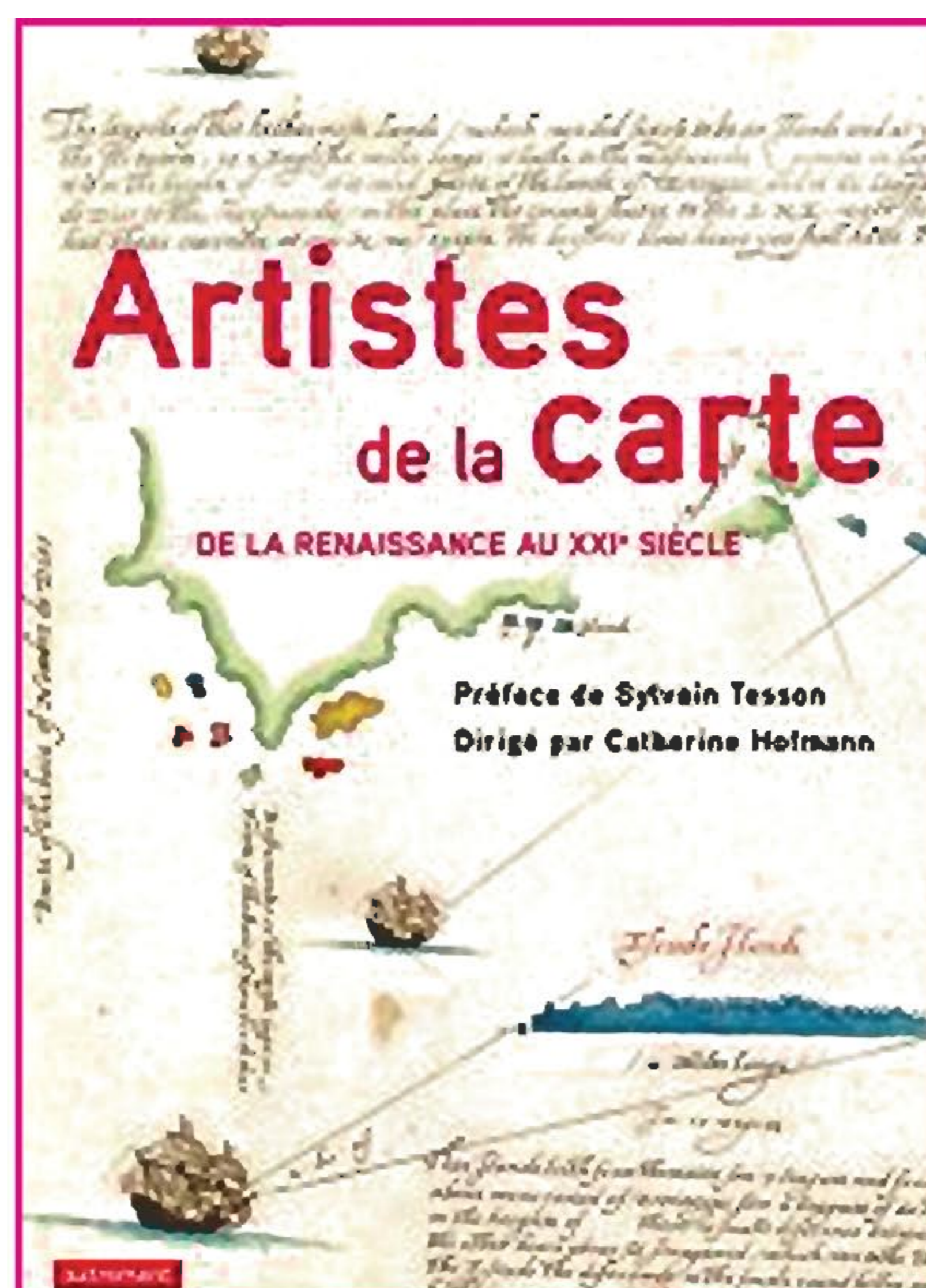


Signatures Sahariennes

Marc Côté

Chaque époque, chaque population, a laissé son empreinte sur la vaste toile de fond du désert. Trace ténue ou marque puissante, chacune est une signature humaine, riche de toute signification. Cet ouvrage propose une redécouverte du Sahara à partir du ciel, en conjuguant les images satellitales avec des photos prises au sol, et des plans ou schémas. Il fait circuler le lecteur librement dans l'ensemble du Sahara, de l'Atlantique à la mer Rouge, à travers les dix États sahariens, pour en mesurer tout à la fois l'unité et la diversité. Il se focalise sur les créations humaines, oasis, ksour, salines, périmètres irrigués, villes, etc., dont la beauté égale largement celle des paysages naturels. De Ouargla à Tombouctou, de Chinguetti aux oasis égyptiennes, ces empreintes humaines se révèlent souvent être des splendeurs.

Presse universitaires de Provence (PUP) / 27 Septembre 2012
Langue Française
ISBN : 978-2-85399-833-8



Publication "Artistes de la carte, de la Renaissance au XXI^e siècle", Autrement, 2012

Catherine Hofmann

La fascination pour les cartes tend à faire oublier le travail qui précède la production de ces images si particulières. Elles sont pourtant le fruit de multiples opérations savantes et politiques : relevés de terrain, collecte de données, choix d'échelle, de signes, de couleurs, d'impressions. Cet ouvrage aborde l'histoire de la cartographie du XVe au XXIe siècle par le biais non pas des productions elles-mêmes, mais des auteurs de ces cartes.

Qui les commande, les conçoit, les dessine, les signe ?

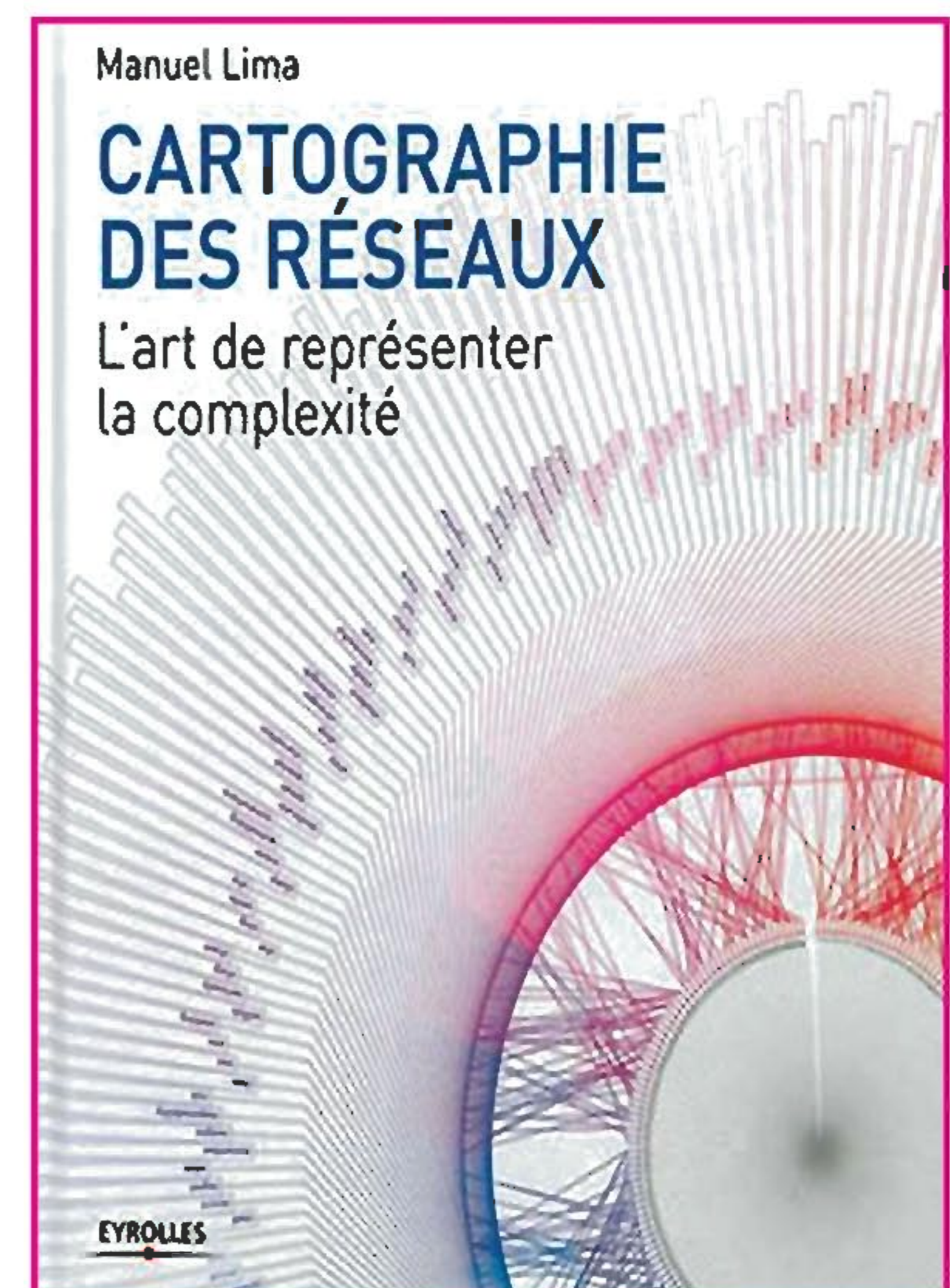
Qui est le cartographe ?

Quelle est sa place dans la société, quelles sont ses relations avec les détenteurs du pouvoir ?

Sans préjuger de l'unité d'un métier de cartographe, l'ouvrage essaye de cerner les diverses figures, les constantes et les évolutions de cette activité dans l'Europe moderne et contemporaine.

Pourquoi et comment mathématiciens et astronomes, marins et hydrographes, humanistes, topographes, explorateurs, militaires, artistes, ingénieurs et informaticiens dressent des cartes. Producteurs d'un savoir spatialisé, ils donnent à voir un monde qui est une construction. Et cette construction se comprend d'autant mieux que l'on parvient à en connaître les auteurs.

Edition AUTREMENT / 221 pages
Langue Française / 3 Octobre 2012
ISBN-13: 978-2746730663

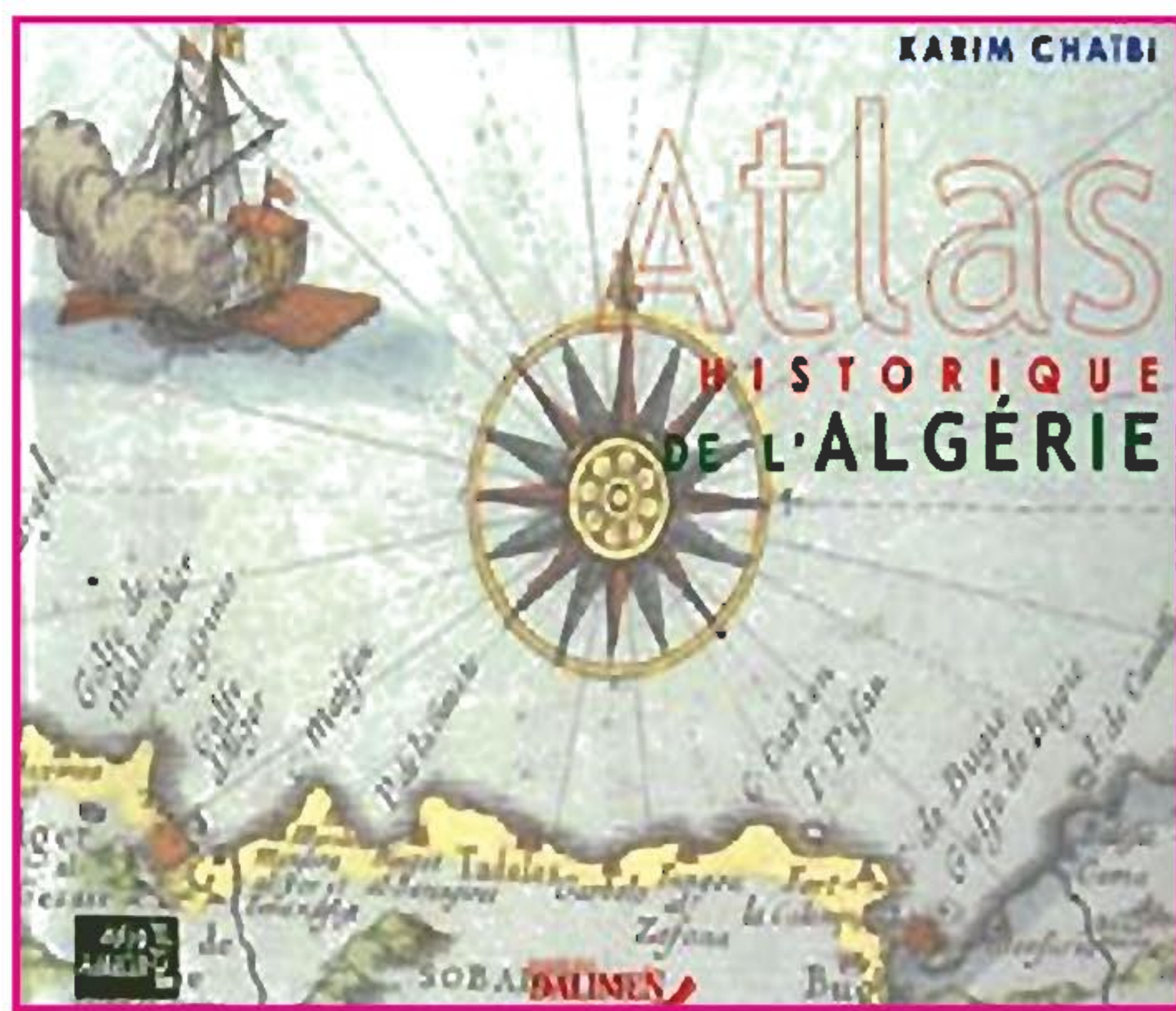


Cartographie des réseaux : l'art de représenter la complexité

Manuel Lima

Un ouvrage rassemblant 300 exemples de design de l'information, à l'heure où les chercheurs, scientifiques et designers ont recours à l'interactivité de couleurs, de graphiques, d'algorithmes, etc., pour permettre une meilleure visualisation des données : la représentation de réseaux de followers sur Twitter mais aussi les interactions entre protéines, etc.

Edition Eyrolles / 21 Février 2013
Langue française
ISBN-13: 978-2212135695



Atlas Historique de l'Algérie

Karim Chaïbi

Pour les férus d'histoire et de géographie, « Atlas historique de l'Algérie » tombe à point nommé pour satisfaire leur curiosité en un clin d'œil, puisque cet opus propose de nombreuses cartes géographiques accompagnées de textes explicatifs. Un résumé pratique de l'histoire que l'auteur Karim Chaïbi dédicace à la librairie Tiers-Monde. « J'ai souhaité proposer une histoire géographique sous forme de cartes, d'images et même avec certains dessins afin de pouvoir localiser véritablement les acteurs de notre histoire, nos ancêtres ainsi que ceux qui ont envahi ce territoire qui deviendra l'Algérie.

D'autre part, je me suis penché sur des événements comme les batailles et les invasions et aussi d'autres thèmes qui sont moins faciles à cartographier telle la colonisation. J'ai essayé de proposer au lectorat algérien une vision assez synthétique des événements marquants du territoire et du peuple algériens, des origines à nos jours », déclare-t-il.

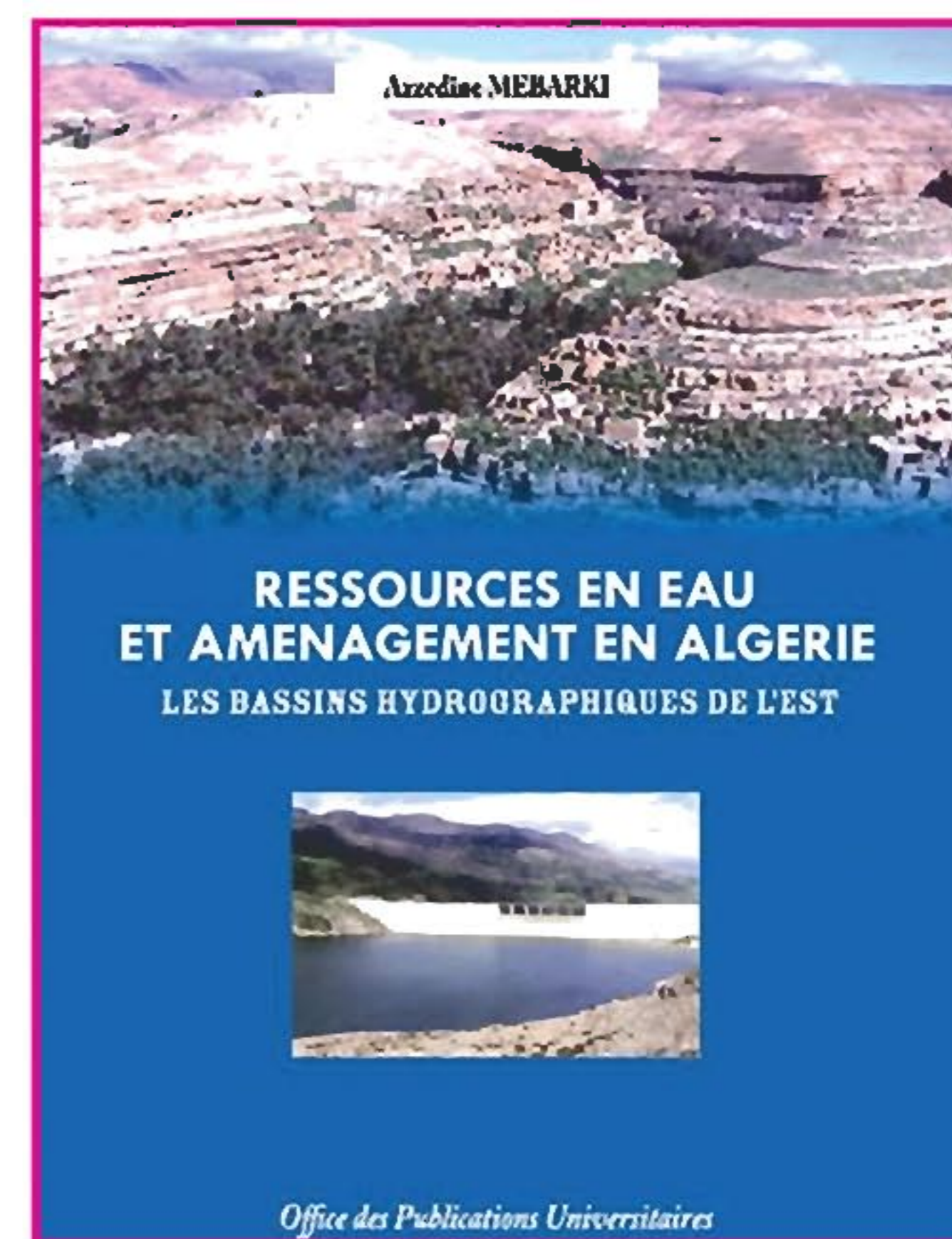
Il faut retenir qu'un Atlas, ce sont essentiellement des cartes.

« La carte est privilégiée avec un texte explicatif et des illustrations. Le projet n'est pas d'aller dans le détail, de ne pas donner d'explications trop précises, je vise un lectorat élargi. Donc on a des cartes thématiques choisies en fonction des informations disponibles », explique-t-il. Au demeurant, ce travail de recherche basé sur une bibliographie et une consultation des cartes contient des cartes exclusives.

« La spécificité de ce travail est qu'il contient des cartes exclusives, notamment sur le thème de mai 1945 dans la région de Sétif où peu de cartographies ont été proposées avec un souci de précision. De même pour le Sahara où vous avez une localisation assez intéressante des sites des essais nucléaires français et toute la conquête du Sahara. Ainsi que l'insurrection de 1871 dite d'El Mokrani bien qu'elle soit beaucoup plus complexe », laisse-t-il entendre.

La tâche n'est pas faite sans difficultés. « La difficulté principale est d'ordre technique ou comment dessiner des fonds en relief et sur lesquels vous dessinez votre cartographie », fait-il remarquer. Avec cette publication, l'auteur veut aller encore loin puisqu'il travaille déjà sur l'événement « Constantine 2015 » avec davantage de dessins. « Une sorte de panorama dessiné de Constantine éventuellement, on verra bien », révèle-t-il. Né à Lyon en 1972, Karim Chaïbi a étudié les langues et l'histoire-géographie à l'université Lumière Lyon II. Guide, interprète et enseignant spécialisé en monuments historiques en France, il a publié, en 2010, un premier ouvrage intitulé « De Sitif à Sétif » aux Editions Dalimen.

Edition Dalimen
Publié le 18 mars 2013
ISBN : 978-9931-306-56-6



Ressources en eau et aménagement en Algérie

Azzedine Mebarki

L'Algérie, à l'instar de tout le Maghreb, est l'une des régions au monde où le défi de l'eau se pose dans les termes les plus aigus. Cet ouvrage est consacré aux bassins de l'Est algérien, région la plus arrosée du pays mais au climat très contrasté, à influence semi-aride marquée. Deux systèmes hydrographiques s'y juxtaposent : cours d'eau tributaires de la mer Méditerranée et cours d'eau reliés à des dépressions fermées de l'intérieur.

Après une présentation des contextes variés des bassins, sont abordés les apports en eau des oueds, évalués à partir des données de mesures. La cartographie automatique des termes du bilan hydrologique et des ressources en eau sont au cœur de la seconde partie. Dans une dernière partie, les étiages sont analysés au vu des problèmes de pollution qui leur sont associés. Aussi, l'indispensable question d'aménagement hydraulique est-elle étudiée à travers le vaste programme de barrages-réservoirs et de transfert inter-bassins, destiné à l'alimentation en eau des villes et à l'irrigation. A l'exemple de l'imposant transfert de Beni-Haroun. Le texte est illustré par nombre de cartes, figures, tableaux et photos.

Edition OPU, Alger 2009
ISBN / 978-9961-0-1238-3

Pour soumettre un article...

Vous souhaitez proposer un article pour le Bulletin des Sciences Géographiques.

Pour faciliter votre démarche, nous vous adressons quelques recommandations :

- Ce Bulletin est un espace scientifique, consacré aux sciences géographiques.
- **NATURE DES ARTICLES** : Les articles adressés pour publication doivent traiter des sujets se rapportant aux Sciences Géographiques.
Les articles se répartissent en deux rubriques:
 - Recherche - développement
 - Synthèse.

LES ARTICLES DE RECHERCHE - DÉVELOPPEMENT : portent soit sur des travaux ayant une originalité et une contribution novatrice aidant au développement des sciences géographiques, soit sur des réalisations et études concrètes qui présentent un intérêt dans la maîtrise des concepts des sciences géographiques.

LES ARTICLES DE SYNTHÈSES : ont pour but de faire ressortir, les théories, les méthodes, les techniques ou les procédés liés aux sciences géographiques, avec notamment des cas précis d'application.
- **LANGUES** : Les articles paraissent principalement, en Arabe, Français et Anglais.
- **CRITÈRES DE PUBLICATION** : Toute communication présentant de l'intérêt sera diffusée, quelle que soit son origine; l'appartenance de son auteur à l'INCT n'est pas exigée.
Les articles doivent être fournis au format WORD ou équivalent, en colonnes et dans un format A4 en double interlignes, avec une marge de 2,5 cm au maximum sur chacun des quatre côtés.
Chaque communication doit comporter un titre, qui doit être bref et informatif.
- **LE RESUMÉ** : Chaque article doit comporter un résumé en arabe accompagné d'un autre résumé en français et un autre en anglais de 100 à 200 mots.
- **MOTS CLÉS** : Citer 5 à 6 mots clés.
- **BIBLIOGRAPHIE** : Les références doivent être complètes et présentées dans l'ordre alphabétique des noms d'auteurs. La référence doit mentionner le nom et le prénom de l'auteur suivis de l'année d'édition, du titre de l'ouvrage, de l'éditeur et du lieu d'édition. Toute référence doit être clairement mentionnée dans le texte par le nom et prénom de l'auteur suivie des deux derniers chiffres de l'année de publication.
- **MODALITÉ DE PUBLICATION** : Tout article présenté pour publication est soumis à l'évaluation de deux membres du comité de lecture, en cas d'avis contraire, il est soumis à un troisième membre. Les articles non retenus ne sont pas retournés, à moins d'une demande de la part de l'auteur.
Un exemplaire sera fournis gratuitement à chaque auteur ; d'autres seront fournis à la demande, dans la limite du stock.
- **DATES DE PARUTION** : Le Bulletin paraît deux fois par an (Bulletin Semestriel).
- **ENVOI DES MANUSCRITS** : les manuscrits sont envoyés par email à:
contact@inct.dz , bsg@inct.dz

Avis aux Auteurs

Le Bulletin des Sciences Géographiques est indexé dans la **Bibliographie Géographique Internationale** à l'adresse suivante: http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles_comptence/Pole_Documentation%20et%20valorisation.htm

La notice bibliographique de la publication figure dans la **base de données FRANCIS-Géographie du CNRS** interrogeable sur les serveurs internationaux Questel.Orbit, OCLC/PICA, RLG et sur CD-ROM (Service payants), et dans la BGI publié par l'UMR PRODIG qui paraît tout les ans:

http://prodig.univ-paris1.fr/umr/publications_documentaires/bgi_papier.htm

Elle est aussi mentionnée dans la rubrique Publications du site **Infogéo** consultable sur Internet à l'adresse suivante: <http://prodig.univ-paris1.fr/infogéo/Fichiers/Ouvrages.htm>. La rubrique est actualisée régulièrement.

Le **Bulletin des Sciences Géographiques** est diffusé sur Internet, sur le site portail des revues scientifiques dénommé <http://www.webreview.dz> conçu et administré par le Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique (CERIST).



INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION

Créé par ordonnance 211 67 du 17/10/1967 modifiée par les ordonances 84.68 du 23/04/1968 et 73.23 du 05/06/1973 et le décret présidentiel n°98.337 du 29/10/1998.

Siège: 123, rue de Tripoli - BP430 - Hussein Dey - 16040 - Alger

Tél: 213 021 49 16 94, 021 49 16 95 & 021 49 16 97

Fax: 213 021 49 16 91 & 021 49 16 88

E-mail: contact@inct.dz

Bulletin d'abonnement

Tarif d'abonnement pour une année (comprenant deux numéros):

- Etudiant: 70 DA
- Particulier: 80 DA
- Etranger: 15 Euro

Prévoir en sus pour les frais d'expédition:

- Envoi Recommandé en Algérie : 400 DA
- Pour l'étranger: 10 Euro

Mode de règlement :

Pour l'Algérie :

- Par virement CCP N° 1552.04
- Par virement bancaire : CPA N° 101 401 78505 1
BEA N° Q 22 61 570

Pour l'étranger :

- Par virement bancaire: Banque Deutsche Bank AG Munich
Compte Nr, 85 960 BLZ: 700 700 10

Nom et prénom / raison sociale :

Fonction :

Adresse complète :

N°Tél : N°Fax : Email :

Date

Signature

**Prière de retourner ce bulletin d'abonnement accompagné du règlement à
Monsieur le Directeur Général de l'Institut National de Cartographie
et de Télédétection**

123, rue de Tripoli- BP 430, Hussein Dey- 16040 Alger.

Tél: 213 021 49 16 94, 021 49 16 95 & 021 49 16 97

Fax: 213 021 49 16 91 & 021 49 16 88

E-mail: contact@inct.dz

المعهد الوطني للخرائط والكشف عن بعد

أنشئ بمقتضى الأمر 67.211 المؤرخ في 1967/10/17 و المعدل بالأمرين 68.84 المؤرخ في 1968/04/23 و 73.27 المؤرخ في 1973/06/05 و المرسوم الرئاسي رقم 98.337 المؤرخ في 1998/10/29.
المقر : 123، شارع طرابلس، ص.ب 430-16040 حسين داي، الجزائر
الهاتف : 021 49 16 94 و 213 021 49 16 95 و 021 49 16 97
الفاكس : 021 49 16 91 و 213 021 49 16 88
البريد الإلكتروني : contact@inct.dz



بيان الإشتراك

ثمن الإشتراك لمدة سنة واحدة (يتضمن عددين) :

- للطالب : 70 دينار جزائري
- للخوادم : 80 دينار جزائري
- للأجانب : 15 أورو أوروبي

تكاليف المراسلة :

- إرسال مسجل في الجزائر : 400 دينار جزائري
- للأجانب : 10 أورو أوروبي

طريقة الدفع :

داخل الجزائر :

- عن طريق البريد، رقم 1552.04
- عن طريق البنك : القرض الشعبي الجزائري، رقم 1 401 78505 101
البنك الخارجي الجزائري، رقم Q 22 61 570

خارج الجزائر :

- عن طريق البنك : البنك " الألماني أج ميونيخ "
رقم الحساب، BLZ 85 960 : 700 700 10

الإسم و اللقب / العنوان التجاري :

الوظيفة :

العنوان الكامل :

رقم الهاتف : رقم الفاكس : البريد الإلكتروني :

الإمضاء

التاريخ

الرجاء إرسال هذا البيان للإشتراك مصحوبا بالتكاليف اللازمة إلى
السيد المدير العام للمعهد الوطني للخرائط و الكشف عن بعد

123، شارع طرابلس، ص.ب 430-16040 حسين داي، الجزائر
الهاتف : 021 49 16 94 ، 213 021 49 16 95 ، 021 49 16 97 و
الفاكس : 021 49 16 91 و 213 021 49 16 88 و
البريد الإلكتروني : contact@inct.dz

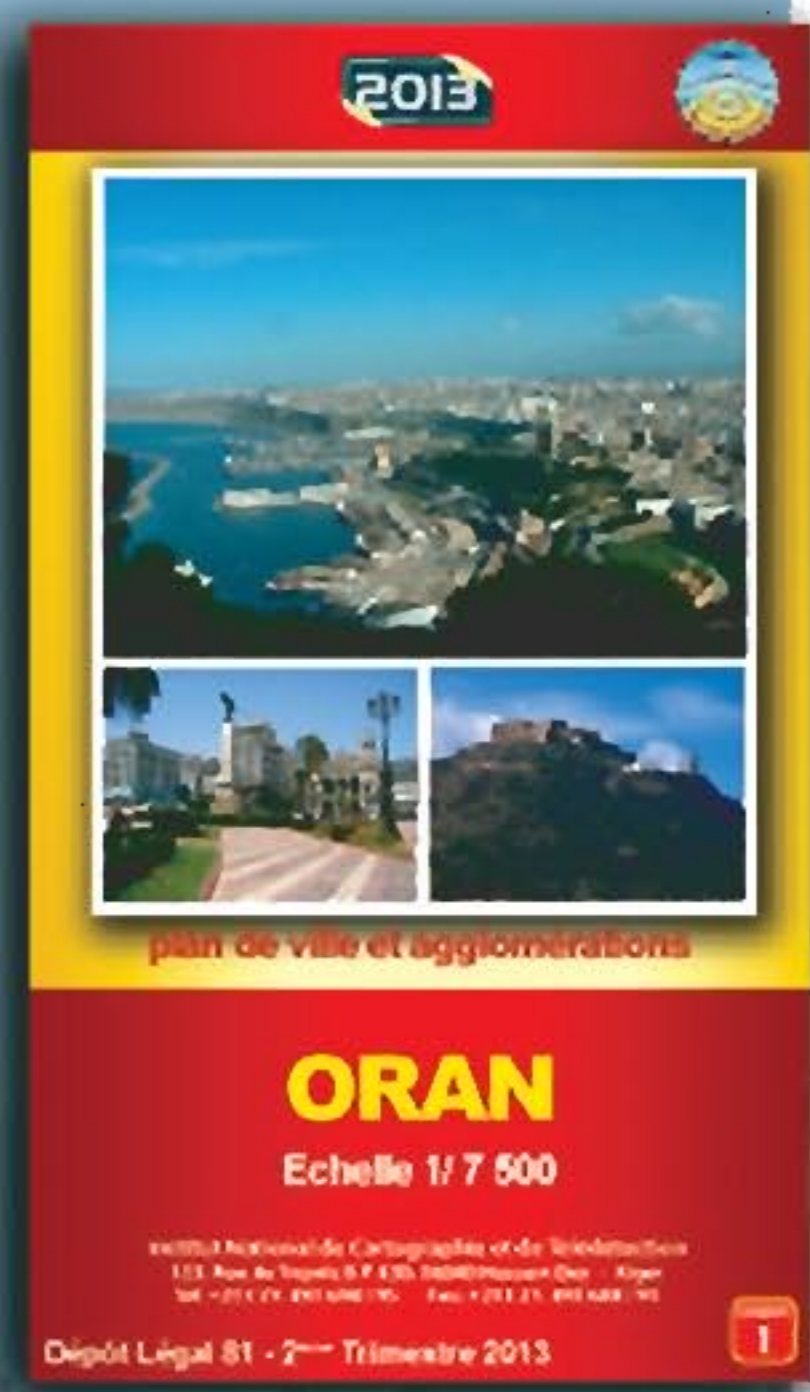


INCT

EDITION 2013

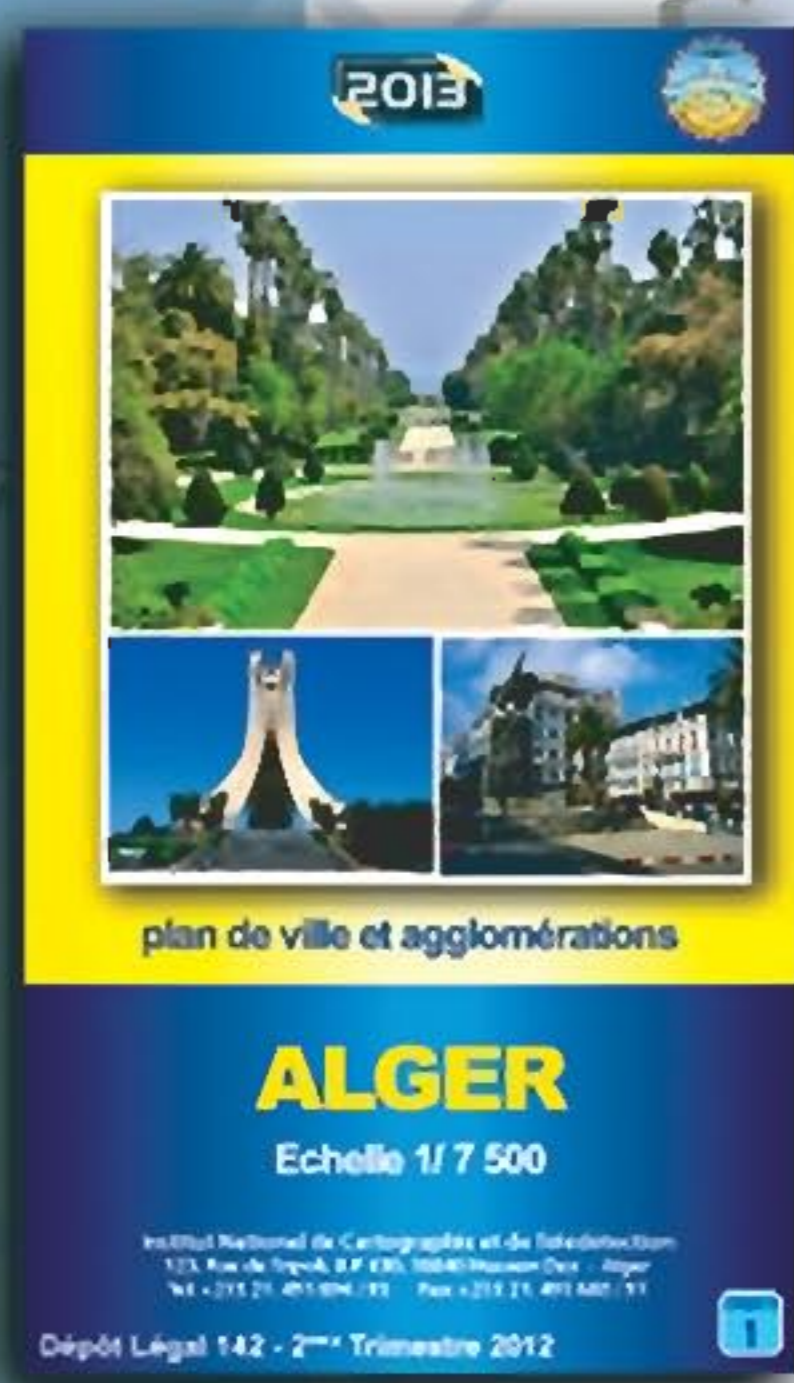
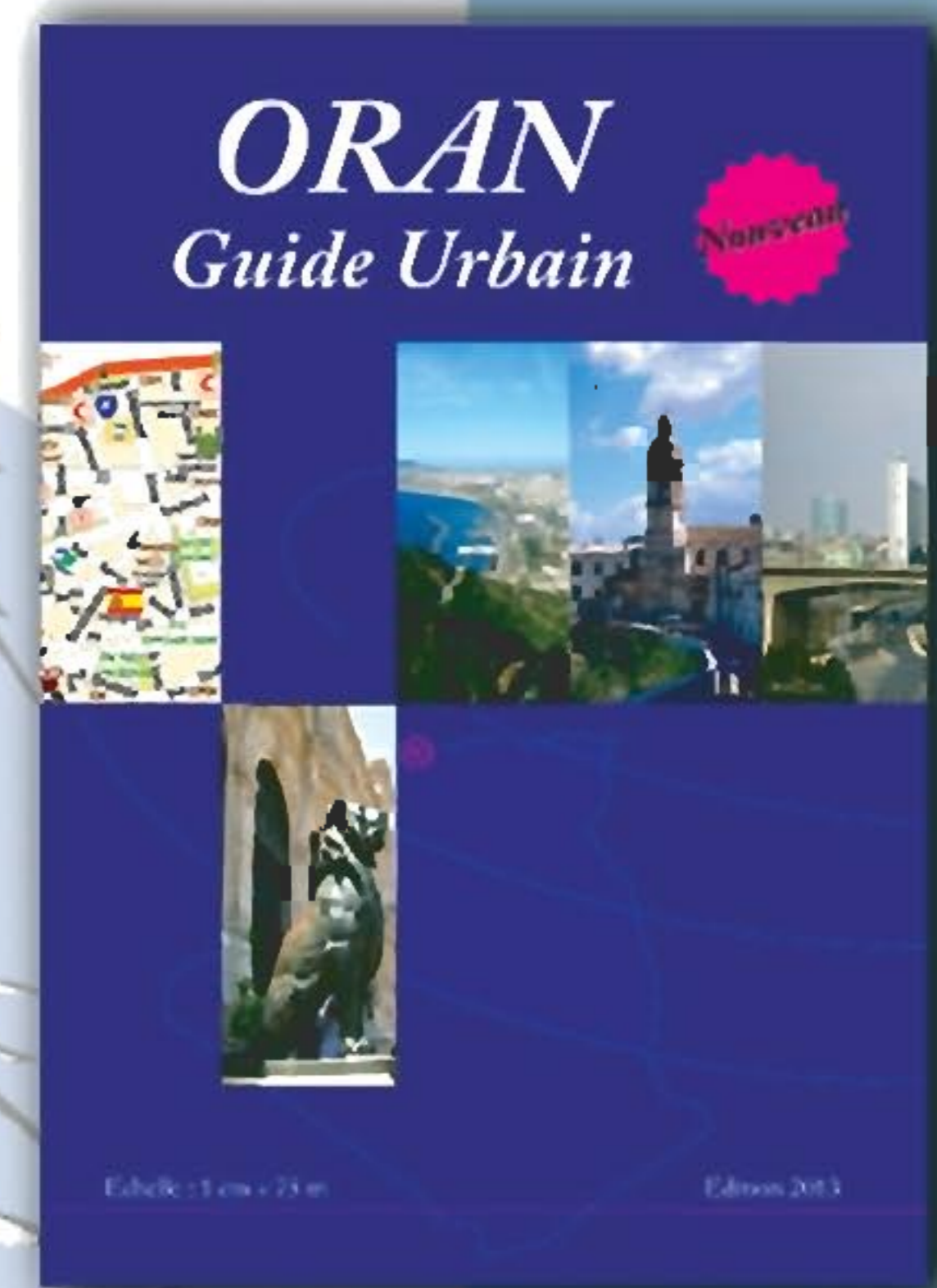


EXCLUSIVE:
CARTE
DU MONDE
RELIEF



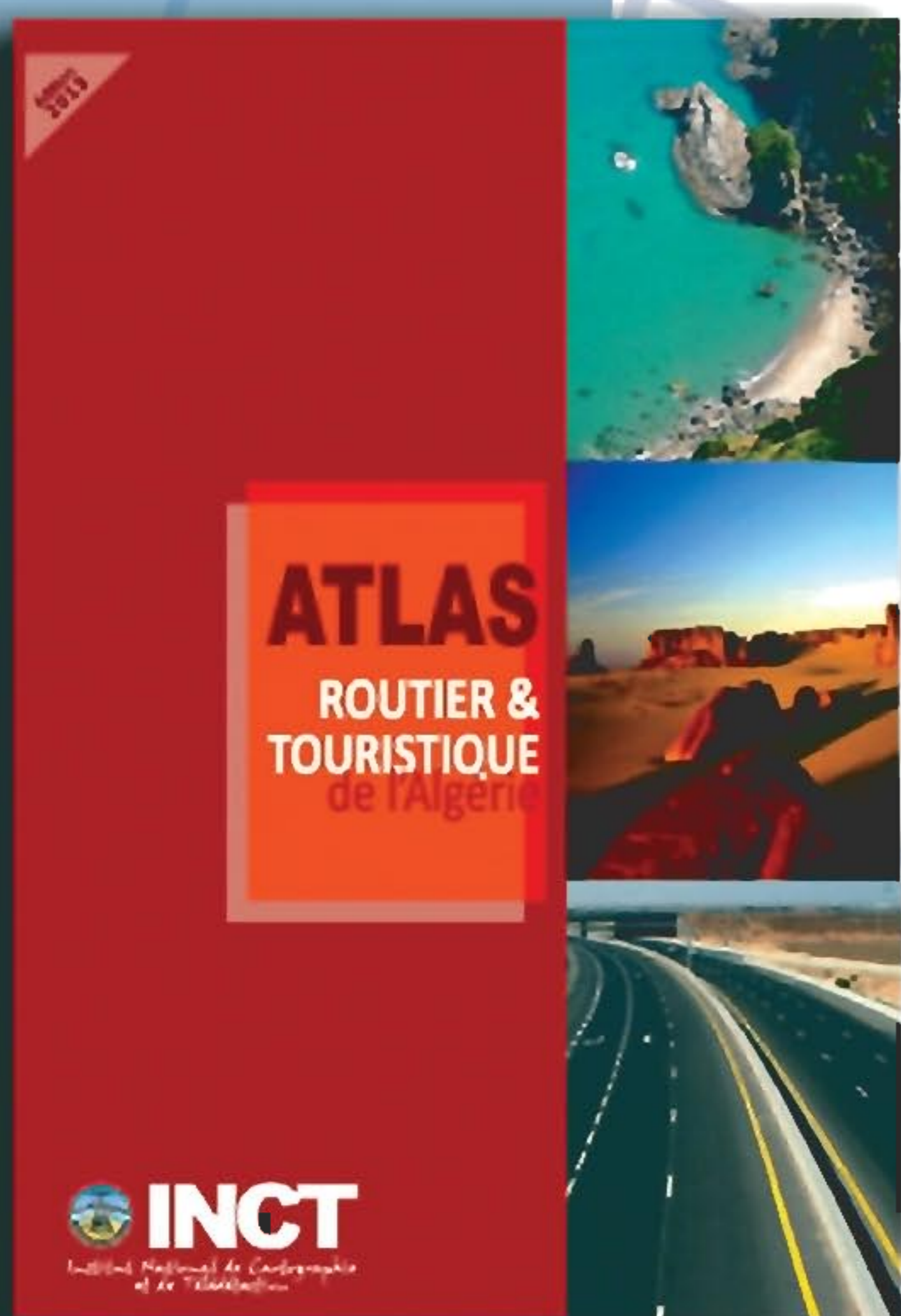
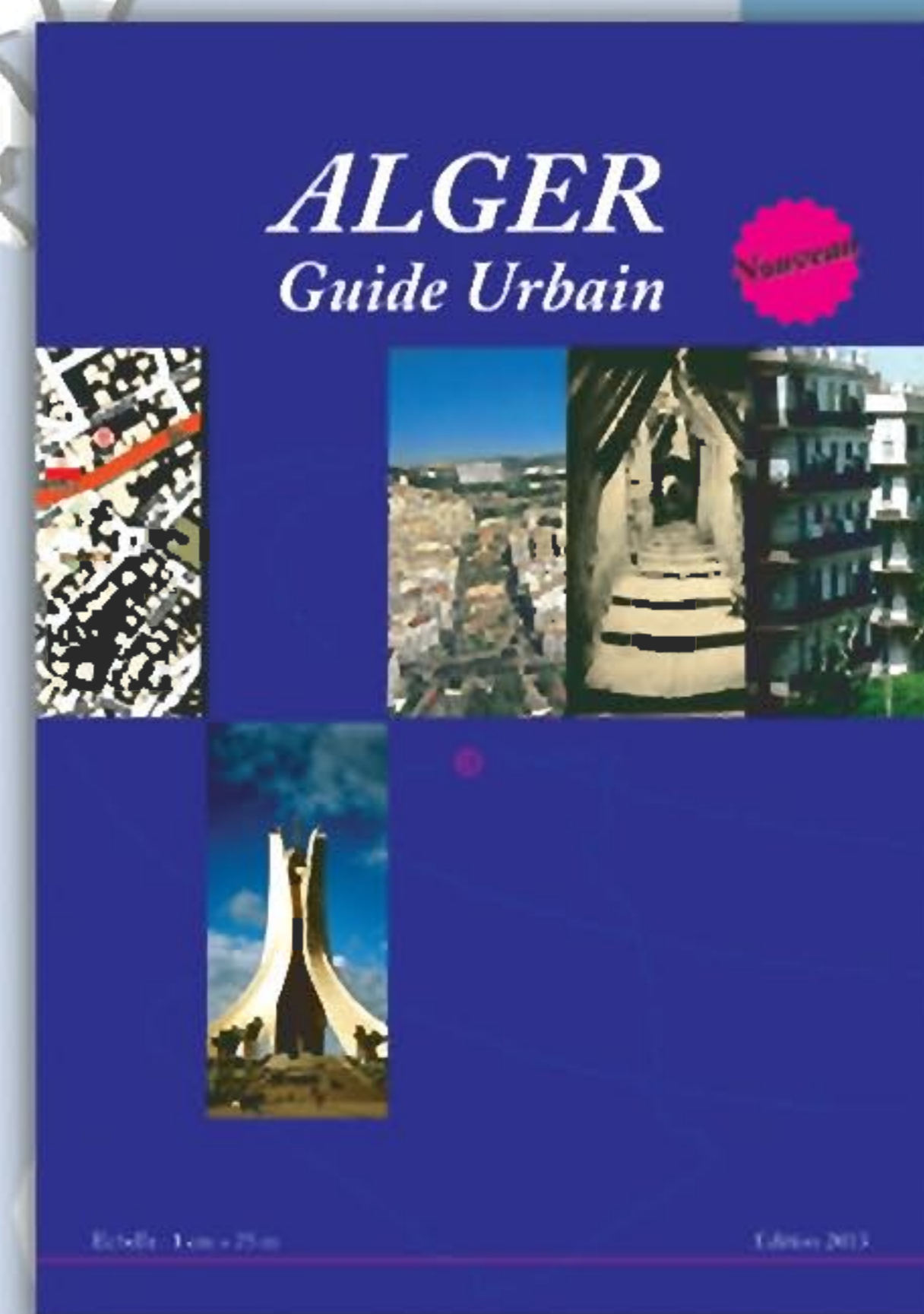
ORAN
Plan de ville
au 1 / 7 500
en 02 coupures

ORAN
Guide Urbain
au 1 / 7 500



ALGER
Plan de ville
au 1 / 7 500
en 08 coupures

ALGER
Guide Urbain
au 1 / 7 500



ATLAS
Routier et Touristique
de l'Algérie

CONSTANTINE
Guide Urbain
au 1 / 7 500



**GRANDS VOYAGES
À PETITS PRIX**