

# Bulletin des Sciences Géographiques

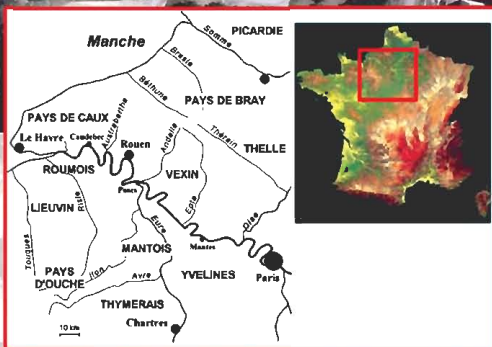
## N° 27

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

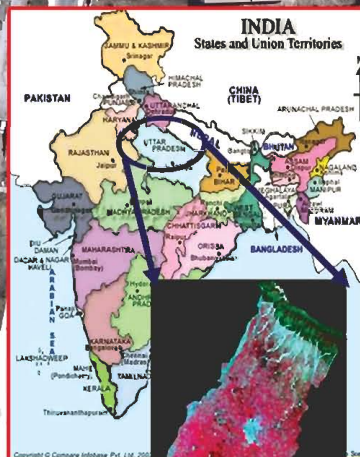
1<sup>er</sup> Semestre 2012 • 15<sup>ème</sup> année • Prix 40 DA • Étranger 15 € • ISSN 1112-3745



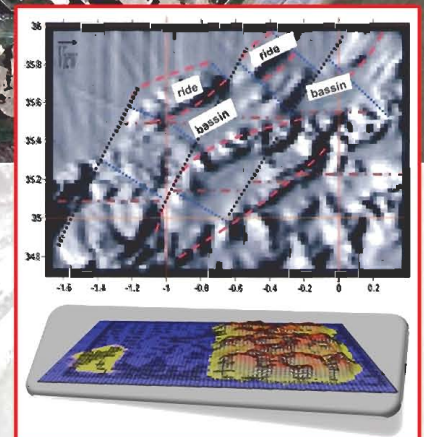
Extrait d'une image DMC  
Lieu : Sétif (Chef lieu)  
Résolution : 24 cm  
Date : Mars 2011



Enregistrement et effets du climat sur les stocks d'eau (fleuve, rivière / nappe souterraine / mer) à l'échelle globale, nationale (France) et régional (bassin de la Seine)



Application of Remote Sensing and GIS for Crop Inventory – Crop Discrimination, Acreage and Yield estimation – A case study Saharanpur district, Uttar Pradesh State (India)



La cartographie cognitive appliquée dans le domaine du risque géologique



# Institut National de Cartographie et de Télédétection



## Direction Générale :

**Adresse :** 123, Rue de Tripoli, BP 430, Hussein-Dey,  
16040 Alger

**Téléphone :** 213 21 49 16 94 - 21 49 16 95  
& 021 49 16 97

**Fax :** 213 21 49 16 91 & 021 49 16 88

**E-mail :** [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.dz)

**Site Web :** [www.inct.mdn.dz](http://www.inct.mdn.dz)

## Sous-Direction des Activités Commerciales :

**Adresse :** Pins Maritimes, S.A.F.E.X Alger

**Téléphone :** 213 21 21 91 04 & 213 21 21 91 07

**Tél-Fax :** 213 21 21 91 11

## Etablissements Régionaux de Cartographie et de Télédétection:

**Oran :** Rue Ali-Bouamama, El Maqarri

**Téléphone :** 213 41 46 62 62

**Fax :** 213 41 46 58 58

**Constantine :** Zone industrielle, cité Palma

**Téléphone :** 213 31 66 48 41

**Fax :** 213 31 66 48 40

**Ouargla :** Place de l'ALN

**Téléphone :** 213 29 76 44 81/82

**Fax :** 213 29 76 44 80

**Comité de Rédaction :**

- Mme GUEMDANI Razika, (Rédacteur en Chef)  
Sous Directeur de la Recherche  
et Développement / INCT ;
- Mr BOUKHEROUBA Sabredinne,  
Centre de Réception et d'Exploitation  
de l'Imagerie Satellitaire (CREIS) ;
- Mr AOUAMER Toufik,  
Sous Directeur des Travaux Spécifiques  
et Arts Graphiques / INCT ;
- Mr KADDOUR DJEBBAR Abdelghani,  
Chef du Laboratoire Géomatique / SDRD/ INCT ;
- Mr CHOUDER Mohamed Tahar,  
Chef de Département Analyses et Synthèses /  
CDCIG / INCT ;

**Comité de Lecture :**

- Mr Naceur OMRANE, (Coordonnateur)  
PhD, Directeur Technique / INCT
- Mr Marc CÔTE,  
Professeur émérite à l'Université de Provence;
- Mr Jean-Pierre LABORDE,  
Professeur des Universités, rattaché  
à l'Université Nice Sophia Antipolis;
- Mr Benoit LAIGNEL,  
Professeur des Universités, rattaché  
à l'Université de Rouen;
- Mme Anne RUAS,  
HDR, Institut Français des Sciences  
et Technologies des Transports,  
de l'Aménagement et des Réseaux  
(IFSTTR-France);
- Mr SEMMOUD Bouziane,  
Professeur des Universités,  
Université Paris 8-Vincennes-Saint-Denis;
- Mr SOUIAH Sid-Ahmed,  
Professeur des Universités, Université  
de Cergy-Pontoise;
- Mr OUABADI Aziouz,  
Professeur, USTHB-Alger ;
- Mr IDRES Mouloud,  
Professeur, USTHB-Alger ;
- Mr MEBARKI Azeddine,  
Professeur, Université de Constantine;
- Mr SMARA Youcef,  
Professeur, USTHB-Alger ;
- Mr HADEID Mohamed,  
Maître de Conférences A, Université d'Oran.
- Mme HADJ ZOBIR Soraya-Irmgard,  
Maître de Conférences A, Université d'Annaba;
- Mr KAHLOUCHE Salem,  
Directeur de Recherche, CTS-Arzew ;
- Mr ABTOUT Abdeslam,  
Maître de Recherche, CRAAG ;
- Mr BELHOCINE Mahmoud,  
Maître de Recherche, CDTA;
- Mr ABDELLAOUI Hacem,  
Magister, SGT-ANP.

# BULLETIN DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

**N° 27**  
**1<sup>er</sup> Semestre 2012**

## Sommaire

## Pages

- Enregistrement et effets du climat sur les stocks d'eau (fleuve,  
rivière / nappe souterraine / mer) à l'échelle globale, nationale  
(France) et régional (bassin de la Seine) ..... 02  
*Par B. LAIGNEL*
- Analysis of 04 years (2002-2005) of laser data on Starlette, Stella  
and LAGEOS-III satellites for stations coordinates and Earth  
Orientation Parameters (EOP) ..... 23  
*Par B. GOURINE*
- Choix d'un modèle géopotential global pour la détermination  
précise du géoïde en Algérie..... 33  
*Par N. RABEHI, S. KRERI, M. TOUABET, & M. TERBECHÉ*
- La cartographie cognitive appliquée dans le domaine du risque  
géologique..... 40  
*Par H. MANSOUR, I. ZEROUAL, A. NADJI,  
& M. FOUKRACHE*
- Application of Remote Sensing and GIS for Crop Inventory – Crop  
Discrimination, Acreage and Yield estimation – A case study  
Saharanpur district, Uttar Pradesh State (India)..... 52  
*Par D. MANSOUR, S.K. SAHA, & N.R PATEL*
- Calendrier des Manifestations Scientifiques Internationales ..... 59
- L'INCT organise la première Conférence sur l'Infrastructure  
Nationale des Données Géographiques (INDG'12)..... 65
- Les nouvelles du BSG : Renouvellement des membres du Comité  
de Lecture et du Comité de Rédaction du BSG..... 66
- Recommandations aux Auteurs ..... 69
- Avis aux Auteurs..... 70
- Bulletin d'Abonnement..... 71



## Enregistrement et effets du climat sur les stocks d'eau (fleuve, rivière / nappe souterraine / mer) à l'échelle globale, nationale (France) et régional (bassin de la Seine)

B. Laignel

Professeur des Universités, UMR 6143 CNRS M2C,  
Département de Géologie, Université de Rouen, Place Emile Blondel,  
76821 Mont-Saint-Aignan, France,  
benoit.laignel@univ-rouen.fr

**ملخص :** يشكل تحديد آثار تغير المناخ على الموارد المائية تحديا كبيرا للمجتمع في القرن الواحد والعشرين (21)، والذي يتطلب إجابة من طرف العلميين من أجل السماح بوضع وسائل تسيير تتناسب مع الوضعية الجديدة.

في هذا المنظور، تم تدعيم برنامج "السين-أفال" بمشروع خبرة جماعية حول آثار التغير المناخي من المستوى العالمي إلى مستوى نهر السين.

إن مختلف الدراسات التي تم حوصلتها في هذا العمل، تبرز أنه على الرغم من أن آثار التغير المناخي يمكن ملاحظتها بطرق مختلفة، باختلاف مناطق العالم، أو حتى حسب طبيعة الوسائل المستعملة، وهي متناسبة (1) حسب نفس مبدأ وجود هذا التغير (يمكن ملاحظته من خلال درجة الحرارة والتساقطات)، (2) على النتائج المحتملة للتغير المناخي في عمل الأنظمة الهيدرولوجية: بتغيرات كبيرة معبرة إحصائيا، والتي يمكن حذفها وهي أيضا ناتجة عن النمذجة (تغير صبيب الأنهار، لمستوى الطبقات الجوفية، ارتفاع مستوى سطح البحر و درجة حرارة المياه).

على مستوى نهر السين، الدراسات التي تم إنجازها من خلال برامج علمية مختلفة (Aval Seine، RexHyss، Seine-GICC)، تظهر بوضوح مع أفاق سنة 2100: ارتفاع في درجة حرارة الجو (من +2° إلى +4° مئوية)، وانخفاض في التساقطات (-12% على المتوسط)، لمتوسط صبيب نهر السين (-16 إلى -36%) وفي احتياط المياه الجوفية.

في ما يخص ارتفاع مستوى سطح البحر، نلاحظ منذ سنة 1938 (سنة القياسات الأولى)، ارتفاع في مستوى سطح البحر بـ +1.8 (+/-0.4 ملم) والذي سيستمر إلى غاية أفاق سنة 2100، ولكن بريب كبير في قيمة الارتفاع.

**الكلمات الأساسية :** التغير المناخي، الموارد المائية، الكرة الأرضية، فرنسا، نهر السين.

**Résumé :** La détermination de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau constitue un enjeu majeur de société pour le XXI<sup>ème</sup> siècle, à laquelle les scientifiques doivent répondre, afin de permettre la mise en place d'outils de gestion adaptés à la nouvelle situation.

C'est dans cette optique que le programme Seine-Aval a supporté un projet d'expertise collective sur les effets du changement climatique de l'échelle globale à celle de la Seine.

Les différentes études synthétisées dans ce travail mettent en avant que, même si les effets du changement climatique peuvent être perçus de manière diverse suivant les régions du monde ou même selon la nature des outils utilisés, celles-ci sont en accord (1) sur le principe même de l'existence de ce changement (observable dans la température et dans les précipitations), (2) sur les conséquences potentiellement importantes du changement climatique sur le fonctionnement des hydrosystèmes : de grandes tendances statistiquement significatives peuvent déjà être déduites et sont aussi produites par modélisation (changement du débit des fleuves, du niveau des nappes souterraines, élévation du niveau de la mer et de la température de l'eau).

A l'échelle de la Seine, les études réalisées dans différents programmes scientifiques (Seine Aval, RexHySS, GICC-Seine), montrent clairement à l'horizon 2100 : une augmentation de la température atmosphérique (+2 à +4°C), une diminution des précipitations (-12% en moyenne), du débit moyen de la Seine (-16 à -36%) et des réserves en eau souterraines. Concernant, l'élévation du niveau marin, on constate depuis 1938 (année des premières mesures) une élévation du niveau de la mer de +1.8 (+/-0.4 mm), qui se poursuivra à l'horizon 2100, mais avec une incertitude assez grande sur la valeur d'élévation.

**Mots clés :** Changement climatique, ressource en eau, Globe, France, Seine.

**Abstract :** The determination of the impact of climate change on water resources constitutes a major stake of the 21<sup>st</sup> century for which scientists must answer, in order to allow the introduction of management tools adapted to the new situation.

With this in mind, the Seine-Aval program has supported a project of collective expertise on the effects of climate change on a global scale to that of the Seine watershed.

The various studies synthesized in this work highlight that, even if the effects of climate change can be perceived in different ways in different regions of the world or even the nature of the tools used, they are consistent : 1) on the principle of the existence of this change (observable in temperature and precipitation), 2) the potentially significant consequences of climate change on the behaviour of hydrosystems: statistically significant trends can already be deduced and are also produced by modeling (changing of the rivers discharge, the groundwater levels, rising sea level and increase of water temperature).

A l'échelle de la Seine, les études réalisées dans différents programmes scientifiques (Seine Aval, RexHySS, GICC-Seine), montrent clairement à l'horizon 2100 : une augmentation de la température atmosphérique (+2 à +4°C), une diminution des précipitations (-12% en moyenne), du débit moyen de la Seine (-16 à -36%) et des réserves en eau souterraines. Concernant, l'élévation du niveau marin, on constate depuis 1938 (année des premières mesures) une élévation de +1,8 (+/-0,4 mm), qui se poursuivra à l'horizon 2100, mais avec une incertitude assez grande sur la valeur d'élévation.

On the scale of the Seine, studies in various scientific programs (Seine Aval, RexHySS, GICC-Seine) show clearly in 2100: an increase of atmospheric temperature (+2 to +4°C), a decrease of rainfall (-12% on average), of the average discharge of the Seine (-16 to -36%) and groundwater resources. On the sea level rise, there since 1938 (first year of measurements), we observe a rise of 1.8 (+/-0.4 mm), which will continue through 2100, but with enough uncertainty great value on the rising.

**Key Words :** Climate Change, water resources, Earth, France, Seine river.

## Introduction

Actuellement de nombreux hydrosystèmes (mers, fleuves, lacs...) subissent des changements majeurs dans leur composition et/ou structure, et par conséquence dans leur fonctionnement.

Aux facteurs anthropiques, tels que les problèmes de surexploitation, pollution industrielle, croissance urbaine, eutrophisation, et perte d'habitats, se superposent les fluctuations climatiques.

La détermination de l'impact du changement climatique sur ces hydro-écosystèmes constitue donc un enjeu majeur de société pour le XXI<sup>ème</sup> siècle à laquelle les scientifiques doivent répondre, afin de permettre la mise en place d'outils de gestion adaptés à la nouvelle situation.

S'il est relativement aisé d'avoir une vision synthétique de l'étude du changement climatique et de ses impacts à l'échelle du globe grâce aux travaux de l'IPCC, il en est tout autre lorsqu'on descend d'échelle comme celles des fleuves et des estuaires. En effet, à cette échelle, il est très difficile d'avoir une vision exhaustive pour les raisons suivantes :

- bien que les études sur les hydrosystèmes soient nombreuses, elles sont généralement ciblées, soit sur un fleuve, soit sur un thème et des paramètres donnés ;
- les méthodes utilisées et les échelles spatiales appréhendées sont différentes ;
- la durée des chroniques de mesures doit être au minimum de 30 ans, afin de pouvoir réaliser des analyses fiables de la relation entre les fluctuations climatiques et la variabilité hydrologique ;
- la réflexion est menée actuellement, si bien que beaucoup d'études ne sont pas encore publiées et donc difficilement accessibles ;
- les hydrosystèmes sont généralement des zones anthropisées, où il est difficile de faire la part entre le climat et l'homme.

C'est pourquoi, le programme Seine-Aval a supporté un projet intitulé « Les effets du changement climatique dans le contexte des changements globaux. Expertise collective sur l'estuaire de Seine », dont l'objectif était de réaliser une synthèse sur l'Enregistrement et les effets du climat sur les hydrosystèmes et leurs stocks d'eau de l'échelle globale à régional (bassin de la Seine), en passant par le territoire national français.

Ce travail a été présenté à l'Université Mentouri de Constantine dans le cadre du projet AUF-BEOM (Evolution de la ressource en eau dans la zone méditerranéenne méridionale : Diagnostic et proposition d'outils de gestion - Universités de Rouen, Béjaïa, Constantine, Marrakech et Tunis) et de la Journée d'études du 2 février 2011 à la Faculté des Sciences de la Terre (Laboratoires LASTERNE et LGE) de l'Université Mentouri de Constantine.

Le présent article a pour objectif de présenter une synthèse concernant l'évolution des paramètres hydroclimatiques au cours du siècle dernier et leur projection à l'horizon 2100. Il s'articulera en trois parties :

- les données et méthodes utilisées pour traiter les relations entre climat et hydrologie ;
- une synthèse bibliographique sur l'évolution des paramètres hydroclimatiques à l'échelle du globe et nationale (France) ;
- une synthèse des travaux menés sur l'évolution des mêmes paramètres sur le bassin versant de la Seine.

## 1. Données et méthodes utilisées pour analyser les effets du climat sur l'hydrologie

### 1.1 Paramètres mesurés et traités

Les contraintes principales pour étudier les relations entre les fluctuations climatiques et la variabilité hydrologique sont liées à la disponibilité des données et à la durée d'enregistrement qui doit être idéalement la plus longue possible. Il est communément admis qu'elle doit être au minimum de 30 ans. Ainsi, la température, les précipitations et le débit des fleuves sont de loin les paramètres météorologiques et hydrologiques les plus utilisés dans les différentes études menées sur le sujet. Il s'agit, effectivement, de par le monde, des données les plus mesurées et sur les périodes de temps les plus longues.

Cependant, d'autres paramètres peuvent être pris en compte, tels que la température des eaux (marines et continentales), le niveau des stocks d'eau (niveau de la mer, niveau des nappes souterraines...), par des mesures directes ou par satellites.

En ce qui concerne le traitement de ces données dans le cadre des recherches s'intéressant à l'enregistrement du climat et de son impact sur les hydrosystèmes, nous avons pu constater que deux grandes approches méthodologiques principales sont utilisées. La première approche est basée sur des méthodologies statistiques sur les données préexistantes mesurées (appelées données historiques) dont le but est d'étudier l'évolution passée et présente des différents paramètres hydroclimatiques (précipitations, température, débit, niveau de la mer...) et leurs fluctuations. La seconde est basée sur la modélisation de l'objet d'étude et de ses interactions avec les données hydroclimatiques, afin d'obtenir une simulation des données futures dans le but d'aboutir à des hypothèses sur le fonctionnement futur de l'objet étudié.

#### **Méthodes rétrospectives : traitement des enregistrements historiques (données existantes)**

Parmi les approches basées sur l'analyse des enregistrements historiques, il est possible de distinguer :

1) La caractérisation des régimes hydrologiques consiste à réaliser une classification des débits mensuels d'une année sur l'autre. Celle-ci, de façon générale, aide à mieux comprendre le fonctionnement des fleuves et de leur bassin versant et manière plus approfondie permet l'établissement de relations avec les régimes climatiques (indices climatiques NAO, ENSO...) (9, 10).

2) les méthodes probabilistes ou d'hydrologie stochastique ont pour objectif de caractériser les lois de distribution des variables aléatoires d'intérêt, afin de prévoir la probabilité d'occurrence de certaines valeurs. Elles sont très employées en hydrologie pour la caractérisation des distributions des précipitations ou des débits moyens ou extrêmes annuels (crue, étiage).

3) les approches que l'on peut qualifier de déterministes, en comparaison avec celles probabilistes évoquées ci-avant, sont basées sur l'analyse des séries chronologiques, et vont du simple test de tendance à l'utilisation de techniques de traitement du signal. Elles ont pour but de décrire précisément les modalités des variations temporelles des signaux géophysiques, tels que les signaux climatiques, hydrométéorologiques, le niveau marin, etc. Contrairement aux méthodes probabilistes, elle offrent généralement la possibilité d'accéder à un certain déterminisme dans l'analyse des séries, par la détermination de liens potentiels et relations de causalité entre les processus aléatoires étudiés (e.g., 1, 51).

Dans le détail, on peut citer : les tests de tendance linéaire ou par Filtrage, lissage qui permettent d'identifier des tendances statistiquement significative (augmentation, diminution, stabilité) et des modes de variabilité des paramètres hydrologiques, les analyses spectrales (Fourier, ondelettes...) permettant également de manière plus fine de déterminer des modes de variabilité telles que des périodicités et/ou des ruptures dans les signaux hydrologiques, pouvant être mis en relation avec des fluctuations climatiques (indices climatiques : NAO, ENSO...), l'impact anthropique et/ou des caractéristiques propres de filtrage du bassin versant

#### **Méthodes prospectives : Modélisation**

L'approche modélisatrice repose quant à elle sur la construction d'un modèle de fonctionnement du système ciblé (bassin versant, écosystème,...), paramétré à partir de données enregistrées caractéristiques de ce système (précipitations, débits, caractéristiques et utilisation du sol, géologie,...). Ce modèle est ensuite soumis à un scénario climatique plus ou moins pessimiste, basé sur l'hypothèse d'une augmentation plus ou moins forte

des principaux gaz à effet de serre et aérosols dans l’atmosphère au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, fondée elle-même sur des scénarios de trajectoire socio-économique mondiale (Tabl. 1)

**Tableau 1.** Résumé des quatre grands types de scénarios d’émission en GES et aérosols, utilisés comme entrée des scénarios climatiques les plus utilisés par la communauté scientifique (3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> rapport de l’IPCC/GIEC, 29, 30). En terme de concentration en GES, et donc de sévérité globale du changement climatique, les scénarios les plus optimistes sont B1 et B2 et les plus pessimistes sont A1 et A2.

<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance économique mondiale sans virage environnemental</li> <li>• Démographie maximale en 2050, puis déclin de la population</li> <li>• Technologies plus efficaces</li> <li>• Homogénéisation du revenu par habitant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance économique régionale sans virage environnemental</li> <li>• Démographie continue</li> <li>• Evolution technologique lente</li> <li>• Maintien des différences du revenu par habitant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance économique mondiale avec virage environnemental</li> <li>• Démographie maximale en 2050, puis déclin de la population</li> <li>• Technologies plus efficaces</li> <li>• Homogénéisation du revenu par habitant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance économique régionale avec virage environnemental</li> <li>• Démographie continue</li> <li>• Evolution technologique lente</li> <li>• Maintien des différences du revenu par habitant</li> </ul>

Cette articulation d’un modèle du climat et d’un modèle du système étudié permet de projeter le devenir du fonctionnement de ce système selon plusieurs hypothèses d’évolution du climat. Une étape importante dans ce cadre est celle de la régionalisation des scénarii climatiques produits par les modèles globaux vers l’échelle du système ciblé (méthode de la descente d’échelle).

Les modèles climatiques globaux qui permettent de décrire l’évolution du climat à long terme sont basés sur le couplage de quatre sous-modèles dédiés aux principaux compartiments du système climatique, en particulier l’océan et l’atmosphère, afin d’obtenir un modèle décrivant au mieux les interactions entre ces compartiments : les Modèles de Circulation Générale de l’Atmosphère (MCGA), les Modèles de Circulation Générale des Océans (MCGO), les modèles de banquise, et les modèles traduisant l’effet de la végétation et des sols. L’élaboration des modèles climatiques globaux nécessite dans un premier temps une validation de chacun des modèles le composant.

En France, deux modèles couplés ont été intégrés pour l’étude de la réponse transitoire du système climatique à l’augmentation du gaz carbonique. Il s’agit, d’une part, du modèle atmosphérique du LMD couplé au modèle océanique du Lodyc (Laboratoire d’Océanographie Dynamique et de Climatologie), et d’autre part, du modèle atmosphérique ARPEGE du CNRM (Centre National de Recherche Météorologique) couplé au même modèle océanique, à l’aide du coupleur Oasis développé par le Cerfacs. Cependant, l’application à une échelle régionale reste limitée en partie du fait d’une

mauvaise représentation de l’orographie et des conditions d’occupation du sol (type de végétation et type de sol), dont l’influence est prépondérante en Europe (influence des chaînes de montagne, des mers et des océans). Jusqu’à présent, le modèle le mieux adapté pour intégrer l’influence de ces éléments utilise une version non homogène du modèle ARPEGE-Climat.

Tous les modélisateurs s’accordent à dire qu’il existe de nombreuses incertitudes sur les données et les modèles et que, par conséquent, les chiffres obtenus doivent être pris avec beaucoup de précaution, et qu’il est surtout important de retenir les tendances lorsqu’elles sont significatives.

**2. Evolution des paramètres hydroclimatiques : de l’échelle globale au territoire nationale français**

**2.1 Evolution des températures atmosphériques**

A l’échelle globale, de nombreuses études mettent en évidence une augmentation globale moyenne de la température atmosphérique au cours du XX<sup>e</sup> siècle de l’ordre de 0,6°C (26, 27, 30). Cette évolution de la température est marquée par des paliers et des accélérations, avec notamment deux phases d’augmentation des années 1910 à 1940, puis des années 1970 à nos jours (Figure 1). De plus, la dernière décennie du siècle précédent apparaît comme la période la plus chaude enregistrée depuis que les réseaux météorologiques existent.



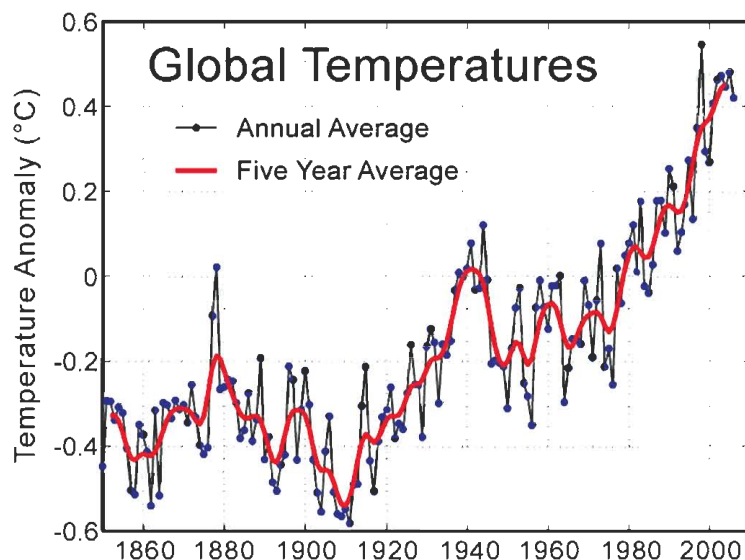


Fig. 1 Evolution de la température atmosphérique globale. Le zéro est la moyenne de température comprise entre 1961 et 1990. (NASA Earth Observatory - Globalwarmingart.com - données IPCC)

Cependant, cette augmentation de température se répartit inégalement à la surface de la Terre. L'augmentation de la température atmosphérique est plus forte dans la région polaire de l'hémisphère Nord, avec une augmentation moyenne comprise entre 1,5 à 2°C,

tandis que l'Europe et la France sont marquées par une augmentation moyenne d'1°C environ. A l'échelle de la France, on note une augmentation comprise entre environ 0,7 et 1,1°C, avec également une répartition spatiale hétérogène sur le territoire (Figure 2).

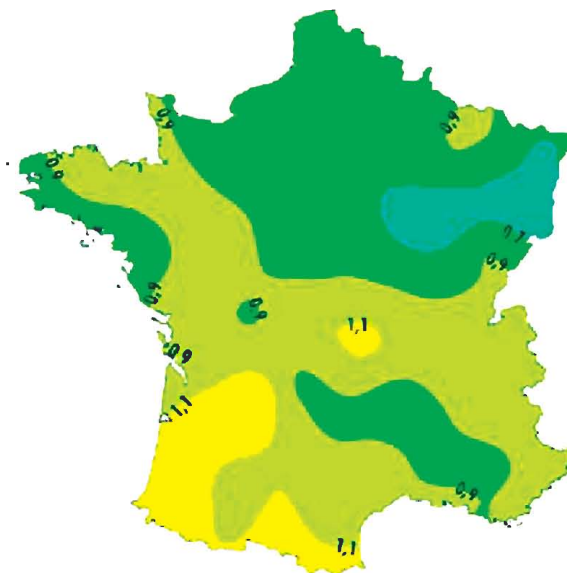


Fig. 2 Cartographie des tendances 1901-2000 (en °C/siècle) de la température moyenne annuelle, à partir de soixante dix séries homogénéisées (56).

L'IPCC (29, 30) évalue l'augmentation de la température globale de la surface de la Terre, d'ici 2100, entre 1,1 et 6,4°C, mais de façon plus probable entre 1,8 et 4°C (Figure 3).



### Global Warming Projections

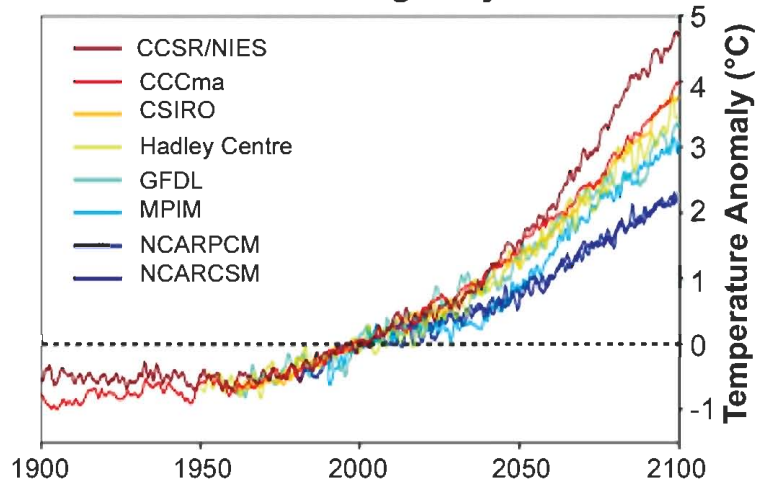


Fig. 3 Modélisation de l'évolution de la température atmosphérique globale à l'horizon 2100 (Globalwarmingart.com, d'après données IPCC, 29, 30).

Cette augmentation de température toucherait toutes les régions du globe, mais toujours de façon inégale spatialement : la région polaire de l'hémisphère Nord serait toujours la plus touchée, ainsi que le territoire de l'Amazonie.

A l'échelle de la France, selon le scénario utilisé, l'augmentation des températures moyennes annuelles pourraient être de l'ordre de

1,5 à 2°C d'ici 2050, et de 3 à 5°C d'ici 2100, avec des disparités plus ou moins importantes en fonction des régions et des saisons concernées. Cette élévation de température serait à l'origine d'une augmentation importante du nombre de jours de canicule en période estivale (Figure 4).

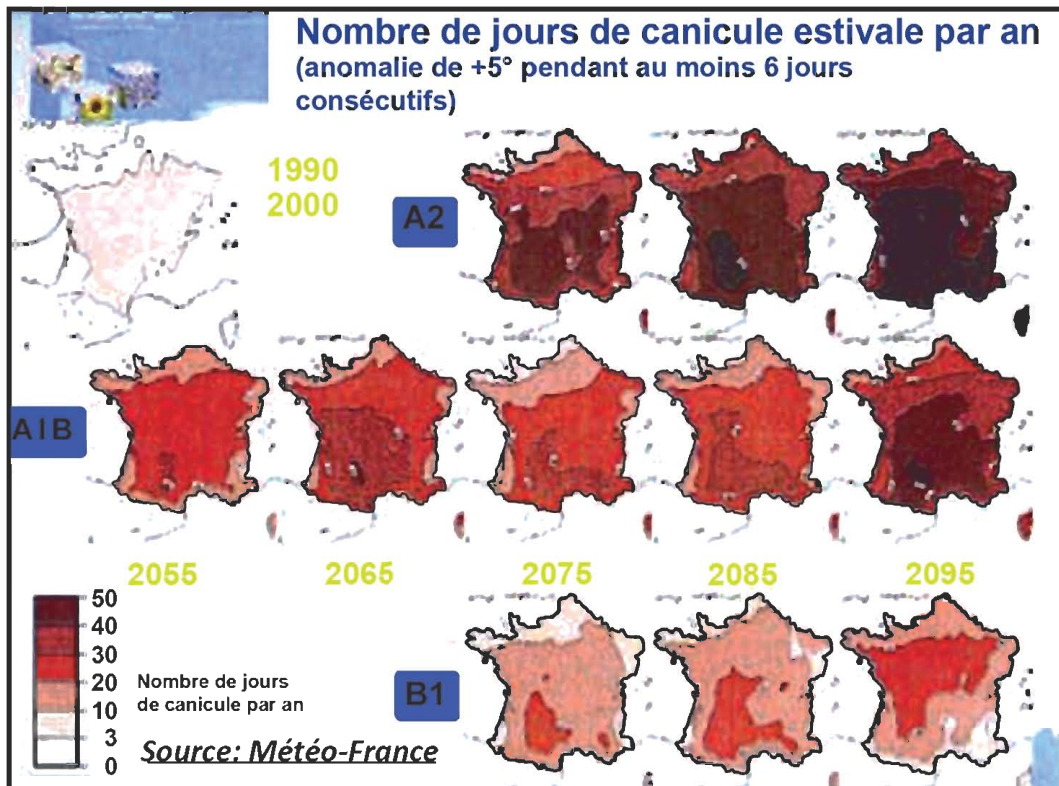


Fig. 4 Modélisation de l'évolution du nombre de jours de canicule par an en France à l'horizon 2100, selon 3 scénarios (Source Météo France).

## 2.2 Evolution des précipitations

Les résultats des différentes études portant sur l'évolution des précipitations montrent que, dans une moyenne globale, le changement climatique se traduit essentiellement par une intensification des précipitations, en particulier depuis les dernières décennies (22, 34, 35, 21, 74, 31, 52, 61, 50). Ce phénomène d'intensification des précipitations se traduit par une accélération moyenne globale du cycle de l'eau d'environ 3%, du fait de l'augmentation de la température atmosphérique globale provoquant un accroissement de l'évaporation et donc des précipitations (17, 44, 75, 23, 7, 68, 42, 79).

Cependant, ce phénomène d'intensification est inégalement réparti dans le monde. Dans les faits, selon Chahine et al. (12) et Barthelet et al. (8), les phénomènes d'intensifications sont limités aux plus hautes latitudes et aux zones équatoriales, les zones comprises entre 20 et 45° de latitude ne connaissant, de fait, qu'une stagnation de la vitesse du cycle de l'eau, voire marque, dans certaines zones, un ralentissement.

A l'échelle de l'Europe, les mesures compilées par Hulme (28) montrent l'existence d'un dipôle « assèchement méditerranéen » / « humidification sur l'Europe de l'Ouest et du Nord », sur les quinze dernières années. Cette constatation est à relier avec la mise en évidence, par Pozo-Vazquez et al. (67), Rodrigo et al. (70) et Andreo et al. (3), de l'importance de l'effet des variations de la NAO sur le fonctionnement des précipitations. En effet, la NAO, depuis 1990, est essentiellement dans une phase positive, ce qui se traduit par un assèchement de la zone méditerranéenne et une humidification de l'Europe de l'Ouest et du Nord, ce qui est compatible avec les mesures compilées par Hulme (28).

Selon plusieurs études (24, 80, 46, 61, 33, 57, 13, 65), l'intensification des précipitations d'un point de vue mondial s'amplifiera dans l'avenir, provoquant sur la même logique une récurrence plus rapide des événements extrêmes. Ces études mettent également en évidence que c'est surtout au niveau de la répartition mondiale des précipitations que des changements se feront, avec une augmentation des précipitations dans les zones équatoriales et au niveau des pôles, au détriment des zones méditerranéennes, tropicales sèches et tempérées (Figure 5).

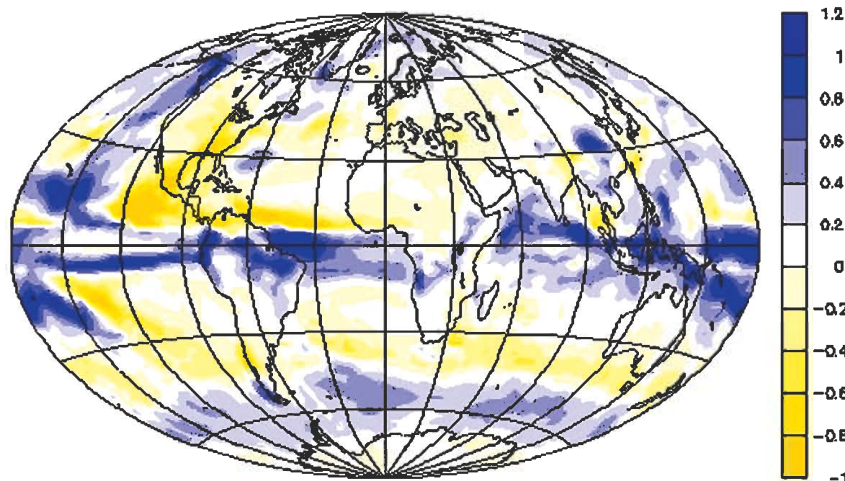


Fig. 5 Anomalies de précipitations (en mm/jour) obtenues à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle (moyenne des années 2090 à 2099) par rapport à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle (moyenne des années 2000 à 2009) (Modèle IPCC CNRM)

Les travaux d'Arnell (5), de Déqué et al. (16), de Palmer et Räisänen (62), de Werrity (77) et de Sumner et al (73), appliqués à l'Europe de l'Ouest, à l'Angleterre ou à l'Ecosse, montrent que le réchauffement climatique futur augmentera les valeurs des précipitations d'hiver en premier lieu au détriment des précipitations d'été. Ils mettent également en évidence la poursuite probable de l'assèchement du Sud de l'Europe

et d'une plus grande humidification du Nord de l'Europe.

Pour les régions situées au N et NW de la France, il demeure néanmoins de très grandes incertitudes car ces dernières se situent dans la zone de transition : les modèles indiquent une diminution des précipitations annuelles et estivales, tandis qu'en hiver, suivant le modèle, on prévoit une diminution ou une augmentation.



L'évolution des précipitations, que ce soit d'un point de vue mondial ou d'un point de vue régional, influence le fonctionnement des hydrosystèmes et leurs stocks d'eau (superficiels et souterrains), au travers des processus de ruissellement et d'infiltration. L'évolution de ces stocks d'eau mondiaux a un impact sur l'évolution socio-économique mondiale et régionale. C'est pourquoi, de nombreuses études s'intéressent à l'évolution de ces stocks, et notamment au débit des fleuves.

**2.3 Evolution des débits et des stocks d'eau**

A l'échelle mondiale, de nombreuses études pointent une évolution importante des débits mondiaux. A partir des années 1920, on constate une augmentation du débit des fleuves sur tous les continents, à l'exception de l'Afrique et de l'Europe (36). L'augmentation du débit moyen à l'échelle du globe serait à mettre en relation avec l'augmentation des précipitations moyennes et la fonte des glaciers. Cependant, d'autres études pointent l'existence de nombreuses disparités. A l'échelle globale, les différents auteurs (6, 8, 2, 54, 59, 48, 60, 37)

montrent que c'est surtout dans les hautes latitudes (au-dessus du 50°N et en-dessous du 50°S) et au niveau de l'Equateur que les valeurs de débit montrent une tendance à l'augmentation significative, tandis que dans les latitudes moyennes et dans les régions subtropicales, les valeurs de débit tendent à stagner, voire à diminuer de façon significative, en particulier pendant la période hivernale.

Néanmoins, ils notent également que ces grandes règles connaissent des exceptions régionales. De fait, de nombreuses études à échelle locale (14, 27, 15, 69, 72, 20, 41, 43, 63, 19, 32, 4) montrent qu'il existe des disparités de réponse en fonction des caractéristiques physiographiques du bassin versant de la rivière.

Les mesures satellitaires de l'évolution des stocks d'eau (souterrains et superficiels : fleuves, lacs, humidité des sols) par gravimétrie (GRACE), menées depuis 2002, indiquent également des disparités selon les grands bassins fluviaux mondiaux (Figure 6). Néanmoins, l'évolution moyenne globale serait à la diminution, avec une perte de 60 km<sup>3</sup>/an de 2002 à 2007.

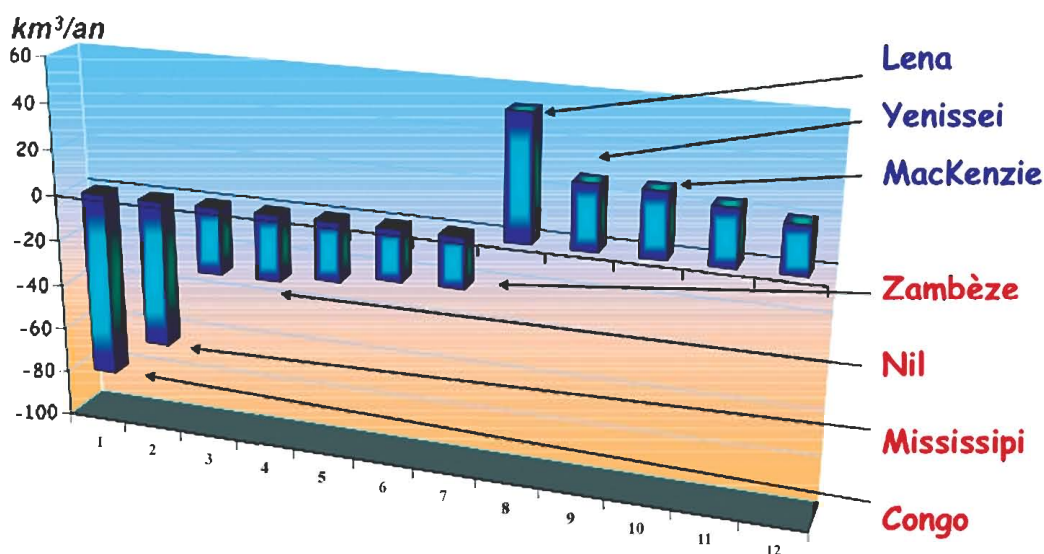


Fig. 6 Tendances sur 2002-2007 des variations de stocks d'eau dans les grands bassins fluviaux d'après GRACE (Gravimétrie spatiale) (11)

A l'échelle mondiale, les projections des modèles évaluent une augmentation du débit moyen mondial de 7,3% d'ici 2050, dû à l'accélération du cycle de l'eau (78). Ceci serait lié à une amplification de l'augmentation des débits dans les hautes latitudes et au niveau de l'Equateur par rapport à ce qui a été

démonstré dans les études des chroniques historiques de débit au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Les disparités spatiales entre hautes latitudes et équateur où le débit augmentera et les régions subtropicales et méditerranéennes où le débit diminuera seraient donc plus importantes qu'au cours du dernier siècle.

Ces constatations sont également à contrebalancer en fonction du contexte régional, qui voit, par exemple, une augmentation des débits moyens dans le Nord de l'Angleterre et une diminution des débits moyens dans le Sud de l'Angleterre de l'ordre de 5 à 15% d'ici 2050 (5). Ceci serait lié aux caractéristiques propres du bassin versant (morphologie, lithologie, occupation du sol, soutien par la nappe) et à l'existence d'un facteur difficilement mesurable dans l'avenir : l'action anthropique sur l'évolution des bassins versants des fleuves et des rivières. Uhlenbrook et Hoeg (76) avancent que l'évolution de l'utilisation des sols aura un impact important sur le fonctionnement des bassins versants, bien que Herrmann (25) met en avant que les débits ne seront influencés par ce paramètre que de façon graduelle dans l'avenir.

A l'échelle de la France, on postule à l'horizon 2050, quel que soit le fleuve, une diminution voire une stagnation, à l'exception de l'hiver pour les cours d'eau situés dans les Alpes centrales et méridionales.

## 2.4 Evolution du niveau de la mer

L'augmentation globale des températures atmosphériques n'a pas seulement des conséquences sur l'évolution des précipitations et des débits, mais également sur l'élévation du niveau marin, à cause de la fonte des glaces polaires et de l'expansion du volume océanique par dilatation thermique.

L'élévation globale du niveau de la mer calculée, par des méthodes de relevés satellites ou par des mesures directes, est de 20 cm depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle (Figure 7).

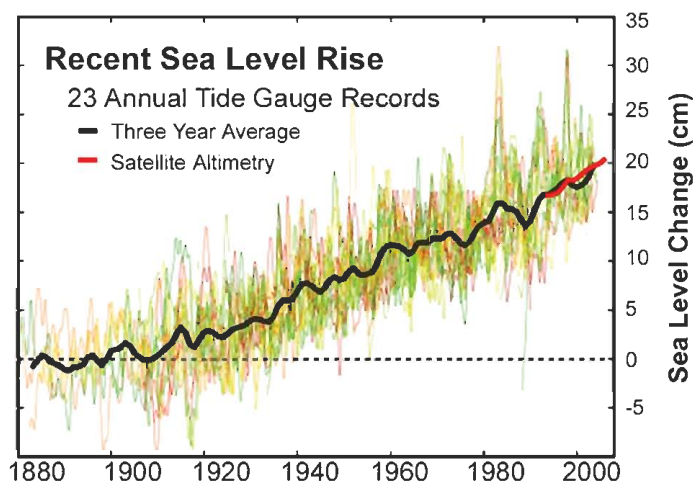


Fig. 7 Augmentation globale du niveau de la mer au cours du XX<sup>e</sup> siècle (Globalwarmingart.com – d'après données IPCC, 29, 30)

Cette évolution n'est toutefois pas identique partout dans le monde. Les travaux du LEGOS (Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales) sur les anomalies du niveau de la mer par mesures satellitaires entre 1993 et 2005, montrent par exemple une tendance à la stagnation ou à la diminution du niveau de la mer à l'Est de l'Océan Pacifique et dans l'Océan Indien et une augmentation à l'Ouest du Pacifique et au Nord et au Sud de l'Océan Atlantique.

La distribution géographique des vitesses des variations du niveau de la mer le long des côtes françaises, toujours par données satellites, indique entre 1993 et 2006, une variation comprise entre 0 et + 2,5 mm/an et ponctuellement entre + 2,5 et + 5 mm/an.

Les mesures directes indiquent, quant à elles, des variations comprises entre -0,1 et +0,4 cm/an (Figure 8).

De nombreuses études mettent en avant une montée importante du niveau de la mer au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Les travaux de l'IPCC (29, 30) indiquent une élévation du niveau marin comprise entre 18 et 59 cm (Figure 9).

La modélisation de l'élévation du niveau de la mer n'est pas aisée, si bien que l'incertitude sur la valeur proposée est nettement plus grande que pour la température. Ainsi, les études se suivent et indiquent généralement des chiffres à la hausse : de 60 cm comme chiffre maximum, on est passé à 80 cm, puis à 1 m dans certaines études.



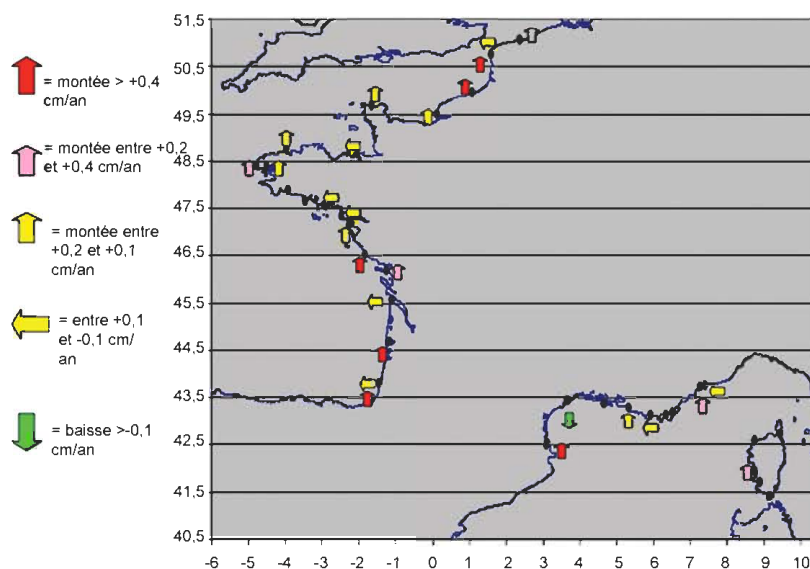


Fig. 8 Résumé simplifié des tendances récentes de variation du niveau moyen de la mer sur les côtes françaises à partir des mesures directes (64).

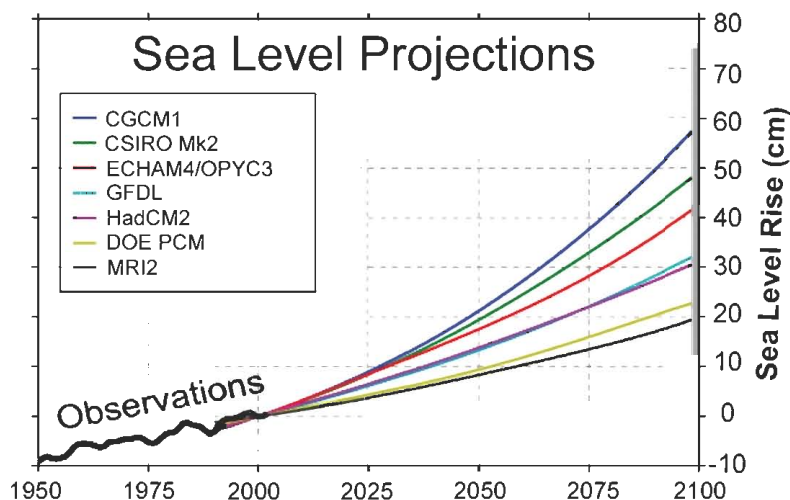


Fig. 9 Modélisation de l'élévation du niveau marin (Gobalwarmingart.com – d'après données IPCC, 29, 30) (élévation entre 18 et 38 cm pour le scénario le plus optimiste B1 et entre 26 et 59 cm pour le plus pessimiste A1)

Certains scénarios évoquent une fonte brutale des glaces polaires (45, 58, 66), pouvant provenir d'une arrivée d'eau plus chaude provenant des rivières nordiques. Cela provoquerait une surélévation importante du niveau de la mer, pouvant atteindre une augmentation de cinq mètres en l'espace d'un siècle, ce qui aurait un impact dramatique sur le fonctionnement des rivières et des estuaires du monde, ainsi que sur nos sociétés.

### 2.5 Evolution de la température des eaux de surface

En parallèle de l'évolution de la température atmosphérique, de par le fait de l'existence

d'interactions entre l'atmosphère et l'océan, de nombreuses études soulignent une augmentation de la température moyenne globale des océans de 1°C au cours du XX<sup>e</sup> siècle, en particulier depuis 1980 (Figure 10). Cette augmentation, bien que semblant faible, a d'importantes conséquences. Ainsi, MacKenzie et Schiedek (47) montrent que l'augmentation de la température de surface des eaux a pour conséquence un changement des conditions de vie biologique, permettant à certaines espèces invasives de s'installer dans des endroits qu'elles n'auraient pu coloniser il y a encore deux décennies.

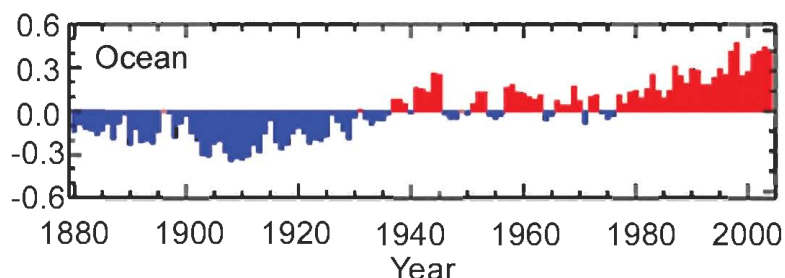


Fig. 10 Evolution de la température de surface des eaux au cours du XX<sup>e</sup> siècle (Source : NASA/GISS)

En parallèle, on note une augmentation de la température des eaux des fleuves. Par exemple, sur la Loire, la température de l'eau a augmenté de 0,8 °C entre 1975 et 2005 (Figure 11 ; 55).

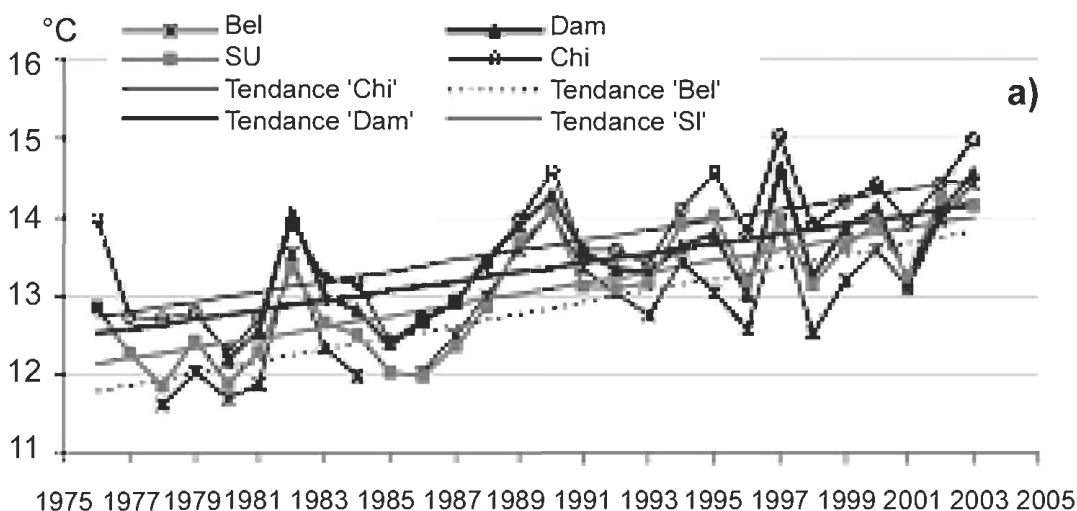


Fig. 11 Evolution de la température de l'eau de la Loire entre les années 1975 et 2005 (55)

### 3. Evolution des paramètres Hydroclimatiques à l'échelle du bassin versant de la Seine

#### 3.1 Présentation du bassin versant de la Seine

La Seine est un fleuve long de 776 km qui draine un bassin versant de 74 250 km<sup>2</sup>. Le fleuve prend sa source près de Dijon à une altitude de 470 m et se jette en Manche au large du Havre (Figure 12). La superficie du bassin versant de la Seine représente 14% de la superficie nationale. 16 millions d'habitants vivent sur le bassin versant, soit 26% de la population nationale, dont 80% vivent en zone

urbaine. Ce bassin versant concentre 40% de l'activité économique française et 50% du trafic fluvial national. L'occupation du bassin versant de la Seine est dominée par les cultures (60% de la superficie du BV). Le reste du bassin versant est occupée par des prairies, zones boisées, urbaines et quelques surfaces en eau libre.

Le cours de la Seine peut être subdivisé en trois parties : le cours supérieur en amont de la confluence avec l'Oise ; le cours moyen compris entre la confluence avec l'Oise et celle avec l'Èure ; le cours inférieur (ou basse vallée) en aval de la confluence avec l'Èure ou pris le plus souvent en aval du barrage de Poses (zone estuarienne) (Figure 12).



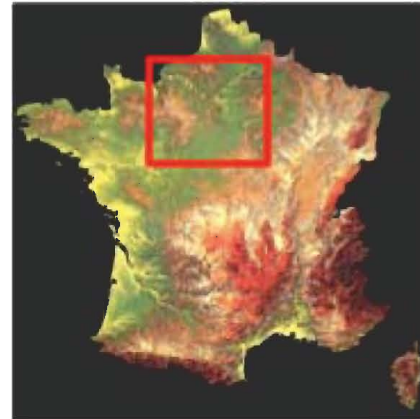
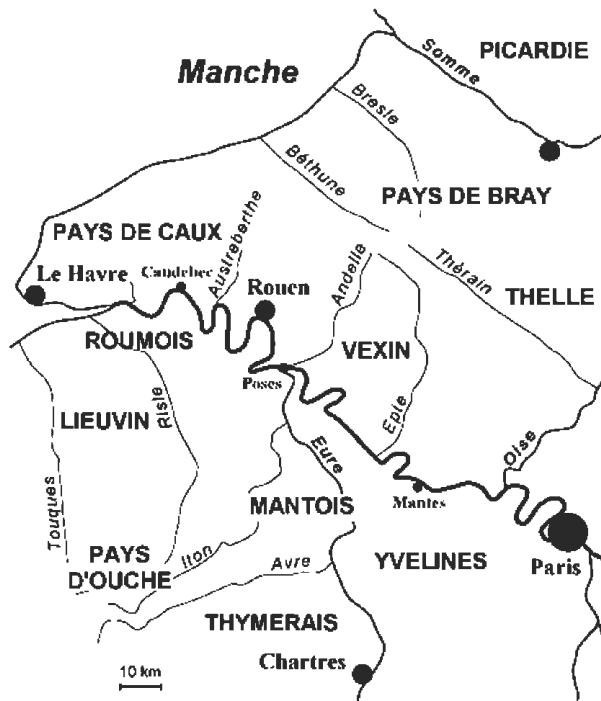


Fig. 12 La Seine

A l'échelle de la Seine, les études sur l'évolution des paramètres hydro-climatiques sont récentes et sont regroupées principalement dans trois programmes : Seine Aval, RexHySS, GICC-Seine.

### 3.2 Evolution des températures atmosphériques sur le bassin versant de la Seine

Les études montrent clairement une augmentation de la température depuis le siècle dernier (Figure 13 ; 53) et qui se poursuivra jusqu'à l'horizon

2100 (+2 à +4°C). En effet, les scénarios de changement climatique désagrégés dans le cadre du projet RExHySS s'accordent sur une augmentation de la température atmosphérique dans le bassin de la Seine d'ici 2100 (de +1.5 à +3°C en milieu de siècle et entre +2 et +4°C en fin de siècle ; Figure 14 ; 18). Ces scénarios soulignent aussi que la température atmosphérique régionale augmentera quelle que soit la saison, avec un réchauffement légèrement plus fort en été.

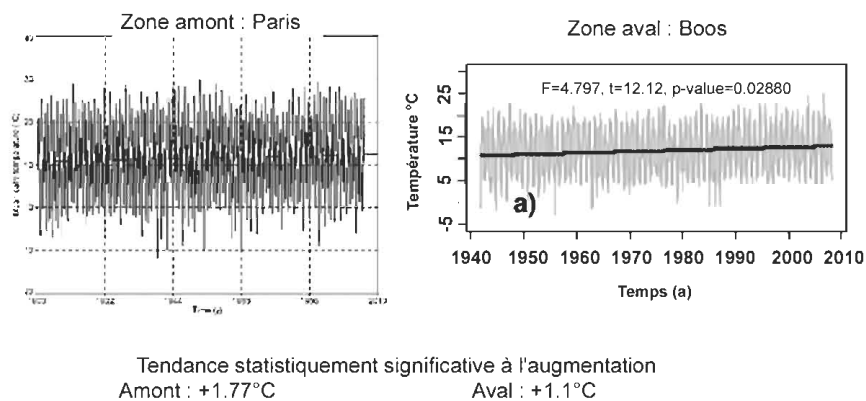


Fig. 13 Variations moyennes mensuelles et tendance des températures sur deux exemples de stations météorologiques : de 1900 à 2007 dans la zone amont du bassin de la Seine et de 1940 à 2007 dans la zone aval (53)

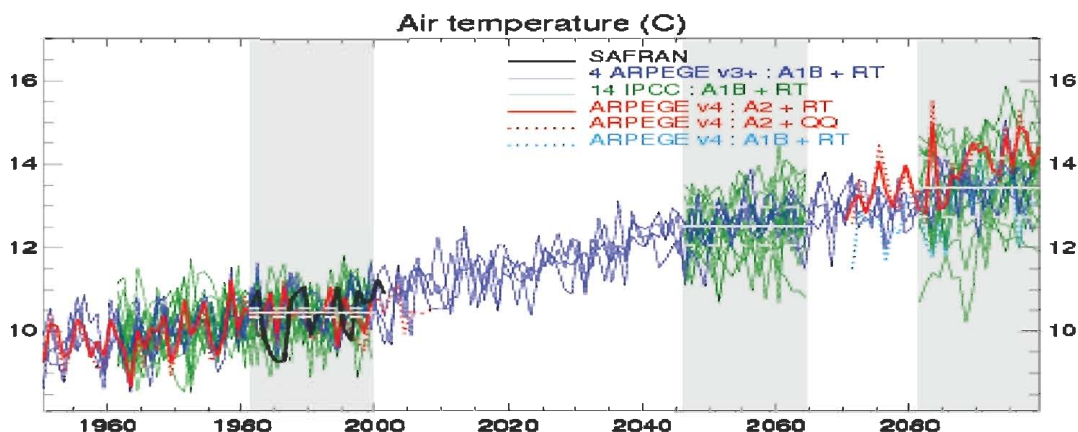


Fig. 14 Evolution de la température de l'air (moyennes annuelles en °C) dans le bassin de la Seine entre 1950 et 2100. La courbe noire représente les analyses SAFRAN basées sur les observations historiques et les courbes en couleur correspondent à 19 scénarios de changement climatique désagrégés dans le cadre du projet REXHySS (18).

### 3.3 Evolution des précipitations sur le bassin versant de la Seine

Si les précipitations ne montrent pas de tendance significative dans les données enregistrées, en revanche, celles-ci pourraient diminuer d'ici 2100 (-12% en moyenne dans le bassin de la Seine). Les différents scénarios de changement climatique désagrégés dans le cadre du projet REXHySS montrent une réponse concordante des précipitations dans le bassin de la Seine au cours du 21<sup>ème</sup> siècle (Figure 15) :

- les cumuls annuels montrent une tendance quasi systématique : -6% en moyenne sur tous les scénarios en milieu de siècle, et -12% en moyenne sur tous les scénarios en fin de siècle ;

- au 21<sup>ème</sup> siècle, seul un scénario régionalisé parmi les 21 montre une augmentation (faible) des précipitations annuelles par rapport au temps présent ;
- à l'échelle saisonnière, la réponse est dominée par une baisse importante et systématique des précipitations estivales ; l'évolution des précipitations hivernales est plus faible en amplitude, mais incertaine sur le signe ;
- la baisse des précipitations se traduit par une augmentation du nombre de jours sans précipitation et une persistance plus importante des épisodes secs; la persistance des événements pluvieux change peu.

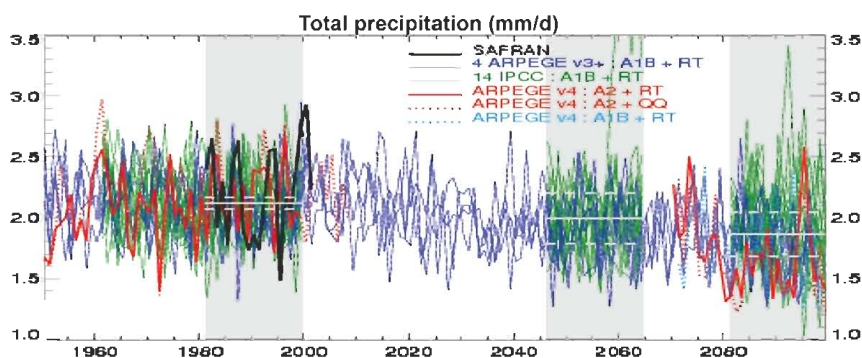


Fig. 15 Evolution des précipitations (moyennes annuelles exprimées en mm/j) dans le bassin de la Seine entre 1950 et 2100. La courbe noire représente les analyses SAFRAN basées sur les observations historiques et les courbes en couleur correspondent à 19 scénarios de changement climatique désagrégés dans le cadre du projet REXHySS (18).



### 3.4 Evolution des débits et de l'aquifère crayeux sur le bassin versant de la Seine

Bien que l'on n'observe pas de tendance significative à l'augmentation des précipitations, le débit de la Seine (à Poses) et de ses affluents

présente une tendance statistiquement significative à l'augmentation (Figure 16 ; 53). L'augmentation du débit moyen de la Seine, depuis les années 1946, a été évaluée de +10 à +30% selon la tendance ajustée.

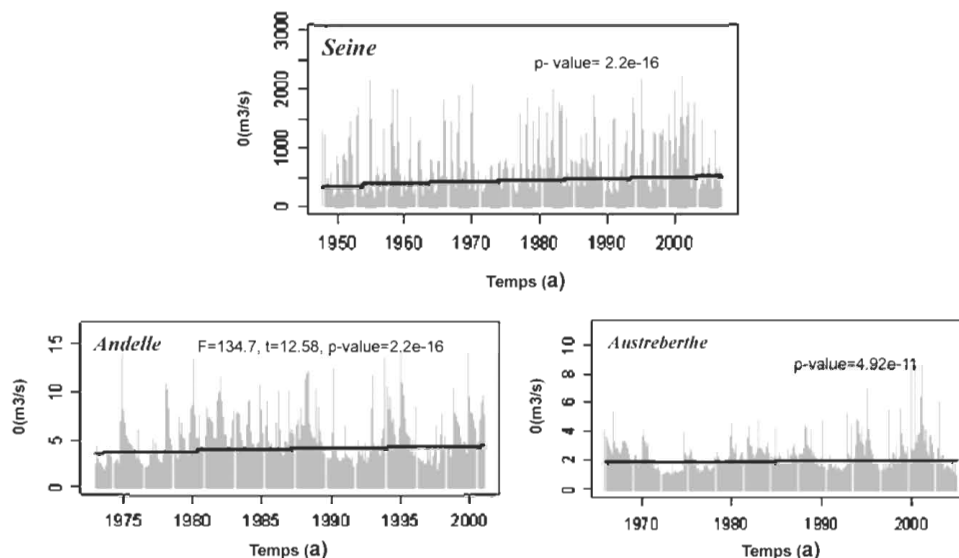


Fig. 16 Tendances dans l'évolution du débit journalier de la Seine et de ses affluents (ex : Austreberthe et Andelle) (53)

Connaître l'évolution de l'aquifère de la craie est essentiel, car c'est lui qui assure le débit de base de la Seine et de ses affluents.

Contrairement au débit de la Seine et de ses affluents, les tendances dans l'évolution piézométrique apparaissent beaucoup plus complexes. En effet, suivant la localisation géographique des piézomètres, la tendance du niveau de la nappe de la craie peut être à l'augmentation, à la stagnation, voire à la diminution. Les tendances ne sont d'ailleurs pas toujours significatives.

En réalité, le comportement différentiel des piézomètres situés dans l'aquifère de la craie s'explique par une surimposition du contexte structural au gradient hydraulique : selon ce contexte, on note une accentuation ou un blocage du drainage, avec des compartiments qui stockent beaucoup d'eau et d'autres moins (71).

L'analyse en ondelettes du débit et de la piézométrie du bassin de la Seine et de ses affluents permet non seulement de retrouver les bandes de fréquences, mais également des ruptures, observables dans la chronique des précipitations moyennes mensuelles (Figure 17). On observe ainsi des bandes de fréquences à 1 (cycle hydrologique), 2-3, 5-7 et 15 ans, présentes également dans l'indice NAO. Pour les discontinuités, on remarque sur le débit de la Seine, qu'en 1970, la bande de fréquence

pluri-biennale perd en puissance, tandis que la bande de fréquence à 15 ans gagne en puissance. Puis, à partir de 1990, on constate un gain de puissance des bandes fréquentielles à 5-7 ans, ainsi qu'un renforcement de la puissance du cycle hydrologique (1 an). Ces deux discontinuités s'observent également dans d'autres hydrosystèmes de tailles différentes de part et d'autre de l'Atlantique et de la Méditerranée, ainsi que dans l'indice climatique NAO (Oscillation Nord Atlantique), ce qui laisse supposer qu'il s'agit de ruptures globales et climatiques.

Les changements climatiques régionaux devraient entraîner un assèchement prononcé du bassin de la Seine au cours du 21ème siècle. Cet assèchement se traduit dans la modélisation par (Figure 18) :

- une tendance à la baisse de l'évapotranspiration, qui s'accroît avec la baisse des précipitations annuelles, mais avec une dispersion assez importante y compris en signe ;
- une baisse de la recharge des nappes, dont il résulte une baisse des niveaux piézométriques de ces nappes et une baisse du débit de base alimenté par ces nappes (voir plus bas) ;
- la résultante est une baisse des débits, en moyenne annuelle et en toute saison, que ce soit en basses et hautes eaux ;
- l'essentiel des changements est acquis dès le milieu de siècle ;

- l'amplitude de la baisse des débits et des niveaux piézométriques est sujette à une incertitude importante, mais elle est robuste (baisse systématique, réponse moyenne supérieure à la dispersion).

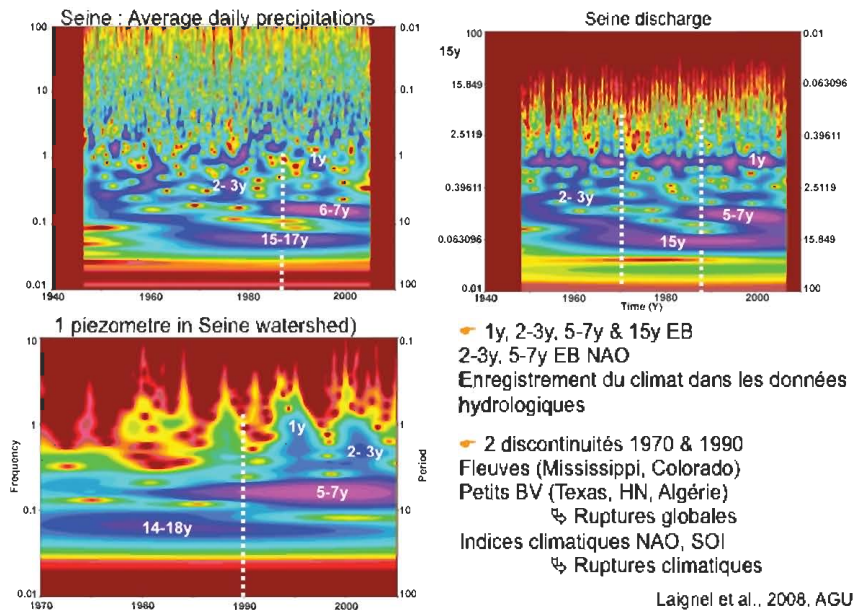


Fig. 17 Enregistrement du climat dans les précipitations, le débit et la piézométrie du bassin de la Seine (38, 39)

Débits mensuels de la Seine à Poses

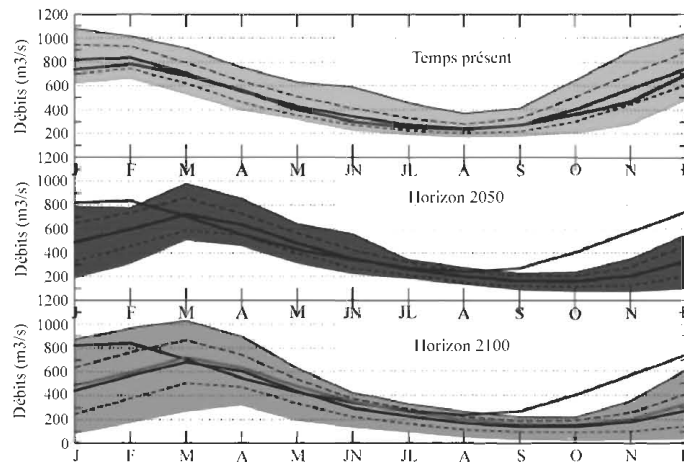


Fig. 18 Evolution des débits mensuels simulés pour la Seine à Poses dans le cadre du projet REXHySS (ensemble de 5 modèles hydrologiques et de 12 scénarios désagrégés). L'enveloppe représente les min et max simulés, le trait épais la moyenne de l'ensemble, et les pointillés l'enveloppe pour un écart-type. En haut: temps présent, la courbe grise foncée représente la moyenne mensuelle observée. Au milieu Horizon 2050: la courbe grise foncée représente la moyenne temps présent. En bas Horizon 2100: les courbes noires et grises foncées représentent les simulations temps présent et milieu de siècle respectivement. Source : 18.

Les analyses d'incertitude réalisées dans le cadre du projet REXHySS indiquent ainsi une baisse en fin de siècle de 140 m<sup>3</sup>/s du débit moyen de la Seine à Poses, soit 26% du débit moyen actuel. Les incertitudes autour de cette valeur sont d'environ 50 m<sup>3</sup>/s (soit environ 10% du débit moyen actuel), et proviennent d'abord des modèles climatiques, puis des modèles hydrologiques.

La réponse au changement climatique des principaux aquifères du bassin de la Seine (Craie, Eocène, Oligocène) a également été simulée dans le cadre du projet REXHySS à l'aide du modèle hydrogéologique MODCOU (40). Les principaux résultats sont une baisse importante de la recharge de ces aquifères : déficits moyens sur l'ensemble des aquifères simulés de 2200 Mm<sup>3</sup>/a en milieu de siècle



et de 2700 Mm<sup>3</sup>/a en fin de siècle, en moyenne sur les 19 scénarios désagrégés testés. Ces déficits sont du même ordre de grandeur que les volumes actuellement prélevés sur la totalité du bassin de la Seine, tous usages confondus. Comme seulement 40 % de ces prélèvements ont lieu en nappe, les déficits de recharge sous changement climatique sont

donc largement supérieurs aux prélèvements actuels en nappe.

Cette diminution de la recharge sous changement climatique entraîne bien sûr une baisse sensible des niveaux piézométriques dans les aquifères, dans l'ensemble des formations aquifères du bassin de la Seine, comme illustré dans la Craie (Figure 19).

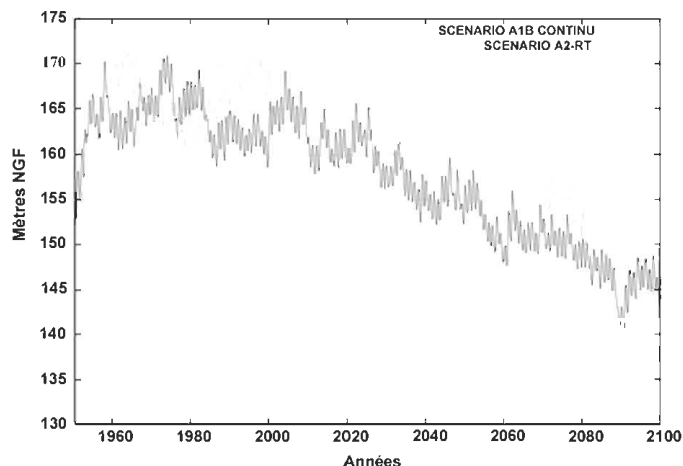


Fig. 19 Évolution de la piézométrie calculée dans la nappe de la Craie à Omécourt (Oise) par le modèle MODCOU, selon deux scénarios de changement climatique (modèle climatique ARPEGE, scénarios d'émissions A2 et A1B, méthode de désagrégation des Régimes de Temps). Source :18.

### 3.5 Evolution du niveau de la mer au Havre

En ce qui concerne l'élévation du niveau de la mer, l'estimation, à partir des mesures in situ (marégraphiques), semble montrer une accélération sur la période 1993-2006 (+2,7 +/-1,5 mm) comparée à celle 1938-2006 (+1,8 +/-0,4 mm), avec une incertitude cependant plus grande sur la période récente (Figure 20).

Les projections sur l'élévation du niveau marin, quant à elles, présentent des incertitudes d'autant

plus grandes pour l'estuaire de la Seine, qu'elles sont déjà importantes pour les modèles à l'échelle globale, et il n'existe pas de scénario unique à proposer.

Néanmoins, l'élévation du niveau marin dans l'estuaire de Seine soulève bon nombre de questions concernant les zones humides inondables, la progression du gradient de salinité et son impact sur l'écosystème, et donc des questions directement sur la restauration et les zones à protéger ou non dans l'estuaire.

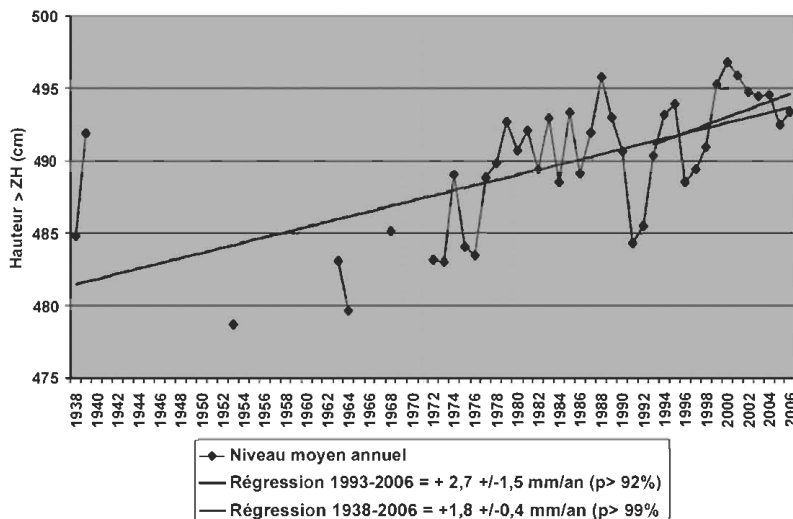


Fig. 20 Variation du niveau moyen de la mer au Havre (64)

A titre illustratif, en se basant sur les données de P. Pirazzoli (64), avec un passage de la cote 8 CMH (niveau moyen de pleine mer de vive eau) à la cote 9 CMH, le GIP Seine Aval a réalisé, à partir du MNT de l'estuaire de la Seine, une image de ce que pourrait devenir l'estuaire en terme de zones inondées (Figure 21). Attention, il ne s'agit que

d'une simple image qui ne doit être en aucun considérée comme la future configuration de l'estuaire. Cependant, cette image a le mérite de positionner la réflexion sur une modification de la zonation actuelle de l'estuaire (niveaux d'eau, salinité, température, régime fluvial...) et ainsi sur les zones à protéger et les actions de restauration.

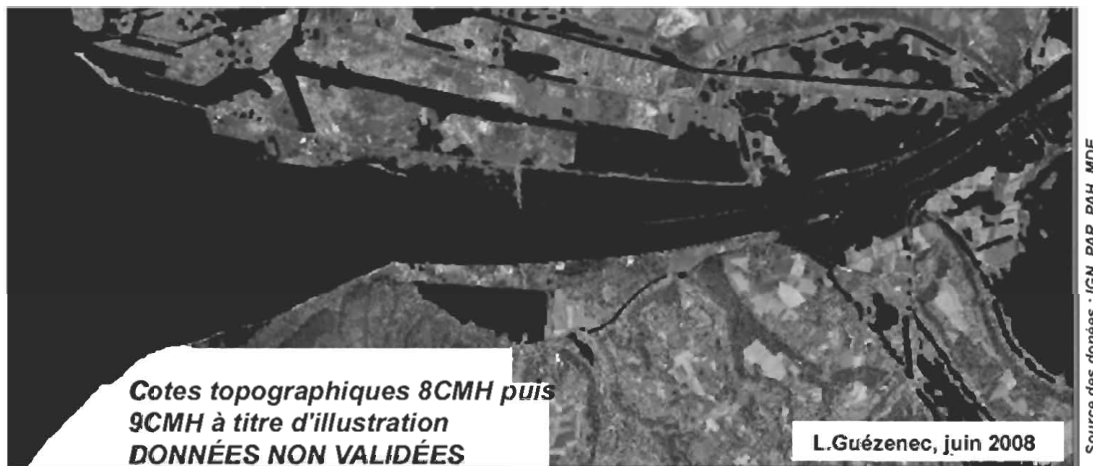


Fig. 21 Image de l'estuaire de Seine dans le cas de figure du passage de la cote 8 CMH (niveau moyen de pleine mer de vive eau) à la cote 9 CMH (selon les données de P. Pirazzoli, 64)

### 3.6 Impact du changement climatique sur la qualité de l'eau de la Seine

Enfin, concernant la qualité de l'eau, les travaux du GICC-Seine, indiquent que les principaux impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau résulteraient du réchauffement de l'eau (la température de l'eau étant elle-même liée à la température de l'air), qui joue sur la cinétique des différents processus biogéochimiques, et que les effets des changements de débit, qui agissent sur la dilution, la sédimentation et les temps de rétention, seraient moindres.

## 4. Conclusion

La synthèse de ce projet a mis en avant que, si à l'échelle du globe, les travaux de l'IPCC/GIEC (29, 30) permettent d'avoir une vision relativement synthétique du réchauffement climatique et de ses effets ; en revanche, à des échelles plus restreintes, comme celle des hydrosystèmes régionaux, il devient très difficile d'avoir une vue exhaustive. Dans les études, de l'échelle globale à l'échelle régionale, les paramètres climatiques les plus analysés sont respectivement la température atmosphérique et les précipitations. Les paramètres hydrologiques les plus étudiés sont le débit et les niveaux et stocks d'eau, comprenant notamment

le niveau de la mer et celui des nappes souterraines...

En ce qui concerne la relation entre le changement climatique et la modification de la qualité de l'eau, bien qu'il existe des études sur ce thème, il est très difficile d'avoir une vision synthétique pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment. De plus, ceci est également lié à la disponibilité des données et à la durée d'enregistrement qui doit être généralement au minimum de 30 ans afin de pouvoir réaliser des analyses fiables de la relation entre les fluctuations climatiques et la variabilité hydrologique.

Les différentes études synthétisées dans ce projet ont mis en avant que, même si les effets du changement climatique peuvent être perçus de manière diverse suivant les régions du monde ou même selon la nature des outils utilisés, celles-ci sont en accord : 1) sur le principe même de l'existence de ce changement (observable dans l'augmentation de la température, mais également des précipitations), 2) sur les conséquences potentiellement importantes du changement climatique sur le fonctionnement des hydrosystèmes et de leurs ressources en eau. Ceci s'observe d'ores et déjà, et de grandes tendances significatives peuvent déjà être déduites et sont aussi produites par modélisation sur l'évolution des stocks d'eau, du débit et de la température de l'eau.



A l'échelle de la Seine, plusieurs scénarios d'évolution des paramètres hydroclimatiques à l'horizon 2100 peuvent être proposés,

- élévation de la température atmosphérique de +2 à +4°C,- diminution des précipitations moyennes annuelles de -12% en moyenne,débit moyen annuel de la Seine de -26 % en moyenne (-16 à -36%),
- diminution de la recharge des aquifères de -2700 Mm<sup>3</sup>/a. En ce qui concerne les projections sur l'élévation du niveau marin, 3 hypothèses peuvent être retenues :

- Valeur minimale à partir de la tendance observée dans les mesures : +18 à +27 cm,

- Valeur haute du GIEC/IPCC : +60 cm,

- Valeur haute du GIEC/IPCC + Surcote : +1 m.

### Références Bibliographiques

- (1) Anctil, F., Coulibaly, P., 2004. Wavelet Analysis of the Interannual Variability in Southern Québec Streamflow. *Journal of Climate*, 17: 163-173.
- (2) André J.C., Royer J.F., 1999. Les fluctuations à court terme du climat et l'interprétation des observations récentes en terme d'effet de serre. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 328, 261-272.
- (3) Andreo B., Jiménez P., Duran J.J., Carrasco F., Vadillo I., Mangin A., 2006. Climatic and hydrological variations during the last 117–166 years in the south of the Iberian Peninsula, from spectral and correlation analyses and continuous wavelet analyses. *Journal of Hydrology* 324, 24-39.
- (4) Archer, D.R., Fowler, H.J., 2008. Using meteorological data to forecast seasonal runoff on the River Jhelum, Pakistan. *Journal of Hydrology* 361, 10– 23.
- (5) Arnell, N.W., 1996. *Global warming, river flows and water resources*. Wiley, Chichester.
- (6) Arnell, N.W., 1999. *The impacts of climate change on water resources*. Meteorological Office, Climate change and its impacts. Hadley Centre, Bracknell.
- (7) Arnell, N.W., Liu, C., Compagnucci, R., da Cunha, L., Hanaki, K., Howe, C., Mailu, G., Shiklomanov, I., Stakhiv, E., 2001. Hydrology and water resources. In: McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (Eds.), *IPCC Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability, The Third Assessment Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 1000. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 133–191 (1000 pages).
- (8) Barthelet P., Bony S., Braconnot P., Braun A., Cariolle D., Cohen-solal E., Dufresne J.-L., Delecluse P., Dequk M., Fairhead L., Filiberti M.-A., Forichon M., Grandpeix J.-Y., Guilyardi E., Houssais M.N., Imbard M., Le Treut H., Levy C., Li Z.X., Madec C., Marquet P., Marti O., Planton S., Terray L., Thual O., Valcke S., 1998. Global coupled simulations of climate change due to increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 326, serie Ila,677-684.
- (9) Bower D., Hannah D.M., McGregor G.R., 2004. Techniques for assessing the climatic sensitivity of river flow regimes, *Hydrological Processes*,18, 2515-2543.
- (10) Bower D., McGregor G.R., Hannah D.M., Sheridan S.C., 2007. Development of a Spatial Synoptic Classification Scheme for Western Europe, *International Journal of Climatology*, 27, 2017-2040 DOI:10.1002/joc.1501.
- (11) Cazenave A., 2008 - L'eau en questions : une mesure spatiale de la ressource. Forums régionaux du savoir, Hôtel de Région Haute-Normandie, 4 décembre 2008.
- (12) Chahine, M.T., Haskins, R., Fetzer, E., 1997. Observation of the recycling rate of moisture in the atmosphere: 1988-1994. *GEWEX News (WRCP)*, 7,4,1-4.
- (13) Christensen, O.B., Christensen, J.H., 2004. Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change* 44, 107–117.
- (14) Cullen HM, De Menocal PB., 2000. North Atlantic influence on Tigris–Euphrates streamflow. *International Journal of Climatology* 20: 853–863.
- (15) Cullen HM, Kaplan A, Arkin PA, DeMenocal PB., 2002. Impact of the North Atlantic oscillation on the Middle Eastern climate andnStreamflow. *Climatic Change* 55: 315–338.
- (16) Déqué M., Marquet P., Jones R.G., 1998. Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Clim. Dynam.*, 14, 173-1 89.
- (17) DelGenio, A.D., Lacis, A.A., Ruedy, R.A., 1991. Simulations of the effect of a warmer climate on atmospheric humidity. *Nature* 351, 382–385.

- (18) Ducharme A, Habets F, Déqué M, Evaux L, Hachour A, Lepaillier A, Lepelletier T, Martin E, Oudin L, Pagé C, Ribstein P, Sauquet E, Thiéry D, Terray L, Viennot P, Boé J, Bourqui M, Crespi O, Gascoin S, Rieu J, 2009 - Rapport final du Projet RExHySS : Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme. [www.sisyphe.jussieu.fr](http://www.sisyphe.jussieu.fr), 62 p.
- (19) Dupuis, H., Michel, D., Sottolichio, A., 2006. Wave climate evolution in the Bay of Biscay over two decades. *Journal of Marine Systems* 63, 105–114.
- (20) Eckhardt, K., Ulbrich, U., 2003. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology* 284, 244–252.
- (21) Francis, D., Hengeveld, H., 1998. Extreme weather and climate change. Environment Canada, Downsview, Ontario.
- (22) Forland, E.J., Alexandersson, H., Drebs, A., Hamssen-Bauer, I., Vedin, H., Tveito, O.E., 1998. Trends in maximum 1-day precipitation in the Nordic region. DNMI report 14/98, Klima, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, pp. 1–55.
- (23) Held, I.M., Soden, B.J., 2000. Water vapor feedback and global warming. *Annu. Rev. Energy Environ.* 25, 441–475.
- (24) Hennessy, K.J., Gregory, J.M., Mitchell, J.F.B., 1997. Changes in daily precipitation under enhanced greenhouse conditions. *Climate Dynamics* 13, 667–680.
- (25) Herrmann, A., 2004. Runoff formation in mountainous environments and possible effects of global warming. In: *Studies in mountain hydrology* (Eds: Herrmann, A. and Schröder, U.), IHP/HWRP Berichte 2, Koblenz.
- (26) Houghton J.T., Meiro Filho L.G., Callander B. A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (bds), 1996. *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*, Cambridge.
- (27) Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.C., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A., 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- (28) Hulme M., 1992. A 1951-1980 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models, *Clim. Dynam.*, 7, 57-72.
- (29) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- (30) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Impacts, Adaptation & Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- (31) Iwashima, T., Yamamoto, R., 1993. A statistical analysis of the extreme events: long-term trend of heavy daily precipitation. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 71, 637–640.
- (32) Jyrkama, M.I., Sykes, J.F., 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology* 338, 237–250.
- (33) Jones, P.D., Reid, P.A., 2001. Assessing future changes in extreme precipitation over Britain using regional climate model integrations. *International Journal of Climatology* 21, 1337–1356.
- (34) Karl, T.R., Knight, R.W., 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79, 1413–1449.
- (35) Kunkel, K.E., 2003. North American trends in extreme precipitation. *Natural Hazards* 29, 291–305.
- (36) Labat, D., Goddérès, Y., Probst, J.L., Guyot, J. L., 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources* 27, 631–642.
- (37) Labat, D., 2008. Wavelet analysis of the annual discharge records of the world's largest rivers. *Advances in Water Resources* 31, 109–117.
- (38) Laignel B., Massei N., A. Rossi, J Mesquita, S. Slimani, 2008. Some examples of water resources variability in the context of climatic fluctuations (poster). AGU, San Francisco 2008.
- (39) Laignel B., Massei N., Rossi A., Mesquita J., Slimani S., 2010 - Water resources variability in the context of climatic fluctuations on both sides of the Atlantic Ocean. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources*. Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). IAHS Publ. 340.
- (40) Ledoux E, Girard G, de Marsily G, Villeneuve JP, Deschenes J., 1989. Spatially distributed modeling: conceptual approach, coupling surface water and groundwater. In: Morel-Seytoux HJ, editor. *Unsaturated flow in hydrologic modeling—theory and practice*. NATO ASI Ser. CNorwell, Massachusset: Kluwer Academic, 435–54.

- (41) Legesse, D., Vallet-Coulomb, C., Gasse, F., 2003. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia. *Journal of Hydrology* 275, 67–85.
- (42) Liepert, J., Roeckner, E., Lohmann, U., Liepert, B.G., 2004. Aerosols dampen the water cycle in a warmer and moister world. *Geophys. Res. Lett.* 31. doi:10.1029/2003GL0190660.
- (43) Liu, B., Yang, D., Ye, B., Berezovskaya, S., 2005. Long-term open-water season stream temperature variations and changes over Lena River Basin in Siberia. *Global and Planetary Change* 48, 96–111.
- (44) Loaciga, H.A., Valdes, J.B., Vogel, R., Garvey, J., Schwarz, H., 1996. Global warming and the hydrologic cycle. *J. Hydrol.* 174, 83–127.
- (45) Lonsdale, K.G., Downing, T.E., Nicholls, R.J., Parker, D., Vafeidis, A.T., Dawson, R., Hall, J., 2008. Plausible responses to the threat of rapid sea-level rise in the Thames Estuary. *Climatic Change* 91, 145–169.
- (46) MacGuffie, K., Henderson-Sellers, A., Holbrook, N., Kothavola, Z., Balachova, O., Hoekstra, J., 1999. Assessing simulations of daily temperature and precipitation variability with global climate models for present and enhanced greenhouse climates. *International Journal of Climatology* 19, 1–26.
- (47) MacKenzie, B.R., Schiedek, D., 2007. Long-term sea surface temperature baselines—time series, spatial covariation and implications for biological processes. *Journal of Marine Systems* 68, 405–420.
- (48) Manabe, S., Wetherald, R.T., Milly, P.C.D., Delworth, T.L., Stouffer, R.J., 2004. Century-scale change in water availability: CO<sub>2</sub>-quadrupling experiment. *Climatic Change* 64, 59–76.
- (49) Mann, H.B., 1945. Non-parametric test against trend, *Econometrica*, 13, 245–259.
- (50) Massei, N., Durand, A., Deloffre, J., Dupont, J. P., Valdès, D., Laignel, B., 2007. Investigating possible links between the North Atlantic Oscillation and rainfall variability in northwestern France over the past 35 years. *Journal of Geophysical research* 112.
- (51) Massei, N., Laignel, B., Deloffre, J., Mesquita, J., Motelay, A., Lafite, R. & Durand, A., 2009. Long-term hydrological changes of the Seine river flow (France) and their relation to the North-Atlantic Oscillation over the period 1950–2008. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2022.
- (52) Masson, S.J., Waylen, P.R., Mimmack, G.M., Rajaratnam, B., Harrison, J.M., 1999. Changes in extreme rainfall events in South Africa. *Climatic Change* 41, 249–257.
- (53) Mesquita, J., 2009. Facteurs de contrôle des modalités de la réponse hydrologique des bassins versant en substrat carbonaté : comparaisons entre la Haute Normandie et la région d’Austin au Texas. *Hydrologie. Thèse Doctorat, Univ. Caen*, 179 p.
- (54) Milly, P.C.D., Wetherald, T.T., Dunne, K.A., Delworth, T.L., 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415, 514–517.
- (55) Moatar, F., Meybeck, M., 2005. Compared performances of different algorithms for estimating annual nutrient loads discharged by the eutrophic River Loire. *Hydrological Processes*, 19(2): 429–444.
- (56) Moisselin J.M., Schneider M., Canellas C., Mestre O., 2002. Les changements climatiques en France au 20<sup>ème</sup> siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, n°38, août 2002, 45–56.
- (57) New, M., Todd, M., Hulme, M., Jones, P., 2001. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology* 21, 1899–1922.
- (58) Olsthoorn, X., van der Werff, P., Bouwer, L.M., Huitema, D., 2008. Neo-Atlantis: The Netherlands under a 5-m sea level rise. *Climatic Change* 91, 103–122.
- (59) Oltchev, A. Cermak, J., Gurtz, J., Tishenko, A., Kiely, G., Nadezhdina, N., Zappa, M., Lebedeva, N., Vitvar, T., Albertson, J.D., Tatarinov, F., Tishenko, D., Nadezhdin, V., Kozlov, B., Ibrom, A., Vygodskaya, N., Gravenhorst, G., 2002. The response of the water fluxes of the boreal forest region at the Volga’s source area to climatic and land-use changes. *Physics and Chemistry of the Earth* 27, 675–690.
- (60) Onuchin, A., Baltzer, H., Borisova, H. and Blyth, E., 2006. Climatic and geographic patterns of river runoff formation in Northern Eurasia. *Advances in Water Resources*, 29(9): 1314–1327.
- (61) Osborn, T.J., Hulme, M., Jones, P.D., Basnett, T. A., 2000. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *International Journal of Climatology* 20, 347–364.
- (62) Palmer, T.N., Räisänen, J., 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature* 415, 512–514.



- (63) Pekárová, P., Koníček, A., Miklánek, P., 2005. Influence of landuse on runoff regime in experimental microcatchments of the Institute of Hydrology SAS. Veda, Bratislava, ISBN 80-224-0865-4, 216 pp.
- (64) Pirazzoli P.A., 2008. Evolution et projections du niveau moyen des mers et des phénomènes de surcotes: les hypothèses pour analyser les effets sur l'estuaire de la Seine et le littoral. Séminaire de lancement de l'expertise collective sur le changement climatique, GIP Seine Aval, juin 2008, Maison de l'Université de Rouen, <http://seine-aval.crihan.fr>.
- (65) Planton, S., Déqué, M., Douville, H., Spagnoli, B., 2005. Impact du réchauffement climatique sur le cycle hydrologique. C.R.Geoscience 337, 193–202.
- (66) Poumadère, M., Mays, C., Pfeifle, G., Vafeidis, A.T., 2008. Worst case scenario as stakeholder decision support: a 5- to 6-m sea level rise in the Rhone delta, France. Climatic Change 91, 123–143.
- (67) Pozo-Va'zquez, D., Esteban-Parra, M.J., Rodrigo, F.S., Castro Dí'ez, Y., 2000. An analysis of the variability of the North Atlantic Oscillation in the time and the frequency domains. International Journal of Climatological 20, 1675–1692.
- (68) Ramanathan, V., Krutzen, P.J., Kiehl, J.T., Rosenfeld, D., 2001. Aerosols, climate, and the hydrologic cycle. Science 294, 2119–2124.
- (69) Rimbu, N., Boroneant, C., Buta, C., Dima, H., 2002. Decadal variability of the Danube river flow in the lower basin and its relation with the North Atlantic Oscillation. Int. J. Climatol. 22:1169–1179.
- (70) Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Pozo-Va'zquez, D., Castro Dí'ez, Y., 2000. Rainfall variability in S Spain on decadal to centennial time scales. International Journal of Climatological 20, 721–732.
- (71) Slimani, S., 2009. Les fonctionnements hydrologiques de l'aquifère karstifié de la Craie de Haute-Normandie: conséquences des contextes morphologiques et structuraux. Thèse Doctorant, Univ. Rouen, 261 p.
- (72) Stanev EV, Peneva EL., 2002. Regional sea level response to global climatic change: Black Sea examples. Global and Planetary Changes 32: 33–47.
- (73) Sumner, G.N., Romero, R., Homar, V., Ramis, C., Alonso, S., Zorita, E., 2003. An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century. Climate Dynamics 20, 789–805.
- (74) Suppiah, R., Hennessy, K.J., 1998. Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia. International Journal of Climatology 18, 1141–1164.
- (75) Trenberth, K.E., 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. Climatic Change 42, 327–339.
- (76) Uhlenbrook, S., Hoeg, S., 2003. Quantifying uncertainties in tracer-based hydrograph separations: a case study for two-, three- and five-component hydrograph separations in a mountainous catchment. Hydrol. Processes, 17, 431-453.
- (77) Werritty, A., 2002. Living with uncertainty: climate change, river flows and water resource management in Scotland. The Science of the Total Environment 294, 29–40.
- (78) Wetherald, R.T., Manabe, S., 2002. Simulation of hydrologic changes associated with global warming. Journal of Geophysical Research 107, D19.
- (79) Wild, M., Ohmura, A., Gilgen, H., Rosenfeld, D., 2004. On the consistency of trends in radiation and temperature record and implications for the global hydrologic cycle. Geophys. Res. Lett. 31, L11201 doi: 10.11029/2003L091188.
- (80) Zwiers, F.W., Kharin, V.V., 1998. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO2 doubling. Journal of Climate 11, 2200–2222.

## Analysis of 04 years (2002-2005) of laser data on Starlette, Stella and LAGEOS-I/II satellites for stations coordinates and Earth Orientation Parameters (EOP)

B. GOURINE

Centre des Techniques Spatiales, Division de Géodésie Spatiale.  
BP 13 , 31200, Arzew – Algérie. Tél. +213 41 472217, Fax. +213 41 473665  
Email: bachourgourine@yahoo.com

**ملخص :** يتمحور هذا المقال على حساب إحداثيات محطات ليزر و معايير دوران الأرض EOP، المرتكزة على مقاييس السواتل ذات ارتفاع منخفض مثل: ستارلت (STA) و ستيللا (STL). تعتبر مدارات هذه السواتل أقل دقة من سواتل لاقوس (عادة ما تستعمل في الحساب الدقيق) لأنها أكثر تأثراً بقوى الجاذبية و الغير الجاذبية. الهدف منها هو تحقيق أفضل جودة في المنتوجات الجيوديزية من خلال الربط بين السواتل لمعطيات ستارلت و ستيللا سويا إلى معطيات لاقوس-I (LA1)، و لاقوس-II (LA2). نقوم بحساب المدار من خلال برنامج GINS (GRGS / فرنسا). تتم معالجة مقاييس الليزر بواسطة برنامج MATLO (OCA, IGN / فرنسا) مع الأخذ بعين الاعتبار استعمال نموذج حقل الجاذبية (Eigen-Grace-03s) للسواتل GRACE في مدة أربع سنوات (ما بين جانفي 2002 و ديسمبر 2005).

تعرض النتائج فيما يخص السلاسل الزمنية على العلامة المرجعية ITRF 2000، من خلال برنامج CATREF (IGN / فرنسا)، أين يتم التحصل على معايير التحول Helmert. و قد قمنا بمقارنة حلين : LA2+LA1 (LL) و STA+STL+LA2+LA1 (LLSS) في شكل جودة السلاسل الزمنية للمواقع المتبقية للمحطات، لتغيرات EOP و الجيومركز. تبين النتائج أن المعطيات المتحصلة عليها من خلال السواتل ذات ارتفاع منخفض مثل ستارلت و ستيللا، يمكن استعمالها بنجاح للتحديد الدقيق للمنتوجات الجيوديزية الليزرية.

**الكلمات الأساسية :** تلمترية الليزر على الساتل (SLR)، ستارلت، ستيللا، لاقوس-I/II، LEO، EOP، جيومركزية.

**Résumé :** Le présent article porte sur le calcul des coordonnées des stations Laser et des paramètres de rotation de la Terre (Earth Orientation Parameters : EOP), basé sur les mesures des satellites à basse attitude, tels que Starlette (STA) et Stella (STL). Les orbites de ces satellites sont moins précises que celles des satellites LAGEOS (usuellement utilisés pour un calcul précis), car ils sont plus affectés par les forces gravitationnelles et non-gravitationnelles. L'objectif est d'atteindre une bonne qualité sur les produits géodésiques par une combinaison inter-satellitaire des données des satellites Starlette et

Stella conjointement à celles de LAGEOS-I (LA1) et LAGEOS-II (LA2). Le calcul d'orbite de ces satellites est effectué par le logiciel GINS (GRGS / France), le traitement des mesures Laser est réalisé par le logiciel MATLO (IGN, OCA/France), en considérant l'utilisation du modèle du champ de gravité (Eigen\_Grace-03s) du satellite GRACE, sur une période de 04 ans (entre Janvier 2002 et Décembre 2005). Les résultats en termes de séries temporelles sont projetés sur le repère de référence ITRF2000, par le logiciel CATREF (IGN/France), où les paramètres de transformation d'Helmert sont obtenus. Deux solutions ont été comparées: LA1+LA2 (LL) et LA1+LA2+STL+STA (LLSS), en termes de qualité des séries temporelles des positions résiduelles des stations, des variations des EOP et du Géocentre. Les résultats montrent que les données obtenues à partir des satellites à basse altitude tels que Starlette et Stella peuvent être utilisées avec succès dans la détermination précise des produits géodésiques Laser.

**Mots clés :** Télémétrie Laser sur Satellite (SLR), Starlette, Stella, LAGEOS-I-II, LEO, EOP, Géocentre.

**Abstract :** The present paper deals with the computation of Laser stations coordinates and Earth Orientation Parameters (EOP) based on measurements of low Earth orbit (LEO) satellites, namely Starlette (STA) and Stella (STL). The orbits of these satellites are less accurate than those of the LAGEOS satellites (usually used for an accurate calculation), because they are more affected by gravitational and non-gravitational forces. The objective is to achieve a good quality on the geodetic products by inter-satellite combination of Low and High satellites data. The orbit computation of the different satellites is performed by the GINS software (GRGS/France) and the laser data processing is carried out by the MATLO software (IGN, OCA/France), considering the use of gravity field model (Eigen\_Grace-03s) of GRACE satellite, over a period of 04 years (between January 2002 and December 2005). The results in terms of time series are projected onto the reference frame ITRF2000 by the CATREF software (IGN/France), where the

Helmert transformation parameters are obtained. Two solutions were compared: LA1 + LA2 (LL) and LA1 + LA2 + STL + STA (LLSS), in terms of quality time series of residual positions of stations, EOP and Geocentre variations. The results show that the data obtained from LEO satellites such as Starlette and Stella can be successfully used in the accurate determination of Laser geodetic products.

**Key words :** Satellite Laser Ranging (SLR), Starlette, Stella, LAGEOS-I/-II, LEO, EOP, Geocentre.

## 1. Introduction

Satellite Laser Ranging (SLR) is one of the main techniques of the determination of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF). It contributes to the frame determination by providing time series of laser stations coordinates and Earth Orientation Parameters (EOPs). The laser observations of LAGEOS-I (LA1) and LAGEOS-II (LA2) are generally used for such determination. However, what is the contribution in this determination of other satellites like Low Earth Orbit (LEO) ones?

The twins Starlette (STA) and Stella (STL) satellites, orbiting at 800 km altitude, were launched by the CNES, on 1975 and 1993, respectively. The main tasks of these LEO satellites are the determination of Earth's gravity field coefficients, Earth rotation parameters, and investigation of Earth and ocean tides. So, the computation of the laser ranging stations coordinates on the basis of other data than LAGEOS-I/-II (orbiting at 6000 km altitude) observations is desirable for the following reasons: (1) significantly increases the number of observations used for determination of the stations coordinates and EOPs, (2) verification of results obtained from the LAGEOS-I/-II data, (3) determination of station coordinates that cannot range to LAGEOS satellites.

Interesting results of the stations coordinates determination were obtained for LEO satellite for short period of 01 year only [Lejba et al., 2008] & [Lejba et al., 2007]. The objective of our study is to check if the laser ranging observations of Starlette and Stella can be used for a precise determination of the laser ranging station coordinates and EOP, and to investigate the contribution of these LEO data for the geodynamic study of the stations behaviour, pole and Geocentre motions.

So, the work concerns the computation of a laser network, composed of 34 stations, based on both LAGEOS satellites measurements with those of Starlette and Stella over 04 years period (between January 2002 and December 2005), according to two data combination solutions, namely LA1+LA2 (LL) and LA1+LA2+STL+STA (LLSS).

The methodology adopted, in this work, comprises the following steps :

a. The orbit restitution of different tracked satellites is performed by the GINS (Géodésie par Intégration Numérique Simultanée, Geodesy by Simultaneous Numerical Integration, in English) software (GRGS/France), based on purely dynamical approach, see section 2.

b. The estimation of stations coordinates updates and of EOPs residuals is performed using the MATLO (MATHématiques pour la Localisation et l'Orbitographie, MAThematics for Localization and Orbitography, in English) software (OCA & IGN, France) [Coulot, 2005]. This estimation provides weekly time series of stations positions and daily time series of EOPs. In order to express these parameters in same reference frame, the parameters of transformation were computed using CATREF (Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames) software (IGN/France).

c. The analysis of SLR geodetic products time series based on (i) frequency analysis by FAMOUS (Frequency Analysis Mapping On Unusual Sampling) software (OCA/France) [Mignard, 2005], and (ii) noise estimation (type and level noise) by Allan variance method [Feissel-Vermier, 2007]. This analysis permits to study the geophysical behaviour of the stations positions, the Geocentre variations and the pole motion.

Finally, the preliminary results of 04 years combined SLR data analysis are presented and discussed in section 3.

## 2. Laser Data Processing

### 2.1 Orbit computation

The orbit restitution of different satellites used (LAGEOS-I, LAGEOS-II, Starlette and Stella) is performed with the GINS software, from a subset of SLR fixed stations well distributed on the Earth as reference frame for the orbitography. The dynamical models used for the orbit computations and for the stations positions and Earth Orientation Parameters (EOPs) determination, are described in table (1).



Table 1. Some of dynamical models used for the orbit computations.

Model	Description
<u>For Orbit:</u>	
Earth's gravity field	GRIM5_C1 (for LAGEOS-I/-II) EIGEN_GRACE03S (for Starlette & Stella)
Ocean tides	FES2002
Atmospheric pressure	ECMWF, <a href="http://www.ecmwf.int/">http://www.ecmwf.int/</a>
Solar radiation (Flux)	ACSOL2
Atmospheric density	DTM94
Planets	DE403
<u>For Station's position :</u>	
Terrestrial reference frame	ITRF2000
Celestial reference frame	ICRF
Atmospheric tides	ECMWF
Oceanic loading	LOAD_FES2002
Solid Earth tides	Model in [McCarthy and Petit, 2004]
Solid Earth pole tide	Model in [McCarthy and Petit, 2004]
<u>For EOP :</u>	
Pole	EOPC04 [Gambis, 2004]
Quasi-diurnal variations	Model in [McCarthy and Petit, 2004]
Precession	Model in [Lieske et al., 1977]
Nutation	Model in [McCarthy, 1996]

The quality of the positioning is directly linked to the accuracy of the orbits used (in addition to the data accuracy itself). For this reason high altitude geodetic satellites (LAGEOS-1 and LAGEOS-2) are used primarily by geodesists for SLR network computation (EOPs and stations coordinates). Indeed, these satellites have the advantage of being less sensitive to remaining uncertainties in the dynamical models than low altitude satellites like Starlette and Stella. It concerns gravitational and non gravitational effects. But since few years, global Earth gravity field models have greatly improved the accuracy of their coefficients notably thanks to the GRACE mission [Reigber et al., 2005]. As a consequence, empirical coefficients can be estimated along the orbit with more consistency than before; their role is to compensate part of the unknown non gravitational forces (constant and periodic). In this fact, we have used Eigen-Grace03s gravity field model for Starlette and Stella [Gourine et al., 2008].

## 2.2 Network and EOP computation

The processing of SLR stations coordinates and EOP parameters was carried out by MATLO software. It comprises two main steps. The first relates to the use of the loose constraints for the resolution of the weekly normal equations systems of the network

which are initially singulars due the rank defect corresponding to three rotations, in case of the Laser ranging technique. For this reason, we have applied loose constraints of about  $\pm 1$  m for stations positions and  $\pm 1$  cm for range bias per station and per satellite. The results obtained are in terms of times series of weekly coordinate updates and daily Pole parameters updates which are considered as individual solutions. Each solution generates its proper terrestrial reference frame. The second step consists in applying minimal constraints on these solutions obtained from MATLO software and to project the individual solutions according to a combined and homogeneous terrestrial reference frame using CATREF software. This projection permits to obtain the seven parameters transformation (3 translations, 3 rotations and 1 scale factor) between the individual solutions and the combined one.

The processing results, illustrated hereafter, are expressed according to :

- parameters of transformation (translations, rotations and scale factor / ITRF2000);
- variations of pole coordinate ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) and of Length Of Day (LOD) / EOPC04;
- topocentric coordinate ( $N$ ,  $E$ ,  $U$ ) updates of some laser tracking stations.

### 3. Results Analysis

Table (2) shows that the orbits of the high satellites (LAGEOS-I/-II) have a better accuracy than those of the low satellites (Stella and Starlette), because they are less perturbed. This phenomenon is related to the difficulty of an accurate modelling of the physical forces, to which the satellites of low altitudes are more subjected.

**Table 2.** Length of arcs and weighted RMS of orbital arcs residuals

Satellite	Length of the arc ( <i>days</i> )	WRMS ( <i>mm</i> )
LAGEOS-1	7	11.1
LAGEOS-2	7	9.5
Starlette	3.5	16.1
Stella	3.5	15.5

The SLR time series of positions expressed in the local coordinates (NEH); from the LL and LLSS combinations; are projected on ITRF2000 reference system. The results revealed that these series are statistically equivalent, according to table (3).

The addition of the low satellites to the high satellites did not deteriorate the results quality, in particular for the estimation of Earth orientation and transformation parameters see table (4). In spite of the inaccuracy of the low satellites orbits (Starlette and Stella) due to the effects of the non-gravitational forces as well as the gravity field, it is now able to use them in complementary with the LAGEOS orbits; for two reasons : (a) The important quantity of the low satellites data which can contribute to well constraint the calculation of the ILRS network; (b) The good quality of the recent dynamical models (gravitational and non-gravitational) which allows an improvement of the low satellites orbits. Hereafter, we summarise some results in the following tables.

**Table 3.** Mean and weighted RMS of coordinates updates, expressed in topocentric coordinates (N, E, U), of 34 Laser stations

Combination	N ( <i>mm</i> )	E ( <i>mm</i> )	U ( <i>mm</i> )
LL	-20±35	21±23	-6±26
LLSS	-21±36	20±21	-5±28

**Table 4.** Statistics the pole coordinate updates ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) and the transformation parameters time series.

Solution	$X_p$ ( <i>mas</i> )	$Y_p$ ( <i>mas</i> )	$T_X$ ( <i>mm</i> )	$T_Y$ ( <i>mm</i> )	$T_Z$ ( <i>mm</i> )	$R_X$ ( <i>mas</i> )	$R_Y$ ( <i>mas</i> )	$R_Z$ ( <i>mas</i> )	$\Delta$ ( $10^{-9}$ )
LL	-0.12±0.32	0.30±0.32	-1±6	1±5	1±7	-0.13±0.41	0.01±0.36	-0.18±0.19	-0.37±1.03
LLSS	-0.10±0.30	0.33±0.32	0±6	1±5	1±7	-0.13±0.46	-0.01±0.49	-0.21±0.16	-0.31±0.93

#### 3.1 Pole motion

The figure (2) illustrates the time series residuals of pole coordinates ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) and of the Length of Day (LOD). These times series were processed, for LL and LLSS solutions, with respect to the standard solution EOPC04 of IERS, and expressed according to a coherent reference frame with ITRF2000. It shows that the two solutions are similar,

by consequence the contribution of the Starlette and Stella data do not perturb the determination of the EOP updates. In fact, according to the table 4, the values of pole coordinates and their RMS, according to LL and LLSS solutions are practically the same. In addition, the estimation of pole parameters is satisfactory for the SLR technique and the obtained values are coherent with published values of IERS [Gambis, 2004].

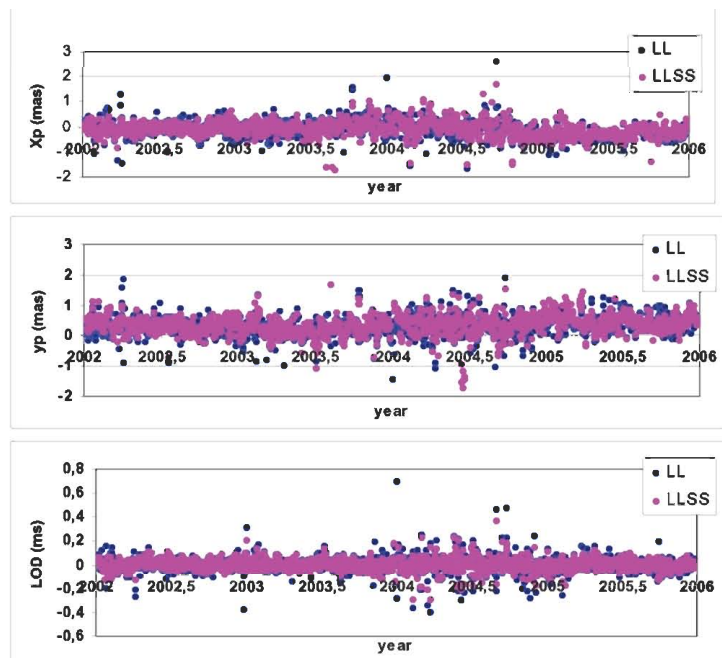


Fig. 2 Parameters of pole motion according to LL and LLSS combinations.

Table (5) shows the results of frequency analysis of pole time series, using FAMOUS software. The periodic signals are decomposed, with respect to three periods: inter-annual, annual and short periods (from few days to few months < 100 days). The choice of this decomposition is based on the periods of the geophysical phenomena causing the variations in the pole motion. These phenomena are mainly due to the redistribution of masses in the Earth, Oceans and Atmosphere [Frède, 1999],

and were taken in account in our computations. The amplitude values of pole coordinates, according to LL and LLSS combinations, are much closed, because the maximal difference does not exceed 22  $\mu\text{as}$  (i.e., 0.7 mm). In other hand, the amplitudes are small of about few mm. For the LOD, the average amplitude is around 10  $\mu\text{s}$  (i.e., 5mm). Generally, these values remain very small because they describe the residual signals of the geophysical phenomena.

**Table 5.** Periodic signals of the pole residual parameters.  
\* : corresponds to the semi-annual term.

Parameter	Term	LL	LLSS
Xp ( $\mu\text{as}$ )	Interannual	146.9	125.2
	Annual	81.7, 48.1*	54.0*
	Short period	43.7 – 68.3	48.5 – 61.0
Yp ( $\mu\text{as}$ )	Interannual	–	–
	Annual	–	69.8*
	Short period	42.7 – 54.6	50.9 – 72.3
LOD ( $\mu\text{s}$ )	Interannual	–	–
	Annual	12.6*	10.7, 10.0*
	Short period	9.1 – 10.0	6.7 – 8.9



The study of the noise, affecting the pole time series, has provided the level and the type of the noise. These two parameters are described in [Feissel-vernier, 2007] as, (i) the noise level is measured by Allan deviation for one year sampling time of the non-linear and non-seasonal time series (ii) the noise type is measured by slope of Allan graph, describing the log-log relationship of the the Allan variance of

the time series with the corresponding sampling time  $\tau$ . According to Figure (3), the dominant noise, for LL and LLSS solutions, is the flicker noise with a slope of the Allan diagram of -0.4 and -0.6, respectively. The noise level is of about 106 - 115  $\mu\text{as}$  or 3mm, for pole coordinates and it is around 11 and 16  $\mu\text{s}$  (6 and 8mm), for LOD, according to LL and LLSS, respectively.

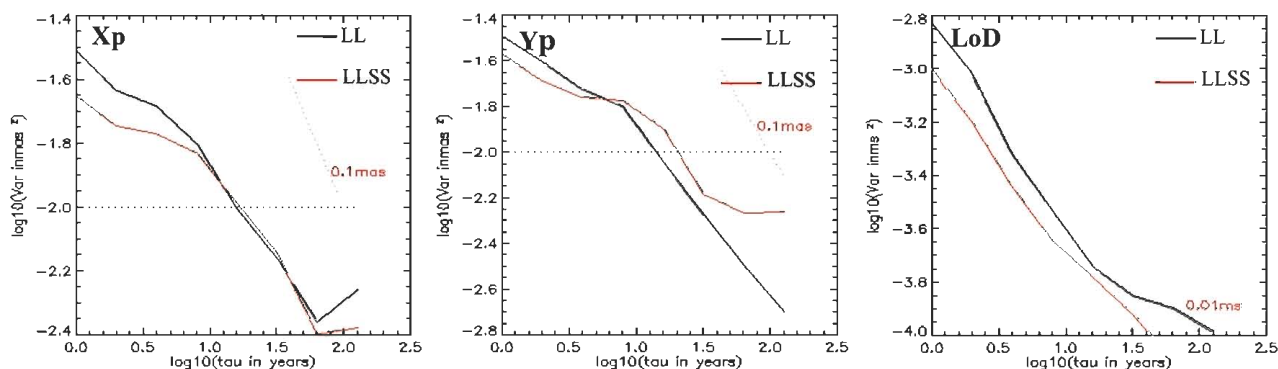


Fig. 3 Allan variance diagram of the pole parameters, according to LL and LLSS solutions.

### 3.2 Transformation parameters variations

Among the weekly transformation parameters computed between the terrestrial reference frames (TRFs) and the ITRF2000, the translation parameters have a particular importance. Indeed, they permit to highlight the Geocentre variations. This is a topic of crucial importance in the Earth deformation theory as well as in the definition and maintenance of the ITRF.

Figure (4) illustrates the time-series of weekly transformation parameters according to LL and

LLSS solutions. The RMS estimated on the components of Geocentre are about 5-7 mm.

Usually, the variations of the reference frame scale are affected by the determination errors of stations vertical coordinates [Coulot, 2005]. So, range biases and errors of the radial components due to the orbit residual errors affect also the scale variations. According to the table (4), the results about the scale factor are at the same level for the two solutions (LL and LLSS). The average RMS is about 6mm for both solutions.

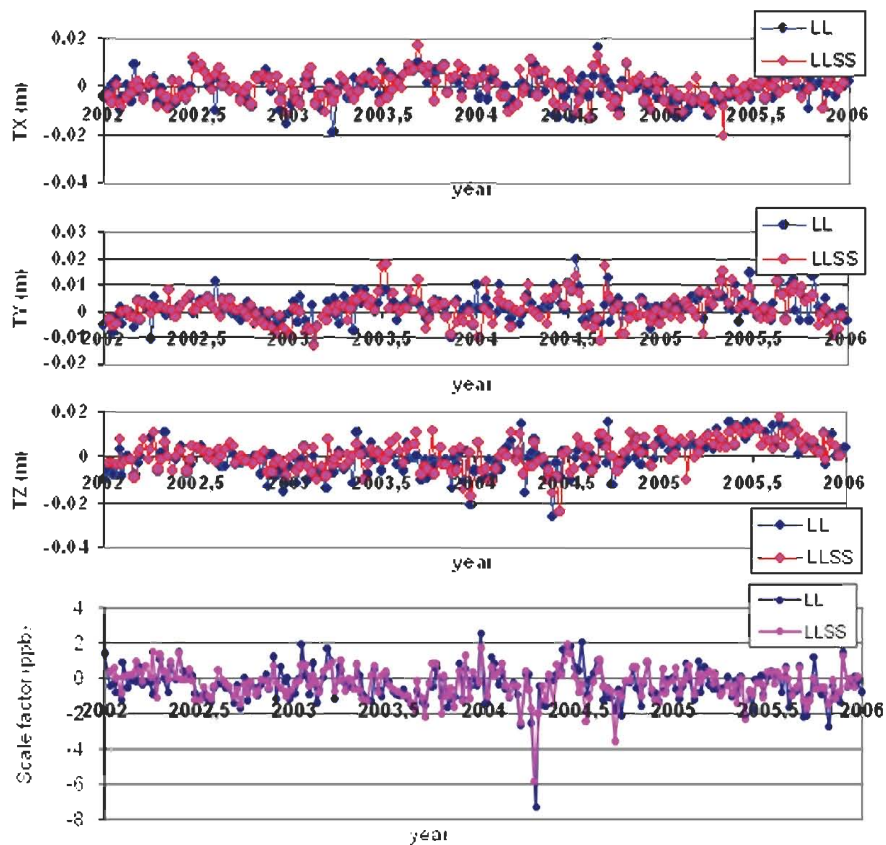


Fig. 4 Time series of translations and scale factor variations, according to LL and LLSS combinations.

The Geocentre variations are mainly due to the redistribution of masses in atmosphere, in oceans and also in hydrological reservoirs. In general, they present two principal periodic components: annual and semi-annual terms. Table (6) displays the values of amplitudes and phases of annual terms of our solutions, and of two geodynamic models of [Dong et al., 1997] and [Chen et al., 1999], computed taking

into account atmospheric pressure data, ocean tides and surface water data. We can observe equivalent amplitude values of TX and TZ, for the LL and LLSS solutions. There is coherence in amplitude between our solutions and geodynamical models, for TX and TY. However, a difference of about 1-2mm exists for TZ.

Table 6. Annual terms of the Geocentre variations components according to LL and LLSS combinations.

		LL	LLSS	Dong et al. 1997	Chen et al. 1999
TX	A	2.9 ± 0.8	2.6 ± 0.8	4.2	2.4
	φ	139 ± 15	131 ± 18	224	244
TY	A	2.3 ± 0.5	4.1 ± 0.6	3.2	2.0
	φ	168 ± 22	183 ± 16	339	270
TZ	A	2.3 ± 2.6	1.9 ± 2.1	3.5	4.1
	φ	246 ± 67	218 ± 71	235	228

The spectral behaviour of the Geocentre motion, described by Allan variance method, is illustrated by the figure (5).

The white noise is the dominant noise for the X and Y Geocentre components, with noise

level of about 1.8 mm (according to the LL and LLSS combination but it is about 2.3 mm for Y-component of LLSS solution). However, the Z-component is affected by a flicker noise at level of 2.8 mm.

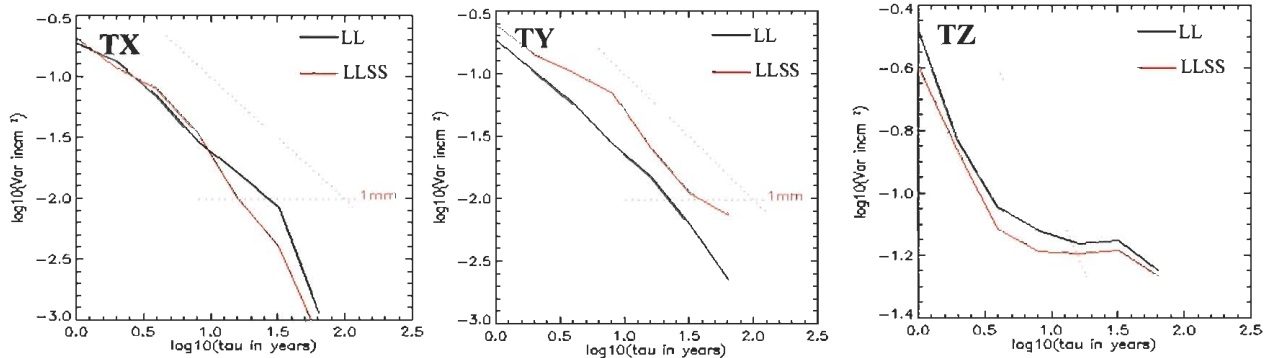


Fig. 5 Allan variance diagram of the Geocentre variations, according to LL and LLSS solutions.

### 3.4 Coordinate updates of SLR stations

Figure (6) shows the geographical distribution of the 34 SLR stations considered in this study.

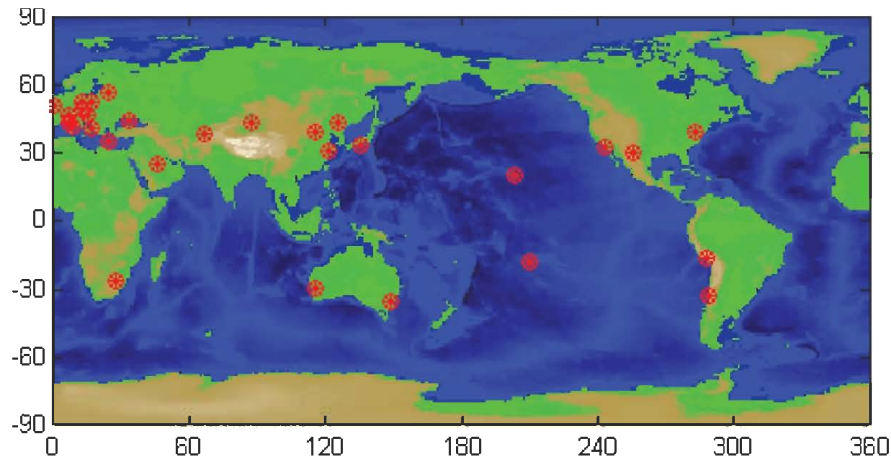


Fig. 6 SLR Network considered in this study.

The following figure shows the average RMS of topocentric coordinates (North, East and UP) of 34 SLR Stations over four years (2002-2005), according to the LL and LLSS combination solutions.



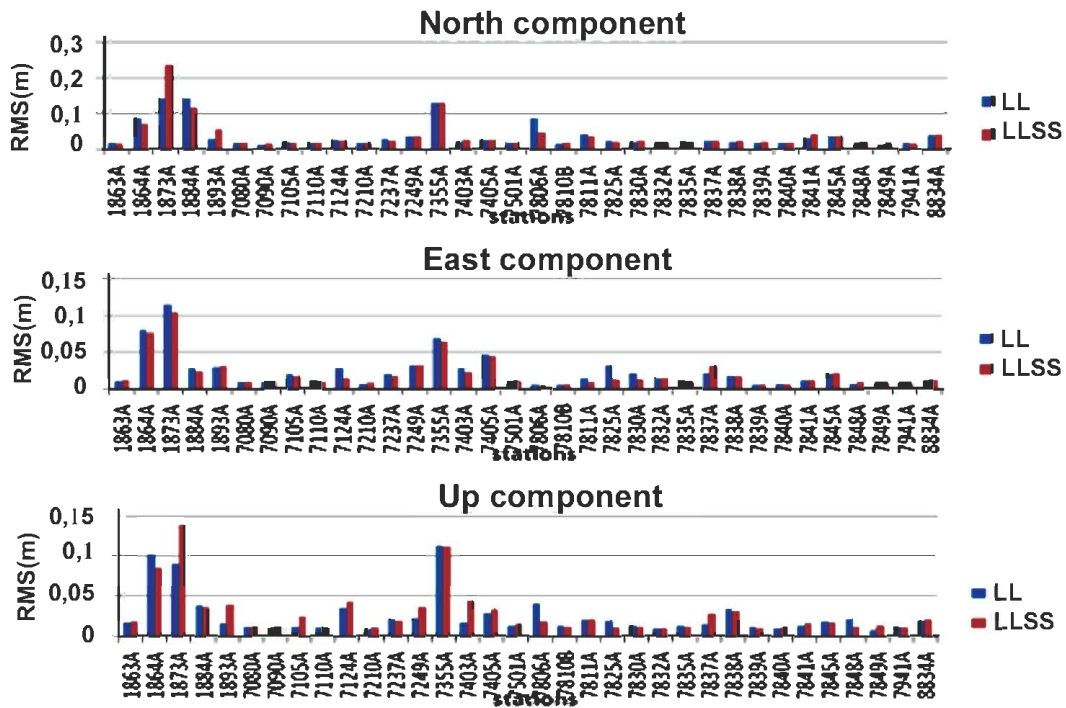


Fig. 7 RMS of topocentric coordinates of 34 SLR stations, according to LL and LLSS solutions.

The following figure shows an example of the position time series of two stations (7080-McDonald, USA) and (7090-Yarragadee, Australia).

These stations are among the best stations which provide good quality of observation results and large number of normal points.

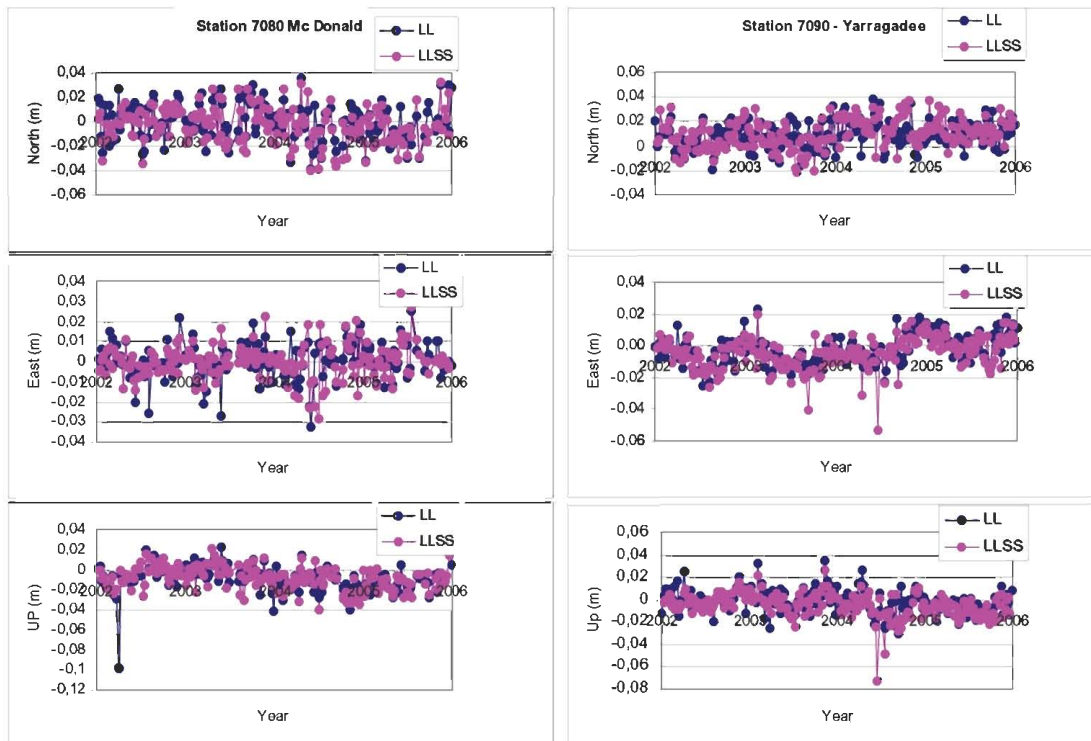


Fig. 8 Time series of McDonald (7080) and Yarragadee (7090) stations.

The interest of the time series of the stations coordinates calculated in a homogeneous reference frame is to enable us to highlight residual signals compared to the a priori signals used in modelling (geophysical signals). We focused on vertical component because it is important for the geodynamical studies since it holds amplitude 2/3 of signals acting on the station motion [Coulot, 2005]. In this context, one carried out a frequency analysis on vertical component series by FAMOUS software. Seasonal signals with amplitudes of about few mm were estimated. Since, the effects of ocean loading were considered in the model a priori of restitution, the signals detected are probably related to residual loading effects, which typically have amplitudes of mm level.

#### 4. Conclusion

This study showed that good quality on SLR geodetic products (stations coordinates, EOP, Geocentre) can be achieved by inter-satellite data combination of LEO satellite such as Starlette and Stella with high satellite as LAGEOS1 & LAGEOS2, thanks to use of good dynamical models as gravity field model (Eigen\_Grace03s). The positions of 35 stations are estimated with the same RMS of about 3cm, 2cm and 3cm, for local coordinates (N, E, U), respectively, considering the two solutions (LL and LLSS combinations). The analysis methodology, developed in this context, which is based on the frequency analysis by FAMOUS software and noise estimation by Allan variance method, revealed that for both solutions:

- The quality on EOP time series is the same and coherent with published values of IERS [Gambis, 2004]. Small amplitudes were estimated on pole coordinates updates ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) and LOD. The flicker noise is the characteristic noise of the EOP with level of about 3mm level for pole coordinates and 8 mm for LOD.

- The amplitudes of annual signals estimated on Geocentre variations are equivalents and are coherent with geodynamic models ones. The white noise is the dominant noise for the X and Y Geocentre components at level of about 2mm; however, the Z-component is affected by a flicker noise at level of 3mm.

It will be interesting, for extending this work, to consider more observations of LEO satellites (such as, Ajisai, TopexPoseidon, Jason-1&-2, with Starlette and Stella), during a long period.

#### Acknowledgements

The author thanks the Prof. Exertier and his research team (GMC/GEMINI/OCA) for their scientific and technical support and their help for the use of GINS, MATLO, FAMOUS and CATREF softwares.

#### Bibliographical References

- Chen, J. L., Wilson, C. R., Eanes, R. J. & Nerem, R. S., 1999: Geophysical interpretation of observed geocenter variations. *Journal of Geophysical Research*, 104(B2) : 2683-2690.
- Coulot, D., *Télémétrie laser sur satellites et combinaison de techniques géodésiques. Contributions aux systèmes de référence terrestres et applications*. PhD thesis (in French), Observatoire de Paris, 2005.
- Dong, D., Dickey, J. O., Chao, Y & Cheng, K., 1997: Geocenter variations caused by atmosphere, ocean and surface ground water. *Geophysical Research Letters*, 24(15) : 1867-1870.
- Feissel-Vernier, M., de Viron, O., Lebaill, K., 2007: Stability of VLBI, SLR, DORIS, and GPS positioning. *Earth Planets Space*, 59, 475-497.
- Frède, V., 1999: *Apport de l'analyse non linéaire à l'étude géophysique de la rotation de la Terre*. Thèse de doctorat, Observatoire de Paris, France.
- Gambis, D., 2004: Monitoring earth orientation using space-geodetic techniques: state-of-the-art and prospective. *Journal of Geodesy*, 78: 295-305.
- Gourine, B., S. Kahlouche, P. Exertier, Ph. Berio, D.Coulot, and P. Bonnefond, 2008: Corsica SLR positioning campaigns (2002 an 2005) for satellite altimeter calibration missions. *Marine Geodesy*, 31: 103-116, doi: 10.1080/01490410802053658.
- Lieske J.H., Lederle, T., Fricke, W., Morando, B., 1977: Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constant. *Astronomy & Astrophysics*, 58: 1-16, 1977.
- Lejba, P., Schillak, 2008: Determination of the SLR station coordinates and velocities on the basis of laser observations of low satellites, *Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*, Poznań - Poland, October 13-17.
- Lejba, P., Schillak, S., Wnuk, E., 2007: Determination of orbits and SLR stations' coordinates on the basis of laser observations of the satellites Starlette and Stella, *Advances in Space Research*, Volume 40, Issue 1, p.143-149.
- McCarthy, D.D., 1996: IERS Conventions. IERS technical note 21, Observatoire de Paris, 1996.
- McCarthy, D. D., and G. Petit, 2004: IERS Conventions 2003, IERS Technical Note 32, Verlag des Bundesamtes fuer Kartographie und Geodaesie.
- Mignard, F., 2005: Guide d'utilisation du logiciel FAMOUS. OCA Internal Report (in French) - France.
- Reigber Ch., R. Schmidt, F. Flechtner, R. König, U. Meyer, 2005: An earth gravity field model complete to degree and order 150 from GRACE: Eigen-Grace02S. *Journal of Geodynamics*, Vol. 39, 1-10.

## Choix d'un modèle géopotentiel global pour la détermination précise du géoïde en Algérie

N. RABEHI, S. KRERI, M. TOUABET, M. TERBECHE\*  
 Centre des Techniques Spatiales, Division de Géodésie Spatiale  
 BP 13 Arzew 31200, Algérie, Email: Rabehin@gmail.com  
 (\*) Département de mathématiques - Université d'Oran

**ملخص :** إن معرفة نماذج جديدة لمجال جاذبية الأرض قد تحسنت في السنوات الأخيرة من خلال بعثات فضائية جديدة (شامب و غراس)، المخصصة للتحديد الدقيق ذو التمييز العالي لحقل جاذبية الأرض.

إن إشكالية اختيار نموذج جيو-إمكانيات لتعديل أفضل لمعطيات الجاذبية تبقى مطروحة و تظل موضوع نقاش. في هذا العمل، نساهم في دراسة الجيوبيد في الجزائر باستعمال منهجية تصفية معاملات نماذج الجيو-إمكانيات.

ستفقدنا هذه التقنية لمعرفة ما ستضيفه المعاملات الجديدة للنماذج الجيو-إمكانيات في تحديد الجيوبيد في الجزائر، و ذلك بدمج المعلومات الواردة من النموذج الجيو-إمكانيات المختار عن طريق منهجية التصفية لمعطيات جاذبية الأرض (LOE) و عند الاقتضاء النموذج الرقمي للأرض (GTOPO30).

**الكلمات الأساسية :** نموذج الجيو-إمكانيات، غراس، Grace، شامب champ، جيوبيد géoïde، إحاء-ترميم، تصفية.

**Résumé :** La connaissance de nouveaux modèles de champ de pesanteur a été améliorée durant les dernières années à partir des nouvelles missions spatiales (CHAMP et GRACE) dédiées à la détermination précise de haute résolution du champ de pesanteur terrestre.

Le problème du choix d'un modèle géopotentiel qui ajuste au mieux les données gravimétriques reste posé et demeure sujet à débat.

Dans ce travail, nous apportons une contribution à l'étude du géoïde en Algérie en utilisant une méthode de filtrage des coefficients des modèles géopotentiels.

Cette technique va nous conduire à connaître l'apport des nouveaux coefficients des modèles géopotentiels sur la détermination du géoïde en Algérie, en combinant les informations provenant du modèle géopotentiel choisi par la méthode de filtrage, des données gravimétriques terrestres (EOL) et éventuellement du modèle numérique du terrain (GTOPO30).

**Mots clés :** modèle géopotentiel, GRACE, CHAMP, géoïde, retrait-restauration, filtrage.

**Abstract :** During the last years, the knowledge of new gravity field models was improved from the new space missions (CHAMP and GRACE) dedicated to the precise determination of high resolution of the terrestrial gravity field.

The problem of the choice of a global geopotential model which adjusts as well as possible the gravimetric data is not solved definitively. In order to solve this problem we used a filtering method which goal is to choose the most suitable model for Algeria.

The objective of our work is to know the contribution of the new coefficients of the geopotential models in the determination of the geoid in Algeria.

Thereafter, we determined the geoid with combining information coming from the geopotential model chosen by the method of filtering, terrestrial gravimetric data (EOL) and the digital elevation model (GTOPO30).

**Key words :** geopotential model, GRACE, CHAMP, geoid, remove-restore, filtering.

### 1. Introduction

La formule de Stokes est l'une des plus importantes équations dans la géodésie physique. Elle permet la détermination de la distance géométrique entre le géoïde et l'ellipsoïde de référence pour une couverture globale des anomalies gravimétriques.

En pratique, il est impossible de réaliser cette couverture. Pour cela on fait appel à d'autres informations comme les coefficients du modèle géopotentiel afin de déterminer les grandes longueurs d'onde de l'ondulation du géoïde.

Les coefficients des modèles géopotentiels globaux sont développés à partir des informations gravimétriques, altimétriques, ainsi que par des données dérivées de l'étude des perturbations d'orbites des différents satellites artificiels permettant de quantifier le potentiel gravitationnel terrestre. D'autres parts, on trouve d'autres modèles géopotentiels qui sont définis seulement à l'aide des missions spatiales.



Par ailleurs, avec l'apparition des nouveaux modèles géopotentiels issus des nouvelles missions spatiales (CHAMP et GRACE) qui sont destinés à l'amélioration du champ de pesanteur, on doit avoir plus de précision sur les mesures gravimétriques calculées.

Du fait de cet intérêt, nous allons choisir le modèle géopotentiel le plus ajusté aux données algériennes par un filtrage «passe bas». Ce modèle sera combiné aux données de pesanteur terrestres afin de déterminer un géoïde précis.

Une analyse basée sur une comparaison entre les données de pesanteur (EOL) réparties sur la totalité de l'Algérie et les quantités analogues calculées par les coefficients des modèles géopotentiels OSU91a, EGM96, GGM01S, GGM02S, GGM02C, GGM02S-EGM, GGM01C, EIGEN-GL04C, EIGEN-GL04S1. Afin de confirmer le résultat obtenu et étant donnée la qualité des données gravimétriques disponibles issues du fichier EOL, on fait appel à un autre filtrage tout en utilisant les données du GPS nivelées et les hauteurs du géoïde calculées par les modèles définis précédemment.

## 2. Modèles géopotentiels

Les modèles géopotentiels globaux contiennent les coefficients harmoniques développés jusqu'à un degré et ordre bien définis. Ils sont déterminés par des différentes techniques spatiales ou par une combinaison de diverses données gravimétriques terrestres, altimétriques et spatiales.

Les coefficients harmoniques peuvent être employés pour calculer les différentes quantités gravimétriques qui dépendent du potentiel gravitationnel de la Terre telles que les anomalies de pesanteur et l'ondulation du géoïde afin de déterminer les petites fréquences du champ de pesanteur [Aarizou M.,1995].

Il existe plusieurs modèles géopotentiels, un aperçu de leur état de l'art est donné ci-après :

- OSU91A, EGM96 sont des modèles de coefficients harmoniques sphériques, développé jusqu'au degré et ordre 360.

- EIGEN-GL04C est une mise à jour du modèle d'EIGEN-CG03C. Ce modèle est une combinaison des résultats issus des missions GRACE et LAGEOS en plus d'une grille de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  de données gravimétriques et des données altimétriques. Il est défini jusqu'au degré et ordre 360.

- GGM01S est un modèle qui a été déterminé par des missions spatiales seulement jusqu'au degré et ordre 120, il est estimé en 111 jours (du novembre à avril 2002) et obtenu par des mesures des variations de la distance entre les deux satellites de la mission GRACE, ainsi que des données d'accéléromètre.

- GGM01C est une combinaison des modèles GGM01S et TEG4. Il est développé jusqu'au degré et ordre 360. Ce modèle est composé de résultats d'analyse de 860 jours de mesures du satellite CHAMP et 109 jours de mesures de GRACE ainsi qu'une grille des anomalies gravimétriques et altimétriques.

- EIGEN-GGM01S, a été développé à partir des premières données de GRACE, jusqu'au degré et ordre 150. Il a été édité par GFZ à partir de 39 jours de mesures. Ce modèle était déjà cinq fois plus précis que le modèle issu de la mission CHAMP.

- GGM02S est une amélioration du modèle GGM01S. Le modèle GGM02S développé jusqu'au degré et ordre 160, est basé sur l'analyse de 363 jours de données de GRACE diffusé entre le 4 avril 2002 et 31 décembre 2003. Le modèle GGM02S s'appuie sur l'expérience acquise des modèles GGM01S, il est également dérivé des mesures des variations de la distance inter-satellite dérivées de la mission GRACE qui est dédiée à la modélisation du champ de gravité et à la détection des variations de grandes longueurs d'onde.

- GGM02C est composé des coefficients développés jusqu'au degré et ordre 200. C'est une combinaison entre des données satellitaires de GRACE et de l'information gravimétrique.

- GGM02S-EGM est une combinaison entre le modèle géopotentiel global GGM02S et EGM96, il est développé jusqu'au degré et ordre 360.

## 3. Données utilisées

### 3.1 Anomalies de pesanteur

Le CTS dispose du fichier EOL comptant 12472 points gravimétriques répartis sur le territoire algérien. Le fichier a été fourni par le bureau gravimétrique international BGI. Chaque point consiste en un enregistrement de 145 caractères. Ces mesures ont été données par rapport à l'ellipsoïde de référence GRS67.

Elles seront par la suite converties au système de référence GRS80.

### 3.2 Points GPS/nivellement

On dispose d'un ensemble de 37 points "GPS nivelé" qui sont les résultats du traitement GPS et du réseau de nivellement par précision qui sont les altitudes, réparties sur la région du nord de l'Algérie.

## 4. Méthode de filtrage

### 4.1 Comparaison avec les anomalies de gravité

Les nouveaux modèles géopotentiels issus des nouvelles missions spatiales (CHAMP, GRACE) sont nombreux, le choix du modèle le plus adapté pour l'Algérie est l'objectif de cette étude. C'est ainsi qu'il est préférable de disposer d'une technique de calcul pour pouvoir le choisir.

Dans notre travail on va utiliser un filtrage « passe-bas ». Une analyse basée sur une comparaison avec des données de pesanteur réparties sur la totalité de l'Algérie ainsi que des données "GPS nivelé". Cette méthode a été effectuée pour pouvoir choisir entre les modèles géopotentiels définis ci-dessous [Benahmed Daho S.A., 2007].

**Tableau 1.** Les modèles géopotentiels globaux utilisés dans le filtrage.

Modèles géopotentiels	degré. et ordre. Max
EGM96	360
OSU91A	360
GGM01S	<b>120</b>
GGM02S	160
GGM02C	200
GGM02S-EGM	360
EIGEN-GL04C	360
GGM01C	360
EIGEN-GL04S1	150

Pour mettre en évidence le choix d'un modèle géopotentiel, on doit tronquer tous les modèles au degré et ordre 120, ce dernier correspond au degré et ordre minimal entre les modèles.

Les anomalies de pesanteur du modèle calculées du degré 121 au degré maximal du modèle sont soustraites des anomalies de gravité à l'air libre. Par la suite, elles seront comparées aux quantités analogues calculés jusqu'au degré et ordre 120.

Le programme GGM (Global Geopotential Model) écrit en Fortran par Duquenne en 2007 utilisé dans cette étude, est dédié au calcul des anomalies de pesanteur et de l'ondulation du géoïde à partir des coefficients harmoniques des nouveaux modèles géopotentiels.

Ce programme est écrit en raison de l'apparition de nouveaux modèles géopotentiels pour pouvoir les utiliser tous afin de calculer les valeurs désirées à partir des coefficients harmoniques.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau 2.** Résultats statistiques des anomalies de pesanteur filtrées

Modèles géo.	Min (mgal)	Max (mgal)	Moyenne (mgal)	Ecart type (mgal)
OSU91A	-97,84	124,83	-0,52	13,16
EGM96	-101,77	111,21	-2,99	13,54
EJGEN-GL04C	-100,17	111,22	-2,74	14,02
EIGEN-GL04S1	-85,370	140,76	-1,94	17,17
GGM02S-EGM	-105,36	109,88	-2,69	13,40
GGM02S	-92,22	139,24	-3,47	25,77
GGM02C	-94,69	122,31	-1,94	14,90
GGM01S	-113,59	124,76	-8,52	31,87
GGM01C	-88,62	132,55	-2,007	15,34

Suite aux résultats du tableau 2, on remarque qu'il y a une différence entre les écarts type qui peut atteindre jusqu'à 18 mgal. On constate tout de même que dans le cas d'utilisation du modèle OSU91A, on obtient un écart type minimal; cela signifie que c'est un modèle qui ajuste au mieux les données gravimétriques algériennes. Afin de confirmer ce résultat on doit faire une comparaison avec les données "GPS-nivelé".

### 4.2 Comparaison avec les données "GPS-nivelé"

Les données gravimétriques utilisées précédemment sont issues du fichier EOL, elles sont plus anciennes et moins précises. Afin de confirmer les résultats obtenus (tableau 2), on va calculer les ondulations du géoïde à partir des coefficients des modèles définis ci-dessus et les comparer à leurs analogues du "GPS-nivelé".

Le même principe du filtrage « passe bas » utilisé auparavant pour les anomalies de gravité sera appliqué dans ce cas pour les ondulations du géoïde et les données "GPS-nivelé".

L'ondulation du géoïde dérivée du traitement GPS – nivellement est référée à l'ellipsoïde GRS80 et sa correspondante calculée à partir des coefficients du modèle géopotentiel est référée à un ellipsoïde arbitraire [Wellenhof & Moritz, 2005].

Le programme GGM utilisé prend en considération cet effet. Il réfère les ondulations du géoïde obtenues à l'ellipsoïde GRS80 afin de comparer le résultat avec celles acquises pas GPS nivellement. Pour cela

il utilise le terme de degré zéro qui contient une différence de masses (ellipsoïde référé au modèle et l'ellipsoïde du GRS80) et une différence de potentiel [Heiskanen & Moritz, 1967]. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 3 ci dessous :

**Tableau 3.** Résultats statistiques des comparaisons entre les ondulations du géoïde des modèles géopotentiels et les hauteurs NGPS/ni.

Modèles géo.	Min (m)	Max (m)	Moyenne (m)	Ecart type (m)
OSU91A	-0,022	0,888	0,014	<b>0,166</b>
EGM96	-1,036	-0,010	-0,753	0,204
EIGEN-GL04C	-0,706	0,301	-0,414	0,179
EIGEN-GL04S1	0,122	1,159	0,498	0,203
GGM02S-EGM	0,835	1,939	1,293	0,285
GGM02S	0,023	1,179	0,470	0,189
GGM02C	-0,359	0,704	-0,003	0,173
GGM01S	0,174	1,277	0,545	0,189
GGM01C	-0,155	0,880	0,172	0,176

A partir du tableau 3 on remarque que le modèle OSU91A contient la valeur minimale de l'écart type 0,166. Donc les résultats obtenus par la méthode de filtrage permettent de conclure que le modèle OSU91A défini jusqu'au degré et ordre 360 est le modèle de référence qui s'ajuste au mieux à l'Algérie.

### 5. Détermination du géoïde

La détermination du géoïde et du quasi-géoïde (surface permettant la conversion des hauteurs ellipsoïdales en altitudes normales) fait appel à un ensemble de méthodes depuis longtemps établies.

Dans ce travail, on va calculer le géoïde gravimétrique d'une région limitée tout en utilisant les programmes GRAVSOFT [Forsberg R., 2003], et les programmes réalisés au LAREG, les résultats obtenus seront comparés à un ensemble de points 'GPS nivelés'.

La technique utilisée dans cette phase est celle de retrait restauration afin de calculer le quasi-géoïde [Duquenne H, 2005b] et par la suite sera déterminé le déplacement de cette surface au géoïde.

Les programmes Gravsoft écrits en fortran permettent l'estimation des différentes quantités gravimétriques et géométriques.

Les différentes phases du traitement pour la détermination du géoïde gravimétrique sont données comme suit :

- Calcul des corrections de terrain sur la gravimétrie.
- Calcul des anomalies gravimétriques du modèle et des anomalies résiduelles.
- Calcul des anomalies d'altitude résiduelles.
- Calcul de l'effet du terrain résiduel sur le quasi-géoïde.
- Calcul du quasi-géoïde du modèle et du quasi-géoïde.
- Calcul de l'ondulation du géoïde.

### 5.1 Données utilisées

Les données utilisées sont une combinaison de données gravimétriques, du modèle géopotentiel et du modèle numérique de terrain :

- Dans cette étude, nous avons utilisé les anomalies à l'air libre issues du fichier EOL réparties sur la région limitée [34.8°, 35.8°] en latitude et [-1°, 3°] en longitude. Elle contient 419 anomalies à l'air libre, qui ont été converties du système de référence GRS67 au GRS80.

- Les coefficients du modèle géopotentiel global OSU91A développé jusqu'au degré et ordre 360. Ce modèle est le plus adapté à l'Algérie étant donné les résultats des comparaisons précédentes.

- Le modèle numérique de terrain est le GTOPO30, la région choisie s'étale sur [32°, 37°] en latitude et [-3°, 5°] en longitude.

### 5.2 Méthodologie de travail

Dans cette étude, sera d'abord calculé le quasi-géoïde par la méthode de retrait restauration et la technique du terrain résiduel.

L'anomalie d'altitude s'écrit sous forme d'une somme de trois parties :

$$\xi = \xi_M + \xi_R + \xi_{RT} \tag{1}$$

$\xi_M$  est la partie issue du modèle géopotentiel global, elle contient toutes les grandes longueurs d'onde.

$\xi_{RT}$  comporte les courtes longueurs d'onde, pour le déterminer on doit retirer du terrain ses composantes à grandes longueurs d'onde,

$\xi_R$  provient de l'intégration des anomalies de pesanteur résiduelles par l'intégrale de Stokes, il contient les moyennes longueurs d'onde. [Duquenne H., 2005a]

$$\xi_M = \frac{GM}{r\gamma} \sum_{n=2}^M \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\cos\theta) (\Delta\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta\bar{S}_{nm} \sin m\lambda)$$

$$\xi_R = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_{\sigma} \Delta g, S(\psi) d\sigma \tag{2}$$



$$\xi_{RT} = \frac{GM R^2}{\gamma} \int_{\sigma} \frac{\rho(H - H_0)}{l} d\sigma$$

avec :

$GM$  : constante de gravitation,

$P_{nm}$  : fonctions de Legendre normalisées de première espèce,

$\rho$  : densité volumique de terrain,

$l$  : distance entre le point courant d'intégration et le point de calcul,

$\Delta g_r$  : anomalie de gravité résiduelle, elle est obtenue par la soustraction de l'anomalie à l'air libre  $\Delta g$ , des effets déjà contenus dans le modèle global de champ  $\Delta g_r$  et dans le terrain résiduel  $\Delta g_{RT}$  ainsi que l'effet indirect  $\Delta g_{IRT}$  :

$$\Delta g_r = \Delta g - (\Delta g_{RT} - \Delta g_{IRT}) - \Delta g_r \quad (3)$$

Le quasi-géoïde est la surface d'altitude normale nulle. C'est la surface obtenue en reportant depuis chaque point  $M$  de la surface topographique, vers le bas, son altitude normale.

Le passage entre les deux surfaces quasi-géoïde et géoïde est réalisable par l'équation (4) qui représente la différence entre l'anomalie d'altitude et la hauteur du géoïde: [Duquenne H., 2005a]

$$N - \xi = H_N - H^0 = \frac{\tilde{g} - \tilde{\gamma}}{\tilde{\gamma}} H^0 \quad (4)$$

où  $H_N$  désigne l'altitude normale et  $H^0$  désigne l'altitude orthométrique.

L'équation (4) peut être approximée par la formule

$$H_N - H^0 = \frac{\Delta g_B}{\tilde{\gamma}} \quad (5)$$

Par conséquent, l'ondulation du géoïde s'exprime comme :

$$N \approx \frac{\Delta g_B}{\tilde{\gamma}} H^0 + \xi \quad (6)$$

## 6. Adaptation du géoïde gravimétrique aux points GPS nivelés

Pour mettre en évidence la précision du modèle du géoïde gravimétrique déterminé, il faut adapter cette surface.

Dans ce but on calcule une régression linéaire des écarts entre des hauteurs de géoïde issues des points "GPS nivelés" et des quantités analogues issues de la gravimétrie. [Duquenne H., 2004]

En chacun des points "GPS nivelés", l'écart peut être modélisé en distinguant une tendance exprimée

par une fonction linéaire des coordonnées géographiques :

$$N_{GPS_{niv}} - N_{géoïde} = a + b(\varphi_i - \varphi_0) + c(\lambda_i - \lambda_0) \cos \varphi_i + v_i \quad (7)$$

$\lambda_i$  et  $\varphi_i$  sont la longitude et la latitude du point  $i$ ,  $\lambda_0$  et  $\varphi_0$  sont respectivement la longitude moyenne et la latitude moyenne,  $v_i$  le résidu, et  $a, b, c$  les paramètres de transformation calculés par la méthode des moindres carrés.

La tendance linéaire représente les erreurs du modèle de champ, les erreurs systématiques principales du nivellement et les problèmes de références géodésiques.

Pour effectuer cette comparaison, on a choisi 24 points d'appuis pour le calcul des paramètres de transformation et 13 points pour le contrôle, selon la répartition géographique des points "GPS nivelés".

Les différences entre les ondulations obtenues à partir des points "GPS-nivelés" avec celles obtenues à partir du géoïde gravimétrique sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 4. Comparaison entre les ondulations géoïdales

N. Point	$N_{GPS_{niv}}(m)$	$N_{gravi}(m)$	Différence (m)
307	47.840	48.979	0.040
304	47.800	49.132	0.198
308	48.900	49.221	-0.808
311	48.420	49.518	0.035
314	48.240	49.580	0.184
315	48.580	49.539	-0.108
316	48.580	49.529	-0.119
317	48.120	49.254	0.059
318	48.130	49.253	0.050
319	48.120	49.246	0.057
320	48.240	49.271	-0.043
321	48.310	49.237	-0.132
322	48.110	49.233	0.066
323	48.200	49.267	0.006
325	48.250	49.279	-0.046
326	48.150	49.218	0.018
330	48.200	49.268	0.008
331	48.140	49.224	0.031
332	48.120	49.234	0.056
333	48.150	49.249	0.029
335	47.900	49.230	0.213
337	48.190	49.315	0.009
338	47.950	49.253	0.179
340	48.470	49.533	0.012

Les paramètres de la transformation sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 5.** Paramètres de la transformation d'adaptation du géoïde déterminé

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
-1.08135	0.91121	-0.45189

Les différences aux points de contrôle entre les ondulations obtenues à partir des points "GPS nivelés" avec celle obtenues à partir du géoïde gravimétrique adapté sont illustrées dans le tableau suivant :

**Tableau 6.** Comparaison des ondulations géoïdales après adaptation aux points de contrôle

<i>N. Point</i>	<i>N<sub>GPS</sub> (m)</i>	<i>N-Géoïde adapté(m)</i>	<i>Différence (m)</i>
305	48.140	48.167	-0.027
306	47.940	47.854	0.085
309	47.800	47.935	-0.135
310	48.600	48.487	0.112
312	48.450	48.479	-0.029
313	48.590	48.475	0.114
324	48.250	48.203	0.046
327	48.450	48.562	-0.112
328	48.210	48.218	-0.008
329	48.200	48.197	0.002
334	48.150	48.185	-0.035
336	48.170	48.198	-0.028
339	48.160	48.153	0.006

En analysant le tableau 6 ci-dessus on remarque que la différence entre le géoïde adapté et les données "GPS nivelé" varie entre *-0,135 m et 0,114 m*. Les résultats présentés dans le tableau 6 ci-dessus confirment que l'utilisation du modèle OSU91A donne des résultats acceptables.

### 7. Conclusion

La détermination du géoïde s'appuie sur la formule de Stokes, le plus souvent combinée à un développement en harmoniques sphériques du champ de gravité. Cette méthode nécessite l'application de corrections sur les valeurs de pesanteur terrestre, afin de réduire les observations gravimétriques au niveau du géoïde et de déplacer les masses topographiques externes pour que le géoïde devienne la surface limite des mesures.

Le choix du meilleur modèle géopotential global le plus convenable à l'Algérie est l'une des étapes critiques pour le calcul du géoïde. Cependant, dans ce travail nous voulons connaître la contribution des nouveaux coefficients des modèles géopotentiels issus des nouvelles missions spatiales CHAMP (CHALLENGING Mini-Satellite Payload) destiné à la recherche géophysique et ses applications. Ce satellite est dédié à la résolution des variations temporelles du champ magnétique, et la mission spatiale GRACE (Gravity Recovery & Climate Experiment) est dédiée spécialement à la cartographie globale à haute résolution (~300-400 km) des variations spatio-temporelles du champ de gravité terrestre.

Dans ce contexte, la comparaison du filtrage « passe bas » des modèles géopotentiels avec les données gravimétriques du fichier EOL et les données "GPS nivelé", a montré que le modèle OSU91A est le plus adapté à l'Algérie. Ce dernier a été utilisé par la suite dans la détermination du géoïde.

Dans cet article la détermination du géoïde a été faite en deux étapes; premièrement la détermination du quasi-géoïde par la méthode de retrait-restauration et la technique du terrain résiduel et par la suite, la détermination de la hauteur du géoïde. Les données utilisées sont une combinaison des données gravimétriques, des coefficients du modèle géopotential OSU91A et le MNT global GTOPO30. La réalisation de ce travail a été effectuée à l'aide des programmes GRAVSOFT et GGM.

Les données gravimétriques utilisées proviennent du fichier EOL. Selon la répartition de ces données nous avons choisi une région limitée par [34,8° à 35,8°] en latitude et [-1° à 3°] en longitude, cette région contient 419 anomalies de pesanteur à l'air libre. Elles ont été converties du système de référence GRS67 au GRS80.

D'autre part, et après adaptation du géoïde aux points "GPS nivelé" en utilisant une tendance linéaire, on a obtenu des différences qui varient entre *-0,135 m et 0,114 m*.

Dans ce travail on n'a pas utilisé le modèle EGM08 car on ne peut pas utiliser le programme GGM (Global Geopotential Model) dans le calcul des quantités gravimétriques ainsi que l'ondulation du géoïde avec ce modèle à cause du degré et ordre élevés du modèle.

Malgré l'imperfection des données gravimétriques du BGI (précision de l'ordre de 5 mgal) qui ont servi à ce calcul, l'utilisation d'un MNT global et l'insuffisance de la couverture de points "GPS nivelé", on a obtenu une différence décimétrique.

Afin d'améliorer ces résultats on prévoit un calcul du géoïde tout en utilisant des données de gravité terrestres fiables et bien réparties sur toute l'Algérie, un MNT précis, et l'utilisation du modèle géopotential EGM08. Pour valider les résultats, il sera nécessaire de disposer de données de nivellement de précision sur des points GPS, bien réparties sur la totalité de l'Algérie.

### Références bibliographiques

- Aarizou M., 1995: '*Détermination précise du géoïde par voie gravimétrique : Méthode de Stokes*'. Thèse de magister en techniques spatiales-CNTS.
- Benahmed Daho S.A., 2007: '*New investigation on the choice of the tailored géopotential model for Algeria*'. Journal of Geodynamics 45 (2008) 154-162.
- Duquenne H., 2004: '*Calcul d'un quasi-géoïde. Détermination et validation d'un quasi-géoïde à partir des mesures conjointes du champ de pesanteur et de position GPS nivelés*', Ecole Nationale des Sciences Géographiques- Prais - France
- Duquenne H., 2005a : '*Le géoïde et les méthodes locales de sa détermination*', école francophone sur le géoïde, Champs-sur-Marne – France.
- Duquenne H., 2005b : '*Calcul d'un quasi-géoïde gravimétrique et comparaison à des points GPS nivelés*', école francophone sur le géoïde, Champs-sur-Marne – France.

Forsberg R., 2003: '*An overview manual for the GRAVSOFIT; Geodetic gravity field modelling programs*', DRAFT-1.ed. September 2003.

Heiskanen W.A., Moritz H., 1967: '*Physical Geodesy*'; W.H.Freeman and company, San Francisco.

Wellenhof B H and W.A., Moritz H., 2005: '*Physical Geodesy*', Springer Wien New York.

### Acronymes

- CHAMP:** CHALLENGING MiniSatellite Payload for Geophysical Research and application.
- EGM :** Earth Gravitational Model.
- GFZ:** German Research Centre for Geosciences (Deutsches GeoForschungs Zentrum).
- GGM:** Global Geopotential Model
- GPS:** Global Positioning System.
- GRACE:** Gravity Recovery and Climate Experiment.
- GRAVSOFIT:** Package of FORTRAN programs for gravity field modeling
- GRS:** Geodetic Reference System.
- GTOPO30:** Global 30 Arc-Second Elevation Data Set.
- LAREG:** Laboratoire de Recherche en Géodésie
- LAGEOS:** Laser geodynamics Satellite
- OSU91:** Global geopotential model produced by the Ohio State University.



## La cartographie cognitive appliquée dans le domaine du risque géologique

H. MANSOUR, I. ZEROUAL, A. NADJI, M. FOUKRACHE  
Laboratoire Géoressources, Environnement et Risques Naturels  
Département des Sciences de la Terre, FSTGAT, Université d'Oran.  
E-mail : l\_mansou\_l@yahoo.fr

**ملخص :** تمثل المنطقة الوهرانية موقعا بالغ الأهمية من أجل تقييم وإدارة الخطر الجيولوجي. حاليا، أسهمت صور الأقمار الصناعية و الخرائط الرقمية في إعطاء منهج جديد لتحليل الخطر الجيولوجي. يتطور الحيز الجيولوجي حسب الظروف المناخية و الفيزيائية للأوساط، إذ تمثل إدارة الخطر الجيولوجي منهجا معقدا بحيث تسمح فائدتها بربط عدة أنواع من القرارات أهمها قرار الاستغلال.

إن تطوير نموذج للإدارة حول هذا الموضوع هو النتيجة الأساسية لهذا العمل بحيث تم الاعتماد على مثال حول احتياجات الطريقة المستعملة.

إن تشكيل ملفات خرائطية انطلاقا من الصور أو قواعد المعطيات الفضائية هو منهج غير مستغل بما فيه الكفاية. إن الآليات التي تتطلب استعمال منهجيات للحصول و معالجة المعلومة الخاصة بالخطر الجيولوجي، تنتمي إلى منهج الخرائطية المعرفية.

إن إعداد الوثائق (خرائط، مخططات، سجلات الأرض) و اتخاذ القرار المتعلق بالبيئة، يستدعي وضع منهج عرض و تحديد المواقع المعرضة للخطر.

إن الخرائط الرقمية ودمج المعطيات المرتبطة بالخطر الجيولوجي، يتم إعدادها باستخدام الأجهزة البيانية و أنظمة الإعلام الجغرافي. و قد تم اقتراح خرائط معرفية لتقديم الرموز المتسببة في الخطر الجيولوجي.

**الكلمات الأساسية :** الخرائط الرقمية، معرفية، خطر جيولوجي.

**Résumé :** L'Oranie constitue un site très intéressant pour l'évaluation et la gestion du risque géologique. Actuellement, les images spatiales et la cartographie numérique apportent une nouvelle approche pour analyser le risque. L'espace géographique évolue en fonction des conditions climatiques et physiques des milieux. La gestion du risque géologique est un processus complexe dont l'utilité permet de lier plusieurs types de décision dont le principal est la décision exploitation. Le développement d'un modèle de gestion autour de ce thème est le résultat principal de ce travail où un exemple est utilisé pour

les besoins de la démarche. La constitution de fichiers cartographiques à partir des images ou de bases de données spatiales est un processus insuffisamment exploité. Les mécanismes qui font intervenir les méthodes d'acquisition et de traitement de l'information du risque géologique adhèrent à un processus de cartographie cognitive. La rédaction des documents (cartes, plans, livrets de terrain, notice géologique,...) et la prise de décision sur l'environnement engendre la mise en place d'un processus de visualisation et de localisation des sites porteurs de risque. La cartographie numérique et l'intégration des données liées aux aléas du risque géologique sont réalisées à l'aide des fonctionnalités des systèmes graphiques et de système d'information géographique. Des cartes cognitives sont proposées pour présenter les entités porteuses de risque.

**Mots clés :** Cartographie numérique, Cognition, Risque géologique.

### 1. Introduction

Les applications menées ces dernières années en collaboration avec les centres de recherche et l'université d'Oran ont ouvert un nouveau champ d'investigation, mettant en évidence le besoin de traiter l'information à référence spatiale. En effet, pour suivre et gérer cette évolution on doit à chaque fois produire de nouvelles données géo localisées et intégrées dans un processus de développement régional ou local.

Afin de mettre en place des méthodes d'intervention efficaces, on propose une cartographie de cognition sur le risque géologique. Les aspects sur la cartographie numérique et l'intégration des données liées au risque géologique sont réalisés à l'aide des fonctions de traitements et de visualisation des outils de la CAO. Pour une cartographie d'inventaire, les solutions du Système d'Information Géographique (SIG) apportent une contribution très appréciable, néanmoins, elles demeurent lourdes en termes de

manipulation. Les propriétés de la vision permettent d'étendre les propriétés (attributs) dans un sens ayant la plus grande bande passante ainsi que les capacités cognitives et mémorielles de l'opérateur pour penser visuellement (Kaufmann, 2000).

Beaucoup de caractéristiques visuelles peuvent être perçues pré-attentivement :

L'orientation de ligne/blob, longueur, épaisseur, taille, courbure, cardinalité, terminaisons, intersections, inclusion, teinte, clignotement, direction de mouvement, profondeur stéréoscopique, indices 3D et la direction de l'éclairage. Des problèmes sur les caractéristiques pré-attentives interfèrent entre elles et présentent certaines limites dont 7 couleurs et 3 formes maximums (Fekete et al, 1999).

La famille des techniques permettant des visualisations d'information sont orientées points, lignes, surfaces avec des remplissages de surface (trames). A partir de ces concepts une cartographie cognitive sur le risque géologique est souhaitable pour investir un nouveau domaine de recherche et y apporter de nouvelles techniques de visualisation, d'agrégation et d'interaction. Le passage à l'échelle et l'animation complète le traitement de l'information.

Dans cet article, nous proposons une modélisation conceptuelle des données géologiques liées au risque afin de définir une approche cognitive permettant la gestion des différents aléas. Cependant, nous serons amené à prendre en compte des très grandes superficies en tant qu'unités géologiques et des superficies spécifiques en tant que sous unités porteuses du risque telles que les structures géologiques complexes ou les bassins versants dans leurs aspects morphologiques. L'utilisation de l'imagerie spatiale et la définition d'un SIG contenant

des données spatiales doit permettre une analyse environnementale précise pour la prise de décision. La cognition doit donc établir une maquette (modélisation cartographique) pour définir les différents plans (incident, intervention, et urgence).

## 2. Méthodes

Prise dans son sens le plus général, la cartographie permet de construire des cartes (support externe graphique) pour aider le technicien à appréhender les différents espaces. Elle met en œuvre des techniques permettant de passer d'un espace informationnel à un espace d'information cartographique constituant une carte.

### a. Cartographie cognitive

Le mot « carte » possède une acception spatiale. Une carte est un support physique représentant un espace géographique sur lequel s'appuie l'opération pour s'orienter, estimer des distances, etc... Par carte cognitive, on entend « la représentation intérieure de l'environnement, de ses propriétés métriques, des relations topologiques entre les sites qui les composent ». Elle est susceptible de supporter des calculs cognitifs assurant l'orientation de l'individu, calculs dont la validité est déterminée par l'isomorphisme de la carte « à l'égard de l'espace qu'elle représente » et notamment par sa « capacité à conserver les propriétés euclidiennes de l'espace physique » (Thierry P2002). La carte cognitive correspond dans la plupart des cas à un système de localisation. Des travaux montrent qu'il existe une relation entre performances objectives des thèmes et la qualité des plans qu'ils savent fournir (Pailhous, 1979). Cette expérience fait référence aux liens suivants (fig. 1) :

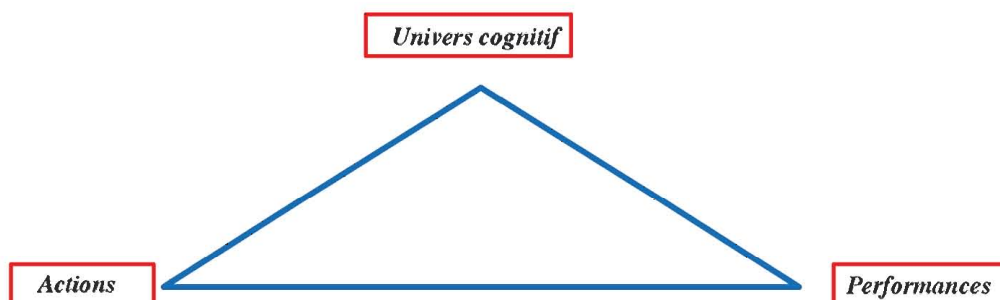


Fig. 1 Univers cognitif – Performances - Actions

Deux sortes d'images mentales sont à l'épreuve (Thierry, 2002) :

- Une image correspondant à une vue conceptuelle de la ville, assimilable à une vue aérienne.
- Une image correspondant à une vue directe et concrète conforme à ce qui se passe au sol.

Ces deux formes de représentation contribuent à la mise en œuvre des « stratégies de déplacement ». Le programme d'action résulterait de la vue conceptuelle, la vue directe influant sur les « décisions locales ». Certains problèmes persistent tels que la surestimation des distances pour les trajets comportant des obstacles matériels ou des angles. D'autres types d'erreurs peuvent intervenir dans cette construction mentale spatiale, menant parfois à des incohérences mais dont les sujets semblent s'accommoder. Elles se rectifient par expérience ambulatoire ou prise de connaissance de cartes géographiques. Ces deux niveaux ont donné lieu à des travaux (Pailhous, 1979 ; Plaisant, 2002) comparant les processus de construction de la représentation interne de l'environnement spatial par expérience directe, par prise d'informations exécutées sur des substituts figuratifs symboliques (cartes, plans...).

Un modèle cognitif propre au risque naturel est proposé tenant compte de l'inventaire de données sur le risque et l'événementiel des différentes évolutions.

- Etape d'agrégations de données (observations in situ) d'un événement donné sous forme de variables paramétriques tributaires de cognition objective (tableur générique de la cognition).
- Etape de discrétisations (comptage) d'informations croisées entre les différentes variables explicatives d'un phénomène étudié (matrice de fréquence d'information cognitive).
- Etape de calcul de probabilités d'occurrence des cognitions à partir du tableur fréquentiel pour faire distinguer les transitions formelles positives des transitions fictives négatives.

- Etape d'affiliation de la cognition résultante (transitions par ordre relationnel).

- Schéma de la carte de cognition dit modèle référentiel pour la prise de décision.

**b. Image spatiale**

Essentiellement orientée sur le développement des méthodes d'extraction de l'information contenue dans les images satellitales et son intégration dans les SIG. La méthodologie équivalente au modèle Rimbert (1990) sera basée sur les étapes suivantes :

- Superposition des données thématiques (éléments de cognition).
- Géo référencement et calage géométrique des objets (cognitifs).
- Cartographie assistée à l'ordinateur (choix du mode de représentation vectoriel ou matriciel).
- Géostatistique (classification automatique hiérarchisée CAH).
- Prise de décision (zoning spatio-temporel et dynamique de l'événement étudié).
- Impact : détection et traitement numérique des zones fragiles.
- Délimitation des périmètres de sécurité.

La signature spectrale et la résolution sont des facteurs primordiaux pour les traitements en imagerie spatiale. Le filtrage est utilisé afin de définir chaque pixel par rapport à son voisinage. Le processus mathématique de filtrage est connu sous le nom de convolution. Les résultats de cette multiplication cellule à cellule sont sommés d'obtenir la valeur « filtrée correspondante ». Les valeurs contenues dans la matrice sont connues sous le nom de noyau du filtre. Ainsi pour le risque géologique, la cartographie est déterminée par la capacité des unités spatiales à reconnaître un certain nombre de critères pour les sciences de la cognition. Le résultat de cette évaluation peut être présenté sous la forme d'une carte de synthèse représentant un croisement de plusieurs thématiques. L'évaluation multicritères et multi objectifs engendre des aspects de classification et d'analyse (fig. 2).



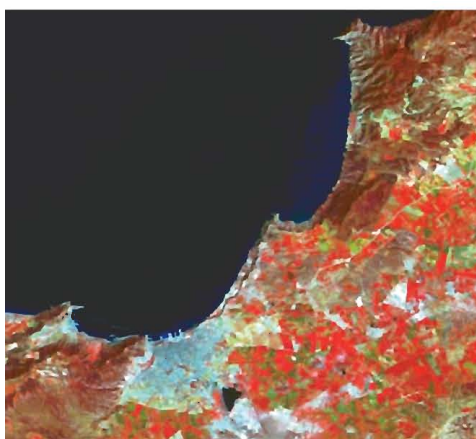


Fig. 2a Image spot sur Oran R=10m

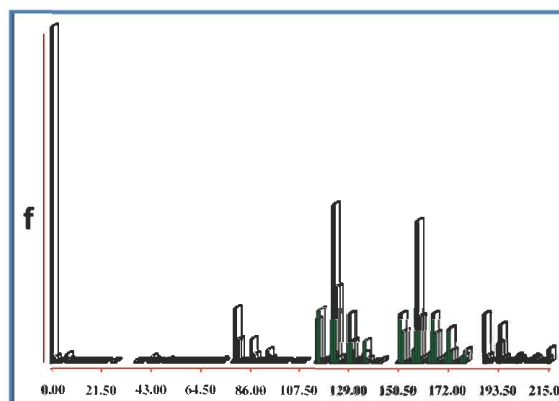


Fig. 2b Histogramme des classes (256 niveaux)

L'analyse d'image est illustrée par un histogramme dont la représentation graphique montre une distribution de fréquences dans laquelle la largeur des classes est proportionnelle à leur amplitude, tandis que la hauteur est proportionnelle à la fréquence de la classe. Cet indicateur montre la réponse de chaque objet par rapport au rayonnement utilisé.

D'un autre coté la séparation Rouge, Vert, Bleu (RVB) ou la transformation Teinte, Saturation, Luminance (TSL) est utilisée pour le contraste d'une image, ou pour des opérations telles que la combinaison d'images. Un tel processus utilise l'organigramme suivant pour reconnaître les entités du risque géologique (fig. 3).

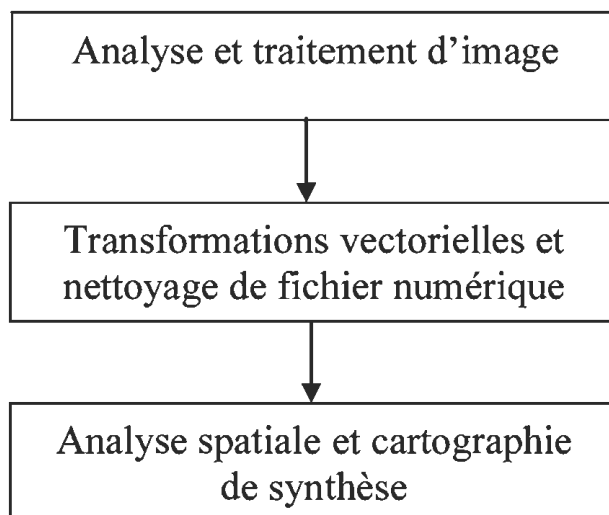


Fig. 3 Organigramme du processus de traitement

Pour illustrer le principe de détection des classes la séparation RVB, l'image d'Oran (1000 pixels par lignes et 1500 pixels par colonnes)

à donné les résultats suivants avec des histogrammes représentant des classes complémentaires (fig.4).

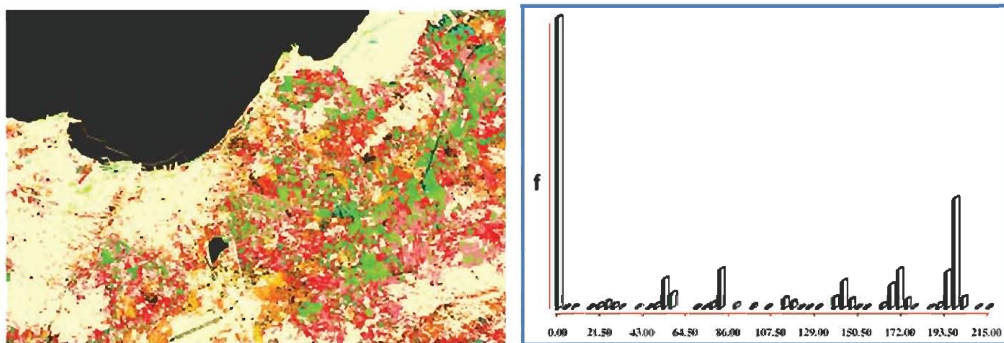


Fig. 4a Planche de Séparation rouge et son histogramme

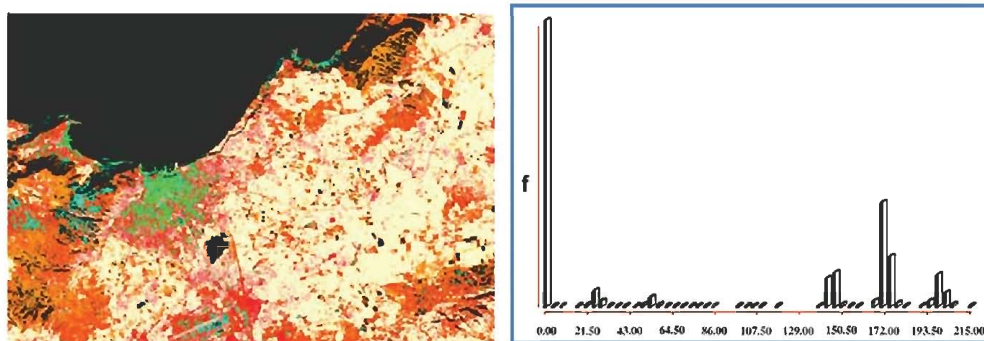


Fig. 4b Planche de Séparation vert et son histogramme

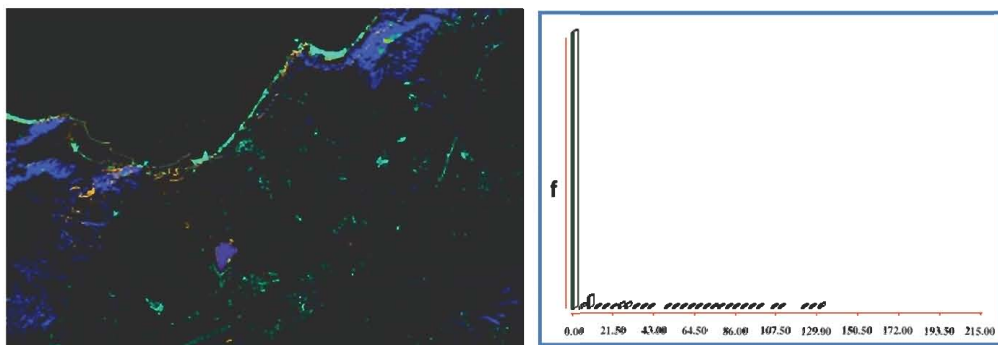


Fig. 4c Planche de Séparation bleu et son histogramme

Dans cette dernière planche on constate un très faible contraste pour localiser des phénomènes. La phase échantillonnage à permis d'identifier les terrains nus.

### 3. Modélisation

L'analyse de l'existant et l'inventaire des données du risque géologique permet de dégager une première approche pour le modèle conceptuel simplifié pour éviter d'alourdir le schéma. Ce paragraphe est dédié à la réflexion existant entre la cognition et la conception du modèle spatial. Le paramétrage global est considéré sans tenir compte de la spécificité des zones. Ainsi une première conception cognitive

permet la rédaction de cartes mettant en évidence le risque géologique. La définition d'un prototype global permet d'expliquer les données pertinentes de la Base de Données Géospaciales.

Le support graphique s'articule autour de la plateforme logicielle composée des outils de traitement d'image, de cartographie numérique et de gestion spatiale des données (CorelDraw pour le graphisme, Idrisiw pour le traitement d'image et Mapinfo pour le traitement des SIG).

La visualisation 2D ou 3D engendre des erreurs d'appréciations pouvant reconstruire le terrain de façon très médiocre. La figure 5 illustre cet état de fait.

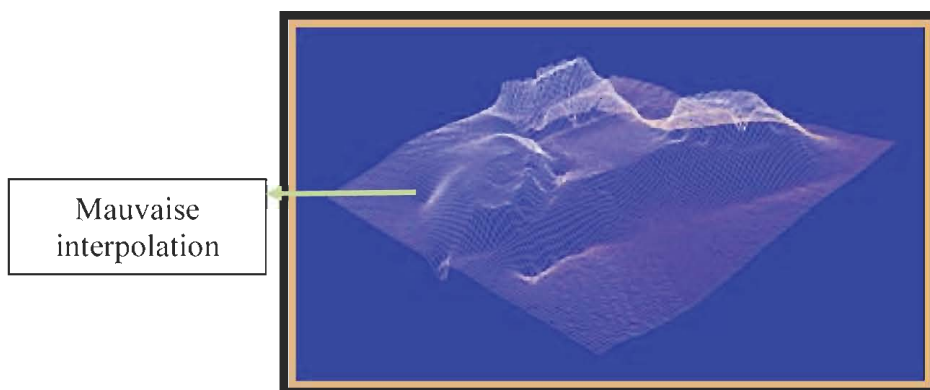


Fig. 5 Anomalies de la vision 3D

Il devient donc nécessaire de lier cognition et modélisation pour mettre en place un programme assurance qualité. Le schéma conceptuel d'information est une étape incontournable pour illustrer une telle problématique. Dans la définition du schéma conceptuel d'information SCI (fig. 6), nous avons limité la classification aux couches suivantes :

- Classe des **agglomérations** représentée par une couche (ensembles bâtis).
- Classe des **faciès géologiques** représentée par une couche (lithologie et fracturation).
- Classe des **phénomènes** physiques représentée par une couche (mouvements et aléas sismiques).
- Classe des **données climatiques** représentée par une couche (pluviométrie, températures, pressions).

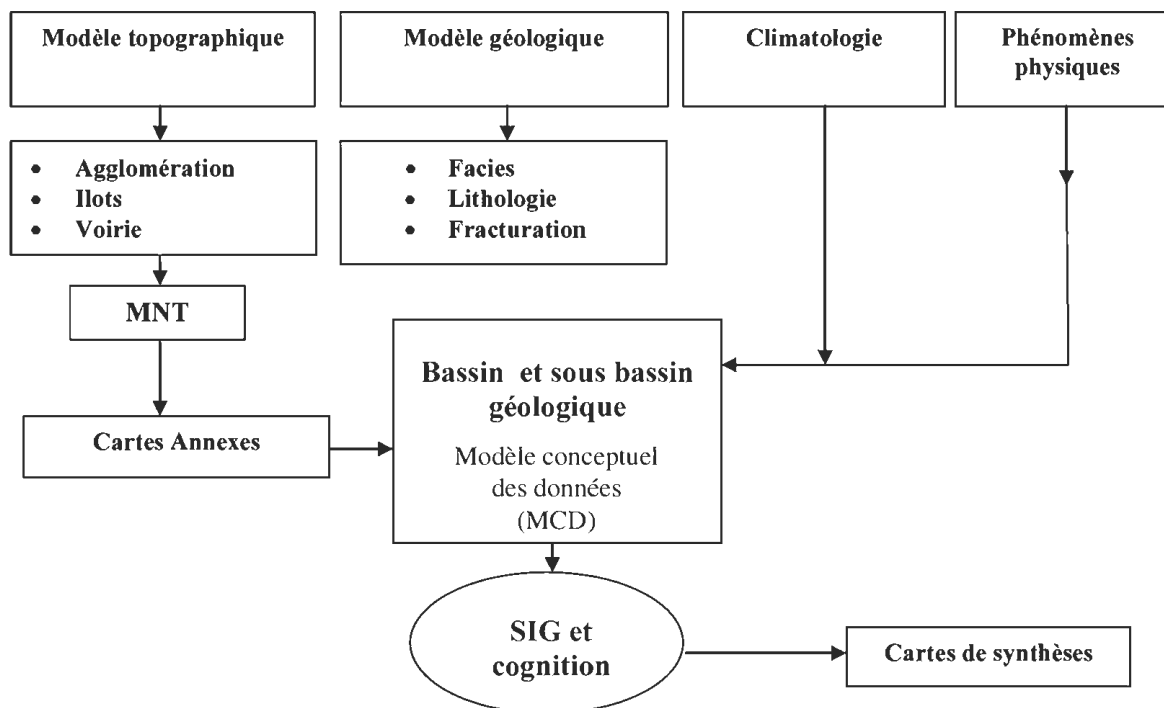


Fig. 6 Schéma conceptuel d'information SCI

La solution proposée s'articule autour d'une visualisation scientifique en géologie qui prend en compte l'environnement du milieu. Un découpage du territoire en bassins et sous bassins permet d'appréhender la cartographie du risque géologique. Il existe cependant plusieurs approches de modélisation dont la principale pour notre étude est celle qui prend en considération les aspects futurs de représentation sous forme de modèles normatifs. Il s'agit de mettre en jeu de nombreux éléments pour la génération de modèles de simulation; ceci est possible grâce aux concepts de la surface cartographique et aux attributs de lieux et données thématiques liées au phénomène étudié.

L'information spatio-temporelle est caractérisée par le temps d'évolution sous forme d'intervalles, d'itérations, ou de constructions récursives (Laurini et al 1993). Le moteur d'inférence est généré par des règles de transformation déterministe ou stochastique.

Il est donc facile de comprendre la contribution considérable que l'informatique a apporté à la cartographie de prévention et de simulation en permettant plusieurs structures à la fois et en facilitant une visualisation rapide des résultats. Le voisinage des zones à risques et des ouvrages peut être considéré comme un espace géodynamique localisé où des opérations spatiales s'effectuent. Ainsi, le classique répertoire des coordonnées tridimensionnelles devient un tableau complété par des indicateurs de cet environnement géologique. Des grilles d'action ou d'intervention sont réalisées dont l'objectif est d'éviter les oublis et de ne commettre aucune négligence sur l'environnement étudié (Combe, 1990). Dans cette même vision, les géologues stratigraphes raisonnent selon le principe de Walter (1933) en trois dimensions ou tendances basés sur le temps, l'espace et l'environnement (fig. 7). Le passage entre ces trois tendances exprime la cognition environnementale.

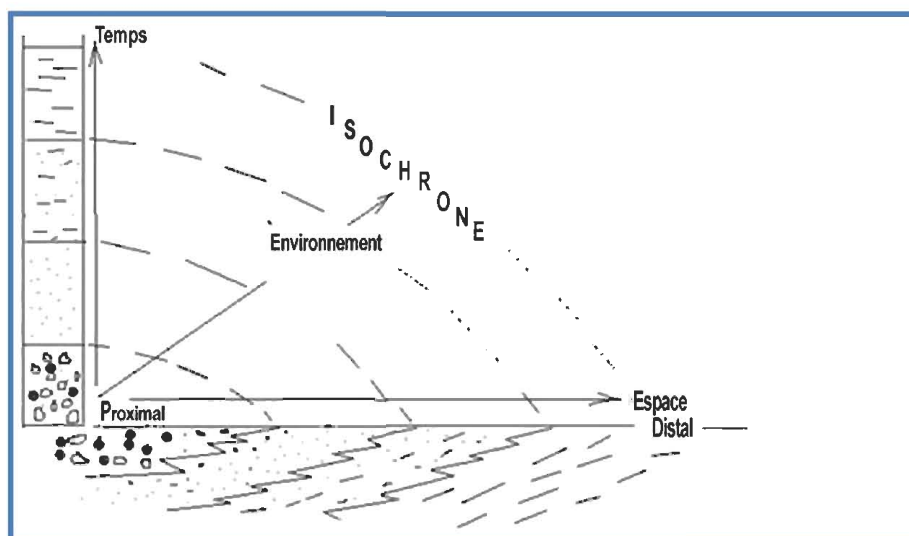


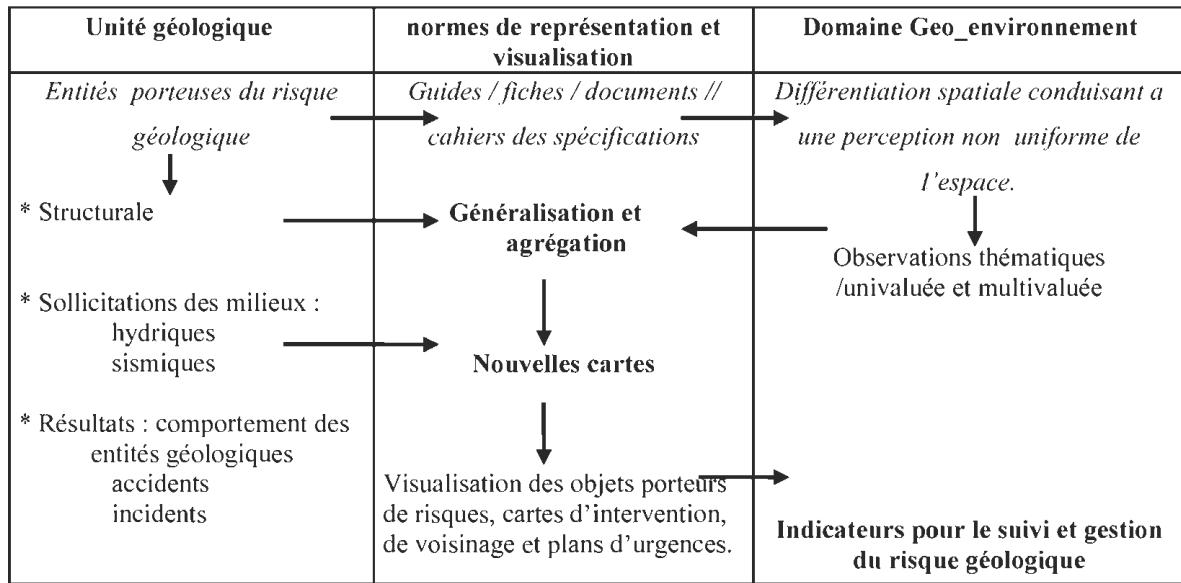
Fig. 7 Principe de Walter (1933)

La structuration de l'information technique et spatiale conduit à une modélisation de données (MCD) qui doit prendre en charge une implémentation physique des informations. Le système d'information pour l'environnement géologique (SIE) pose un double problème lié à l'inventaire des différentes informations et à leur structuration sous forme de schémas.

Cette étape d'inventaire nécessite la prise en compte d'un modèle de transfert. Pour adapter le schéma du SIE et rechercher une équivalence entre les options techniques et les éléments de cartes qui sont généralement des légendes ou des nomenclatures (tableau 1). Cette démarche permettra de réaliser un plan de prévention de risque sans oubli ni négligence.



Tab 1. Diagramme de Rimbart (1990)



La cartographie de cognition permet de définir les fonctions de généralisation et d'agrégation pour être traités par des schémas de structuration de l'information. Cette phase restera en recherche tout au long de ce projet. Le traitement cartographique doit permettre un découpage selon les périmètres de sécurité ou de surveillance des zones fragilisées.

**4. Application en domaine morpho-structural**

Le traitement des données satellitaires associé aux observations géologiques et géomorphologiques ont permis de définir les principaux paramètres

d'une modélisation spécifique à l'évolution de la variable surfacique 'Z' en fonction d'échelle d'auscultation géodésique utilisée (Zeroual, 2002). Dans une approche structurale, l'établissement des profils surfacique (Topo-MNT), permet la restitution de la fracturation à la base d'interfaces graphiques réalisés sur les segments de ces profils. Cette technique demeure très adaptée avec les observations paramétriques des mouvements de terrain (Nadji et al, 2004). Les applications sont nombreuses et prometteuses, particulièrement pour l'estimation du taux de friction sismique et l'évaluation de l'activité néotectonique dans les régions asismiques (fig. 8).

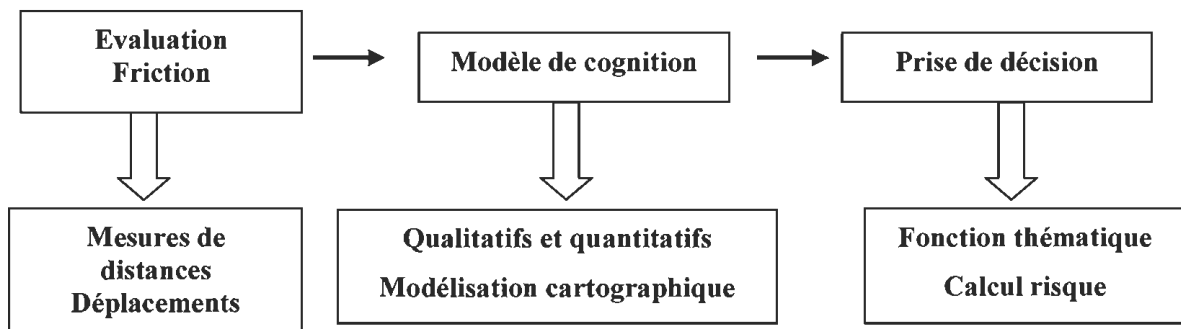


Fig. 8 Modèle cognitif permettant l'estimation du taux de friction

L'intérêt de ces applications en géologie structurale est surtout pour mettre en évidence la déformation surfacique à faveur des gradients de pente qui sont vraisemblablement significantes à la friction des terrains accidentés (Mansour et al, 2009).

Notant qu'à partir du fichier MNT (fig. 9) et lors de sa transformation en contours intégrant la direction de visualisation 'view-spécifique', on peut obtenir de meilleurs représentations des reliefs notamment la définition des rides et des bassins (endoreïques).

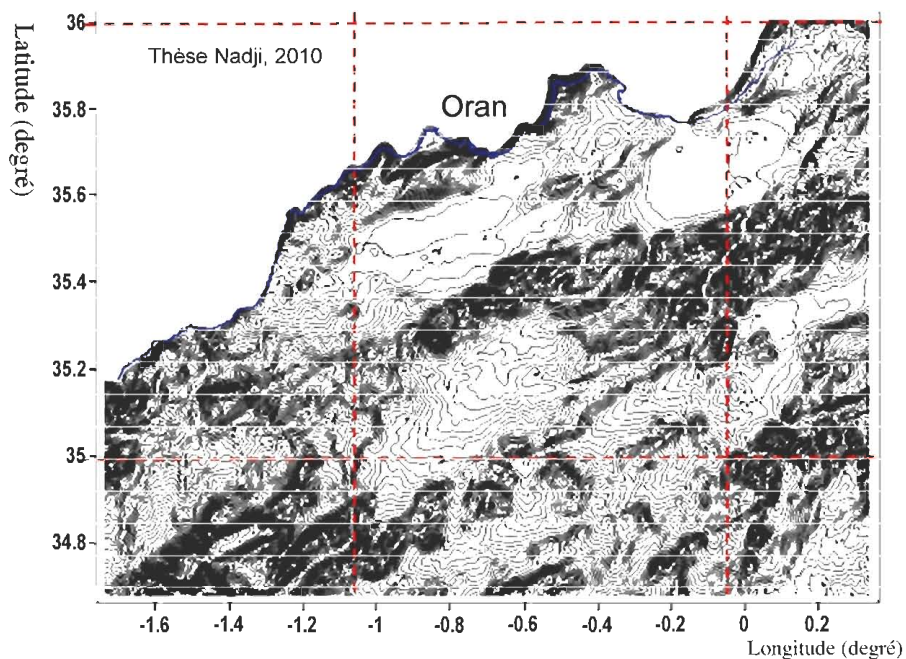


Fig. 9 Modèle numérique de terrain tramé au 1/100.000

Par ailleurs, l'acquisition du modèle tectonique associé à la dynamique des terrains permet d'en déduire la cartographie cognitive sur la morpho structure régionale; qui lors de son revêtement en éléments structuraux, on songe à restituer le schéma structural de la région (fig. 10) pour la prise de décision.

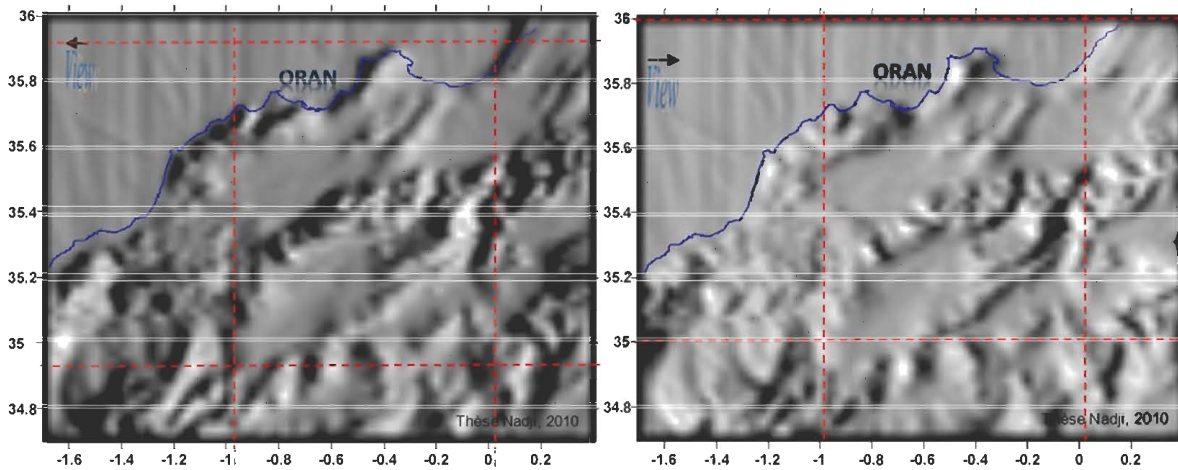


Fig. 10 Image surfacique filtrée selon la direction E - W et W - E

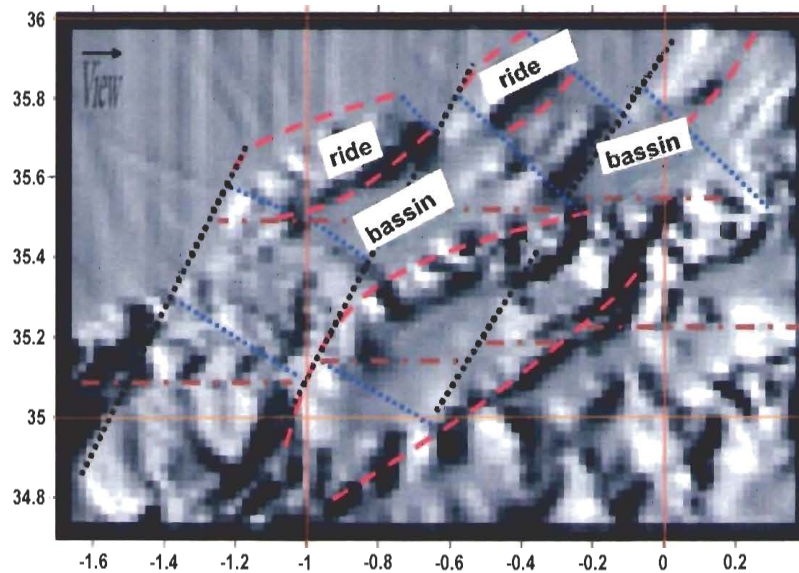


Fig. 11 Carte cognitive de la friction Morpho structurale affectant les rides et les bassins; associé aux éléments structuraux de la fracturation (Nadji, 2010)

L'application de cette technique sur la marge du littoral Oranais a donné de bons résultats, mettant en évidence des bassins et des rides (Nadji, 2010), séparés par d'accidents tectoniques (zones fragiles). L'acquisition du modèle tectonique associé à la dynamique des terrains permet donc d'en déduire la

carte cognitive qui délimite les éléments structuraux (fig. 11) pour la prise de décision.

La cartographie de cognition et la géométrie liées aux problèmes de visualisation et de perception offre un passage de calcul 2D a un calcul de mouvement 3D (fig. 12) facilitant ainsi une production cartographique sur le risque.

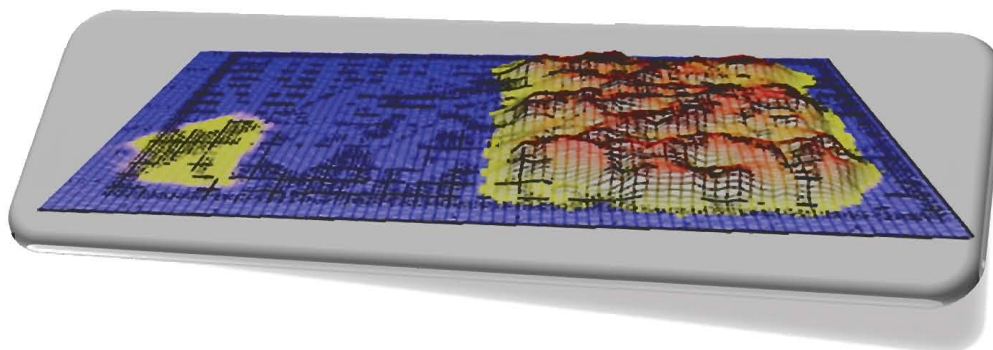


Fig. 12 Découpage Morpho-structural en rides et bassins

### 5. Résultats et commentaires

Le passage d'un calcul perceptif de flux d'images 2D à un calcul géométrique de projections de mouvements 3D permet une réduction drastique de complexité algorithmique. En effet, la géométrie euclidienne n'est pas une donnée mais une construction. Dans ce contexte, les applications menées en collaboration avec les différents

partenaires ont ouvert un nouveau champ d'investigation, mettant en évidence le besoin de traiter l'information à référence spatiale et ses conséquences pour la gestion du risque géologique. Sachant que les données utilisées sont insuffisantes pour maîtriser la gestion du risque géologique, il est nécessaire pour la cognition cartographique de prendre en charge les facteurs suivants :

- La localisation précise des objets porteurs de risque.
- La situation des unités et sous unités des bassins au sein des zones à risque.
- Consulter toutes les informations relatives aux bassins.
- Mise à jour automatique et en temps réel des nouvelles informations sur le risque.
- Création d'un système de gestion permettant par couches de visualiser les différentes données sur le risque.
- Résolution de problème de l'archivage et évité l'encombrement des plans.
- Précision et tolérance : transmettre en précision angulaire (0.1mm x Echelle).

Il faut mettre en place un tableau récapitulatif de toutes les précisions voulues selon des seuils préétablis. L'analyse de comportement des réseaux de surveillance à l'aide des symboles présentant les principaux incidents ainsi que l'élaboration de carte d'intervention permet d'ajuster les les Plans de Prévention des Risques (PPR).

La trilogie Accident / Intervention / Prévention doit être mise en évidence pour une meilleure appréhension de l'espace (Zeroual, 2002).

La solution cartographique intègre l'ensemble des données pour permettre une rédaction efficace du Plan de Prévention du Risque (fig.13).

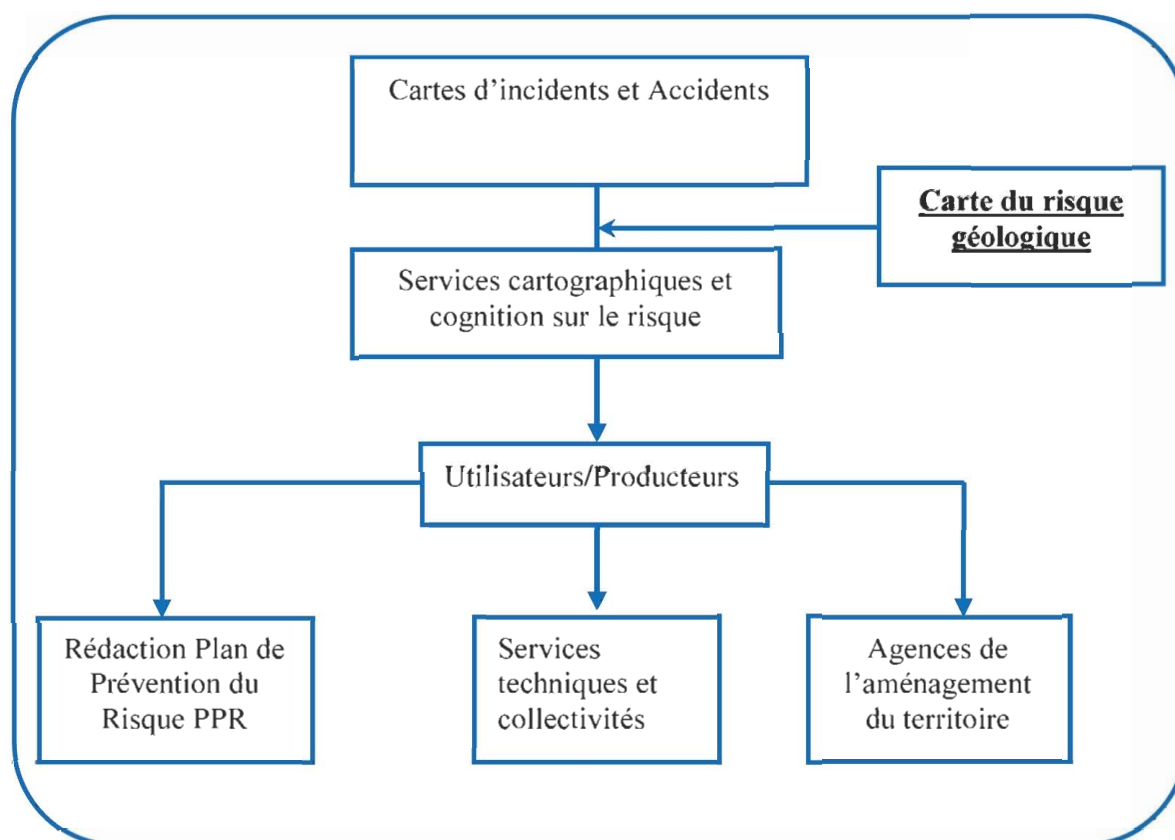


Fig. 13 Position de la carte du risque géologique dans le circuit fonctionnel

## 6. Conclusion

La démarche cognitive proposée dans le cadre de ce travail pourra servir à l'élaboration d'une politique visant à prévenir des inondations, des mouvements de terrain et des scénarios pour le risque géologique. Les zones vulnérables pourront faire l'objet de réglementation spécifique, concernant la localisation

des zones urbaines et industrielles, et l'aménagement du territoire. L'organisation des opérations de secours et la mise en place de plan d'urgence pour la gestion du risque seront des perspectives de cette étude en incluant les outils de la géomatique. La cartographie préventive des zones susceptibles d'instabilités reste à compléter dans le cadre de la cognition.



Les objectifs assignés dans le contexte d'une visualisation scientifique se sont basées sur les deux principes suivants :

- exploitation numérique des seules données cartographiques immédiatement disponibles (topographie et géologie), structurée et guidée par certains travaux locaux ;
- équilibre recherché entre les efforts fournis pour réaliser une cartographie à base numérique et le travail de terrain nécessaire à la validation finale.

D'un autre coté ; des points positifs sont à noter :

- l'intérêt de disposer, sur le terrain lors de la phase de tracé définitif, d'une cartographie préliminaire, basée sur des paramètres objectifs. Une fois la validité de la carte établie sur le terrain pour une zone donnée, le tracé peut être considéré comme fiable sur un secteur nettement élargi, dans la mesure où il reste homogène dans ses caractéristiques géo morphologiques. Cet aspect permet des gains de temps extrêmement appréciables. Il reste que la mise en place d'un modèle géologique 3D constituera à terme un facteur d'efficacité supplémentaire très important pour la cognition cartographique.
- les bons résultats obtenus globalement par la méthode de cartographie numérique. En Effet, seules des modifications limitées ont été apportées ponctuellement lors de la phase de validation terrain.

### Références Bibliographiques

Combe J. (1990). Gestion d'un espace industriel. *Revue XYZ n°45 – 1990 pp 50-60.*

Kaufmann M (2000). Information Visualization: *Perception for Design, Colin Ware, (2e édition).*

Laurini R et Milleret - Raffort (1993). Les bases de données en géomatique. *Edition HERMES.*

Fekete, J.-D., Plaisant, C. Proceedings of the Conference on Human factors in Computer Systems (CHI'99), ACM , New York, pp. 512-519.

Mansour, H., Zeroual, I., Nadji, A. et Foukrache, M. 2009. Utilisation de l'imagerie spatiale dans la gestion du risque géologique : bilan et perspectives. *Deuxièmes journées d'études sur la géologie Algérienne, Oran 14-15 décembre 2009 Univ-Oran, Algérie.*

Nadji, A., Mansour, H et Zeroual, I. 2004. Installation d'un réseau de surveillance des mouvements de terrain sur le littoral Oranais (RGEO). *2ème semaine scientifique des universités. Université d'Oran.*

Nadji, A. 2010. Etude sismotectonique du littoral oranais. Contribution à l'aléa sismique. *Thèse de doctorat d'état, 275p. Université d'Oran, Algérie.*

Rimbert S. (1990). Carto – graphies. *Edition HERMES pp 100-200.*

Pailhous J. (1979). Le Fonctionnement cognitif : utilisation des modèles ontogénétiques. *Aix-en-Provence : Université de Provence.*

Plaisant, C. 2002. Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis 2002), Boston, USA, Octobre

Zeroual I (1998). Structuration de l'information géographique pour la gestion de l'information - qualité dans les bases de données géographiques Numériques. *Thèse de magister (CNTS. ARZEW).*

Thierry P et L. Vinet 2002 Mapping an urban area prone to slope instability: Greater Lyons Bull. of *Engineering Geology and the Environment.*

Zeroual I (2002). Définition d'un prototype SIG en cartographie du risque. *Rapport de recherche (projet national de recherche PNR).*

## Application of Remote Sensing and GIS for Crop Inventory – Crop Discrimination, Acreage and Yield estimation – A case study Saharanpur district, Uttar Pradesh State (India)

D. Mansour Engr<sup>1</sup>, S.K. Saha Scientist "G"<sup>2</sup>, and N.R Patel Scientist/Engr. 'SE'<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centre of Space Techniques.

01 Avenue de la Palestine BP13 31200 Arzew .Oran  
(Phone:0798783766, e-mail Mansour\_dj80@yahoo.fr).

<sup>2</sup>Indian Institute of Remote Sensing.

Dept. of Space, Govt. of India

4, Kalidas Road, Dehradun - 248 001 (India),

(Phone: 0135-2524138, e-mail:sksaha@iirs.gov.in).

<sup>3</sup>Indian Institute of Remote Sensing.

Dept. of Space, Govt. of India

**ملخص :** يحلل هذا العمل منهجية و تقنيات تقييم المحاصيل بواسطة الكشف عن بعد و التمييز المرتكز على التصنيف المتشابه الأقصى، باستعمال معطيات ضوئية لمعرفة محاصيل فصلي الربيع و الخريف، و قد استعملت أيضا معطيات ساتلية لإعداد جرد للمحصول الزراعي.

تهدف هذه الدراسة لتقييم مساهمة تحليل الصور المتعددة الأزمنة لإعداد جرد لاستغلال الأراضي الزراعية. تم إجراء هذه الدراسة في منطقة ساهارانپور التابعة لولاية أوتار برادش في الهند لتقييم المردود الفلاحي خلال سنتي 2005 و 2006.

و قد تم استعمال نوعين من المعطيات في هذه الدراسة: IRS C1-LISS III بالنسبة لـ 15 أكتوبر 2005 و IRS C1-LISS III بالنسبة لـ 12 فيفري 2006. في هذه الدراسة، قمنا بإسقاط الحدود الإدارية لمنطقة ساهارانپور في جميع النطاقات الأربعة. و قد تم تحديد و تمييز المساحات المزروعة عن طريق التصنيف المتشابه الأقصى.

تبين النتائج المتحصل عليها عند تصنيف الصور المتعددة التواريخ لشهري فيفري و أكتوبر صحة الأرقام 91.41 % و 97 % على التوالي لشهري أكتوبر و فيفري.

**الكلمات الأساسية :** الكشف عن بعد، التصنيف الرقمي، المساحة، المردود.

### Résumé :

Ce travail analyse l'approche et les techniques d'évaluation des récoltes par la télédétection et la distinction basée sur la classification de maximum de vraisemblance, en utilisant des données optiques pour l'identification de récolte en saisons de Rabi et de Kharif. Des données satellitaires ont été utilisées pour réaliser l'inventaire des cultures. La présente étude a été conduite pour évaluer la contribution d'une analyse des images multi-temporelle afin d'élaborer l'inventaire d'utilisation des terres agricoles.

Cette étude a été effectuée pour la zone de Saharanpur de l'Etat d'uttar pradesh en Inde pour l'estimation de la surface cultivé des récoltes et la distribution des rendements, durant les années 2005 et 2006. Deux types de données ont été utilisées dans cette étude : IRS C1- LISS III de 15octobre, 2005 et IRS C1- LISS III de 12 février 2006. Dans cette approche, la limite administrative de la zone de Saharanpur était superposée sur l'image de télédétection pour extraire l'image de la zone de Saharanpur dans chacune des quatre bandes. Les surfaces cultivées ont été identifiées et estimées en suivant la classification automatique de maximum de vraisemblance. Les résultats obtenus de la classification des images multitemporelles de Février et d'Octobre montrent des exactitudes de 91.41% et 97% respectivement pour Octobre et Février.

Par ailleurs, l'image de distribution des rendements pour le mois de Février a été effectuée à partir de la relation entre NDVI et les rendements. On a observé que le rendement du blé est plus important (32 à 38 q/ha) couvrant 39% du secteur d'étude.

**Mots clés :** télédétection, classification automatique, superficie, rendement.

**Abstract :**

This paper reviews the application of remote sensing techniques and maximum likelihood classification for crop discrimination, using optical data for crop identification in both crop seasons (Rabi' and Kharif').

Satellite data are extensively used to produce the crop and land use inventory. The present study was conducted to evaluate the contribution of multi-temporal images analysis to elaborate the cropland land use inventory.

This study has been carried out for Saharanpur district of Uttar Pradesh State for crop acreage estimation and yield distribution, during Rabi and kharif of the year 2005-2006. Two types of data have been used in this study – IRS 1C- LISS III for October 15, 2005 and IRS 1C- LISS III for February 12, 2006. In this approach, the district administrative boundary of Saharanpur district was overlaid over the remote sensing image to extract the image Saharanpur district in all four bands. Then crops area were identified and estimated by following supervised maximum likelihood digital classification. Statistic results of multitime images classification of March and October, show accuracies 91.41% and 97% respectively for October and February. As well as the yield distribution around 39% of geographical area of Saharanpur district between 32q/ha to 39q/ha.

**Keywords :** remote sensing, digital classification, crop inventory, acreage, yields.

## Introduction

Agriculture constitutes the largest sector in economy of India. Majority of the population, directly or indirectly, dependent on this sector. It contributes about 24 percent of Gross Domestic Product (GDP) and accounts for half of employed labour force and is the largest source of foreign exchange earnings. It feeds whole rural and urban population. Realizing its importance, planners and policy makers are always keen to have reliable area and production statistics of agricultural crops well in time.

Policy makers primarily need accurate and timely statistics for the important crops such as wheat, cotton, rice, sugarcane, maize etc. However, in recent years, due to persistent hikes in the prices of essential commodities like pulses, onions, potatoes, chillies and tomatoes, these crops have also gained in economic importance. Crop distribution and acreage, as well as yield, is the basic information necessary for agricultural management and policy-making. Remote sensing of the extent and distribution of individual crop types has proven to be useful to a wide range of end-users, including governments, farmers, and scientists.

Satellites remote sensing appear to be an issue of technical improvements in the field of agricultural statistics, as a point of view accurately and quickly than a homogenized desirable ways and reliable results.

## 1. Objectifs of this study

The present study attempts to fulfill the following objectives:

- Discrimination and acreage estimation of kharif and Rabi crops using digital processing techniques of satellite data IRS – 1C LISS III,
- Yield prediction of rabi crops using relationship between NDVI and yield.

This paper presents an approach aiming the development of remote sensing techniques for crop area estimation to support crop-forecasting systems at a district level. The overall system design aimed to support crop area estimation through digital classification.

\* There are three major crop seasons in India, viz., Kharif, Rabi and Zaid

<sup>1</sup> The Rabi crops are sown in the period between October and December and harvested in April and May (wheat, barley, peas, and mustard).

<sup>2</sup> Kharif crops they are sown in the months of June and July and are harvested in autumn months, viz., in September and October (rice, maize, sugarcane, cotton).

The Zaid is the summer season crop. Rice, maize, vegetables, sunflower and groundnut are grown during this season

## 2. The Study area

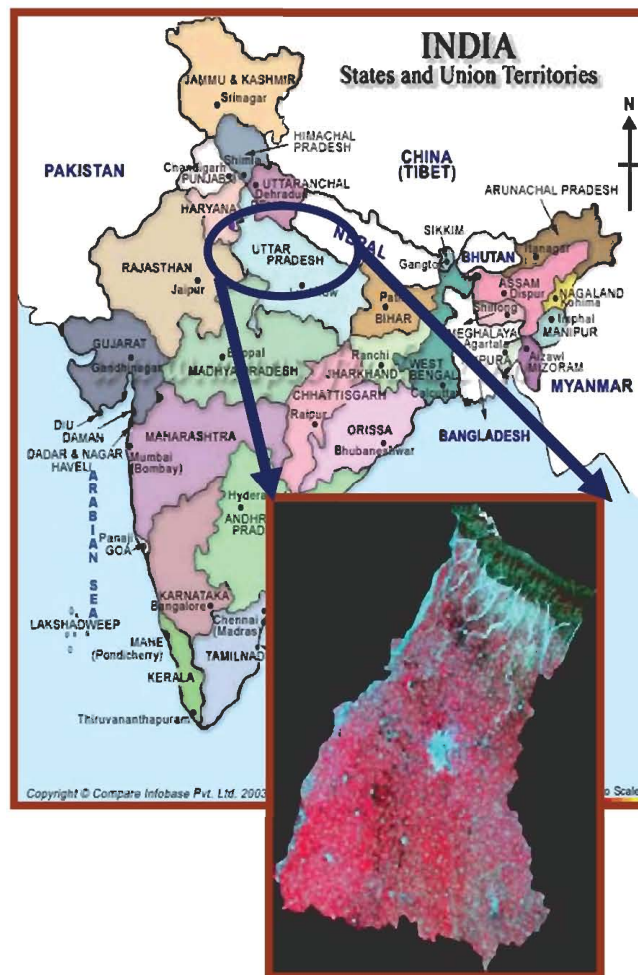


Fig. 1 Location of the study area (Official website of Govt of U.P. And Department of Agriculture, U.P)

Saharanpur district is bounded on the two sides i.e. in North by Dehradun and in west by Haridwar districts of Uttaranchal, on East by Ambala and Karnal district of Haryana state, and on South by Muzaffarnagar district of Uttar Pradesh. The total area of district is 3689 km<sup>2</sup> with a density of 785 persons per square km. It has 11 blocks, namely Sadauli Qadeem, Muzaffarabad, Puwarka, Ballia Kheri, Sarsawan, Nakur, Gangoh, Rampur Maniharan, Nagal, Nanauta and Deoband.

### 2.1 Remote sensing data

IRS-1C LISS III (Indian Remote Sensing Satellite),  
LISS III 15 Oct 2005 kharif season (Path No: 90  
Row No: 50)  
LISS III 12 Feb 2006 rabi season (Path No: 90  
Row No: 50)

### 2.2 Complementary data

Survey of India (SOI) topographical maps sheets No 53/16 scale 1:50,000.  
District map of Saharanpur from administration boundary.  
Official website of Govt of U.P. And Department of Agriculture, U.P

## 3. Methodology followed

### 3.1 preparation of crop inventory

Crop identification and discrimination using remotely sensed data is based particularly upon the fact that individually crop has its own unique spectral signature.  
Typical spectral reflectance of a particular crop



absorption due to pigments in visible region (0.4-0.7  $\mu\text{m}$ ) and high reflectance in near infrared region because of interval cellular structure of leaves. Vigor of the crop is manifest in the absorption in the red and reflectance in the near infrared region (Navalgund et al 2002).

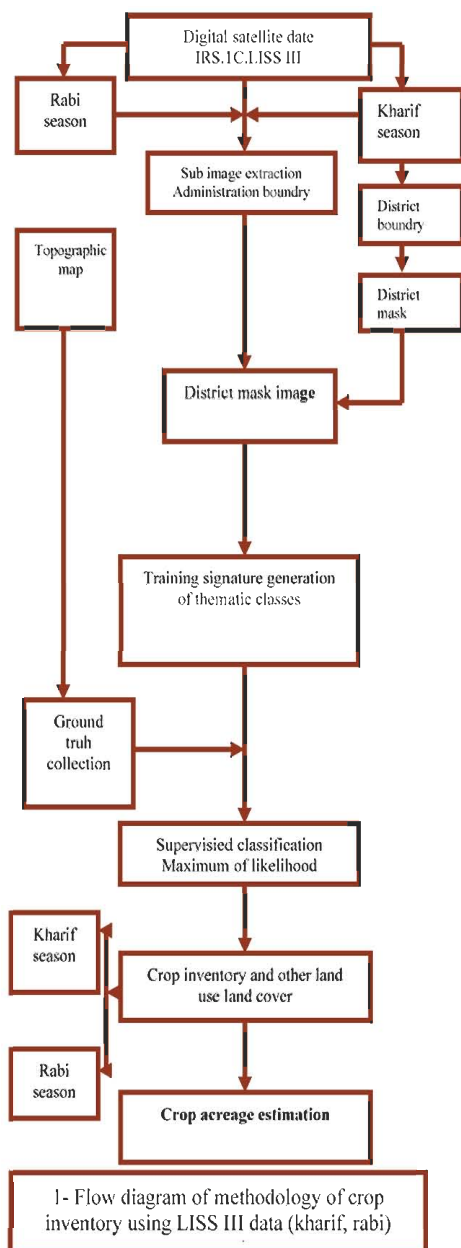
**3.2 Spectral characteristics**

Identification and discrimination of dominate crop wheat from other land use /land cover in the study area was carried out following digital supervised classification using IRS-C LISS III data. All classes of land use / land cover have distinct spectral responses in all four bands of IRS-1C LISS III data.

Low vigour wheat crops showed high spectral reflectance in band 4 (NIR) and band 2 (Red) compared to high and moderate vigor wheat crops.

Low vigor wheat crops due to low Lai, low biomass, low canopy moisture content, less chlorophyll content per unit area have high reflectance in band 2 and 4.

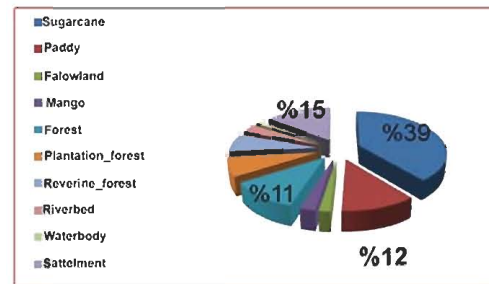
Sugarcane crop which are at maturity stage, shows different spectral response in all 4 bands as to compare to wheat crops. So, sugarcane crop can be spectrally separable from wheat crops. Fallow land, horticultural plantation other non-agricultural land cover classes were also spectrally separable from crop cover classes.



### 3.3 Crop acreage estimation

Wheat is the dominant crop in the study area during Rabi season. The crop acreage estimation and discrimination and other land use /land covers were carried out following digital supervised classification using maximum likelihood classifier (MLC) algorithm.

The false color composition (FFC) and digital classified image (LIIS III Rabi season), for kharif season the dominant crops are sugarcane and paddy, MLC also was carried for the crop acreage estimation and identification of this crops and other land use /land cover. The classified image for kharif season 2005 is given in fig2.



Graph. 1 Crop acreage estimation from digital classification IRS-1C LISS3 Kharif season

The classified image for Rabi season 2006 is given in fig3.

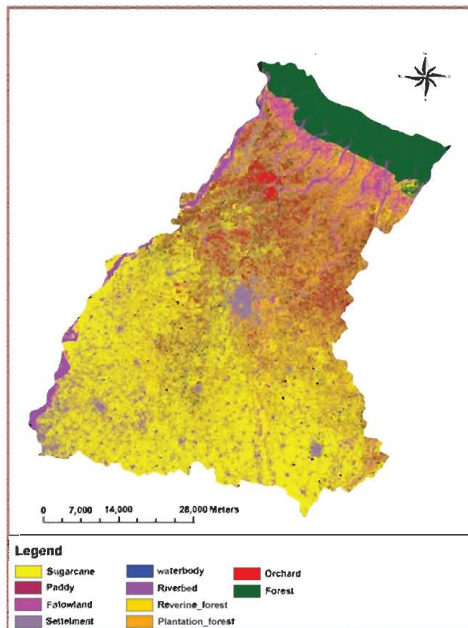


Fig. 2 Crop and land use inventory ,Saharanpur Dist,UP. IRS-1C LISS III October 15,2005.

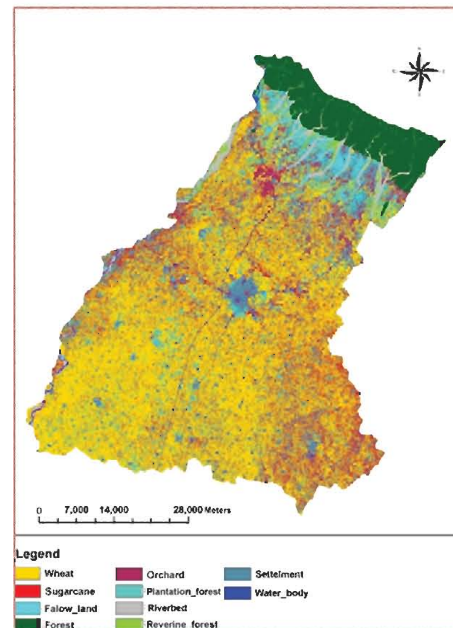
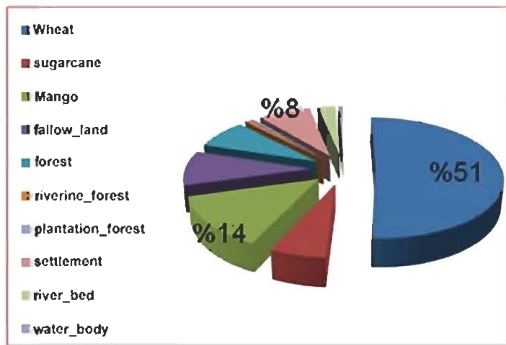


Fig. 3 Crop and land use inventory ,Saharanpur Dist,UP. IRS-1C LISS III February 12,2006.

Area under various land use / land cover was derived from the classified image and given in the Graphe 1, the major area is under sugarcane 39.2%, paddy 11.6% and

Follow land 1.8%. From field observation it was found that this area includes rice harvested field and area kept ready for wheat sowing. Mango occupies 14 % of the geographical area.

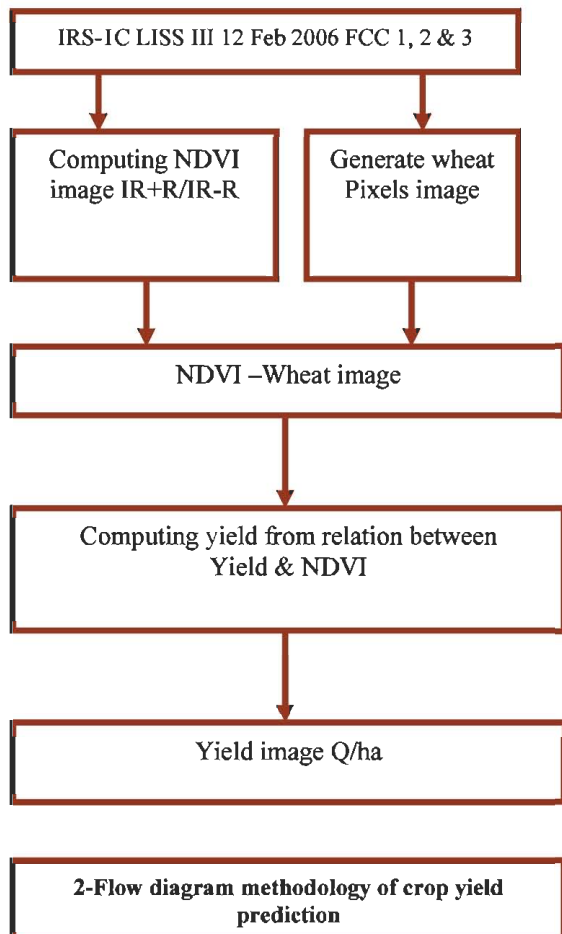
Area under various land use /land cover was derived from the classified image and given in the Graphe 2. The major area under wheat crop 50.89%, sugarcane 6.03% and fallow land 9.25 %. Wheat is the major Rabi season cereal grown in Saharanpur district.



Graph. 2 crop acreage estimation from digital classification IRS-1C LISS III rabi season

#### 4. Crop yield estimation

For yield prediction of dominant Rabi crop wheat, we used relationship between yield and NDVI. The flow diagram of the methodology of crop yield prediction using spectral indices is presented in the flow diagram (Patel, N. R.; Manjunath, M. N.; Shukla, M. R. and Pande, L. M. (2004))



In this study spectral indice was used, is NDVI.

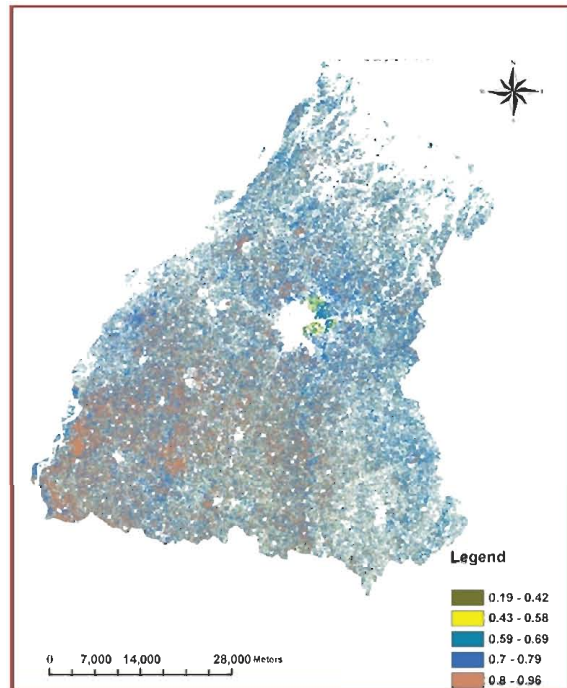
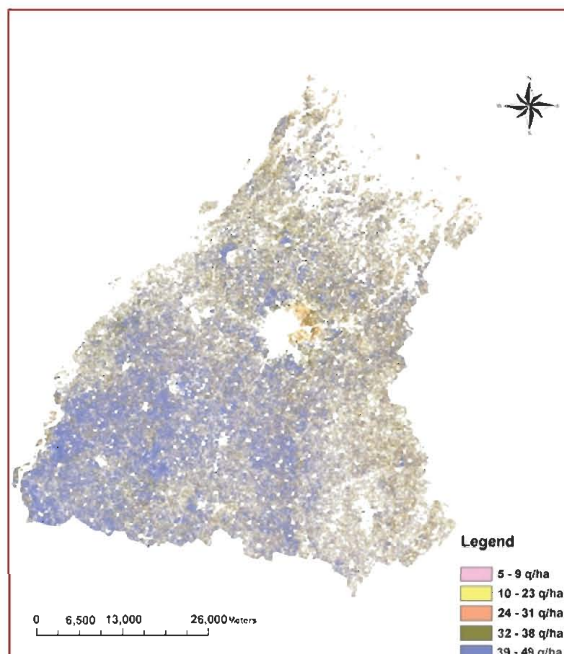


Fig. 4 Radiance NDVI of wheat crop ,Saharanpur Dist, UP IRS-1C LISS III February 12,2006.

NDVI image was prepared from corrected B2 and B3 bands of IRS 1B, LISS -III sensor to represent quantitatively the vegetation coverage over the area. The value of the prepared NDVI image was ranging from -0.19 to 0.96. Higher the positive value of NDVI, higher is the wheat crop and its vigour. In case of district Saharanpur, the wheat is one of the major crops during Rabi season. Hence, major part of cultivated area was under wheat crop. Due to this fact, the correlation between mean NDVI and yield of wheat is expected to be high.

#### 4.1 Yield –NDVI relation for Saharanpur district

The NDVI values obtained from a combination of bands 2 and 3 of the IRS-1C LISS III, show better correlation with yield (Relation between Yield and NDVI of Saharanpur district developed by ASD, IRS was used, Saha, S. K; Patel, N. R. (2004))



**Fig. 5** Wheat yield distribution (based on relation yield/NDVI) ,Saharanpur Dist,UP, IRS-1C LISS III February 12,2006.

## 5. Conclusion

The results of the study lead to the following major conclusions:

Detailed discrimination and acreage estimation of major Rabi crop can be prepared by digital supervised classification of satellite data - IRS-1C LISS III.

The results of land use /land cover analysis reveal that the area of Saharanpur district fall under dominant kharif season sugarcane, the total cropped area (sugarcane and paddy) in kharif was 39.2%, 11.6% respectively. In Rabi season, wheat and sugarcane (50.89%, 6.03%) are the dominant crops. The major cropping system is the paddy-wheat followed by sugarcane.

IRS – 1C LISS III data can be used effectively for yield estimation of the dominant Rabi crop (wheat) using wheat yield – NDVI relationship. It was observed that the wheat yield in the study area is high (30 to 38 q/ha) covering 39.93% of study area.

It can be concluded that use of remote sensing data along with GIS was found as an effective tool for crop and land use inventory and acreage estimation,

also for the prediction of crop yield and their distribution. This information is very useful components of agricultural statistics.

## Bibliographic references

- DADHWAL VK, Sehgal VK, Singh RP, Rajak DR (2003) Wheat yield modeling using satellite remote sensing with weather data: Recent Indian experience. *Mausum* 54(1): 253-262.
- Dubey, R. P. Kalubarme, M. H. Jhorar, O. P. and Cheema, S. S. (1987).Wheat yield models and production estimates for Patiala and Ludhiana districts based on Landsat – MSS and Agro meteorological data. *Scientific Note. IRS-UP/SAC/CPF/SN/08/87*, pp 1-34. Space Applications Center, Ahmadabad.
- Nain AS, DADHWAL VK, Singh TP (2004) Use of CERES-Wheat model for wheat yield forecast in central Indo-Gangetic plains of India. *J agricultural Science (camb.)*, 142: 59-70
- Patel,N.R.,B.BHATTACHARJEE,A. J. MOHAMMED, Tanu Priya and Saha, SK. (2006). Remote sensing of regional yield assessment of wheat in Haryana, India. *International Journal of Remote Sensing*, 27(19):4071-4090.
- Patel, N. R.; Manjunath, M. N.; Shukla, M. R. and Pande, L. M. (2004). Discrimination and empirical modeling of sugarcane and wheat crops using remote sensing and ground observations. *Asian Journal of Geoinformatics*, 4(4): 13-24.
- Saha, S. K; Patel, N. R. and Ahmed, M. (2004). Evaluation of IRS-P6 LISS III and AWiFS data for rabi crop inventory: a case study of part of western Uttar Pradesh. In: *Remote Sensing with Resourcesat-1: Early results*, NRSA, Hyderabad.
- Reddy, T. Y. and Reddi, G. H. S. (2003). *Principles of Agronomy*. pp: 48-77. Kalyani Publishers, Ludhiana, India.
- Singh RP, Sridhar V.N., DADHWAL VK, Singh KP, Navalgund RR (2002) Comparative evaluation of Indian Remote Sensing Multispectral Sensors data for crop classification. *Geocarto International*, 17(2): 5-9
- V.K. DADHWAL, R.P. SINGH, S.DUTTA & J.S. PARIHARI Remote sensing based crop inventory: A review of Indian experience.



## CALENDRIER DES MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

DATE ET LIEU	MANIFESTATIONS	SITE WEB	CONTACT
<p>1 au 5 Octobre 2012 Naples, ITALY</p> 	<p>63<sup>ème</sup> Congrès International d'Astronautique "IAC"</p>	<p><a href="http://www.iafastro.com/index.html?title=IAC2012">www.iafastro.com/index.html?title=IAC2012</a></p>	<p>IAF +33-1-45674260 +33-1-42732120 secretariat.iaf@iafastro.org</p>
<p>2 au 4 Octobre 2012 Kempton Park, Gauteng SOUTH AFRICA</p> 	<p>GISSA Ukubuzana 2012 Un dialogue africain: La géomatique pour le développement des infrastructures et la prestation des services</p>	<p><a href="http://www.espol.edu.ec">http://www.espol.edu.ec</a></p>	<p>Président de la Conférence: Dawn Newman newman.dawn @ gmail.com président du comité académique: Serena Coetzee serena.coetzee @ up.ac.za</p>
<p>7 au 11 Octobre 2012 Florianópolis, Santa Catarina state, Brésil</p> 	<p>10<sup>ème</sup> Congrè des Techniques Multiples du Cadastre COBRAC 2012</p>	<p><a href="http://www.cobrac.ufsc.br/">www.cobrac.ufsc.br/</a></p>	<p>Carlos Loch carlos.loch@ufsc.br Equipe d'organisation Cobrac2012@gmail.com</p>
<p>11 au 14 Octobre 2012 Saint-Dié-des-Vosges-France</p> 	<p>Festival International de Géographie de Saint-Dié des Vosges sur le thème: «La valeur des paysages»</p>	<p><a href="http://www.saintdie.eu/accueilfig">http://www.saintdie.eu/accueilfig</a></p>	<p>Responsable du Salon de la Géomatique : Claire Cuntz Université Lyon 2 Informations et inscriptions : <a href="http://www.fig.saint-die-des-vosges.fr/23eme-edition/le-salon-de-la-geomatique">www.fig.saint-die-des-vosges.fr/23eme-edition/le-salon-de-la-geomatique</a></p>

<p>15 au 18 Octobre 2012 Curitiba, Parana State BRÉSIL</p>  <p><b>SenGeF</b> X. Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal</p>	<p>10<sup>ème</sup> Séminaire sur la Télédétection et les Applications SIG en Génie Forestier</p>	<p><a href="http://www.10seminarioflorestal.com.br">www.10seminarioflorestal.com.br</a></p>	<p>João Roberto dos Santos <a href="mailto:jroberto@itid.inpe.br">jroberto@itid.inpe.br</a> Christel Lingnau <a href="mailto:lingnau@ufpr.br">lingnau@ufpr.br</a></p>
<p>16 au 18 Octobre 2012 Munich, ALLEMAGNE</p>  <p><b>LBS 2012</b> 9<sup>th</sup> Symposium on Location Based Services 16 - 18 October 2012 Technische Universität München Munich, Germany <a href="http://www.lbs2012.tum.de">www.lbs2012.tum.de</a></p>	<p>LBS 2012 9<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur les Services Basés sur la Localisation</p>	<p><a href="http://www.lbs2012.tum.de">www.lbs2012.tum.de</a></p>	<p>Comité d'Organisation: <a href="mailto:lbs2012@bv.tum.de">lbs2012@bv.tum.de</a></p>
<p>22 et 23 Octobre 2012 Guayaquil, ÉQUATEUR</p>  <p><b>LatinOSGIS 2012</b></p>	<p>La 1<sup>ère</sup> Conférence Amérique-latine sur les Sources Libres et Ouvertes SIG</p>	<p><a href="http://www.fiec.espol.edu.ec/LatinOSGIS/index.php">www.fiec.espol.edu.ec/LatinOSGIS/index.php</a></p>	<p>Dr. Maria A. Brovelli <a href="mailto:maria.brovelli@polimi.it">maria.brovelli@polimi.it</a></p>
<p>24 au 26 Octobre 2012 yverdon les Bains Suisse</p>  <p><b>OGRS</b> 2012 OPEN SOURCE GEOSPATIAL RESEARCH &amp; EDUCATION SYMPOSIUM</p>	<p>OGRS2012 : Le Symposium sur la Recherche dans les Sources Géospatiales</p>	<p><a href="http://www.ogrs2012.org">http://www.ogrs2012.org</a></p>	<p><a href="mailto:cfp@ogrs2012.org">cfp@ogrs2012.org</a> <a href="mailto:info@ogrs2012.org">info@ogrs2012.org</a></p>
<p>25 et 26 Octobre 2012 Shenzhen, CHINE</p>  <p><b>3D Cadastres</b></p>	<p>3<sup>ème</sup> Atelier Internationale FIG sur les Cadastres 3D: Développements et Pra- tiques</p>	<p><a href="http://www.cadastre2012.org">www.cadastre2012.org</a></p>	<p>Renrong JIANG (questions pratiques) <a href="mailto:Jiangrenrong@126.com">Jiangrenrong@126.com</a> Shen Ying (questions scientifiques) <a href="mailto:shy@whu.edu.cn">shy@whu.edu.cn</a></p>
<p>29 Octobre au 2 Novembre 2012 El Jadida, MAROC</p>  <p><b>AARSE</b> AFRICAN ASSOCIATION OF REMOTE SENSING OF THE GOVERNMENT</p>	<p>AARSE 2012 Observation de la Terre &amp; les sciences de geo-information pour l'environnement et le développement en Afrique: Vision Globale et de la synergie d'action locale</p>	<p><a href="http://www.aarse2012.org">www.aarse2012.org</a></p>	<p>Prof. Kamal LABBASSI <a href="mailto:kamal_labbassi@yahoo.fr">kamal_labbassi@yahoo.fr</a> <a href="mailto:abbassi@ucd.ac.ma">abbassi@ucd.ac.ma</a></p>

<p>29 Octobre au 03 Novembre 2012 Limassol CHYPRE</p> 	<p>4<sup>ème</sup> Conférence Internationale Euro-Méditerranéenne EUROMED 2012 Conférence Internationale sur le Patrimoine Culturel</p>	<p><a href="http://www.euromed2012.eu">www.euromed2012.eu</a></p>	<p>Marinos Ioannides <a href="mailto:gammat@cytanet.com.cy">gammat@cytanet.com.cy</a></p>
<p>5 et 6 Novembre 2012 Chambéry, France</p> 	<p>1<sup>er</sup> forum de la géoma- tique au service de l'humanité</p>	<p><a href="http://www.cartong.org/geong/2012">http://www.cartong.org/geong/2012</a></p>	<p>+33 (0)4 79 26 28 82 <a href="mailto:info@cartong.org">info@cartong.org</a> <a href="http://www.cartong.org">www.cartong.org</a></p>
<p>05 et 06 Novembre 2012 Alger, Algerie</p> 	<p>Le 2<sup>ème</sup> Colloque International sur Sols Non Saturés et Environnement 'UNSAT Alger 2012'</p>	<p><a href="http://unsat-dz.org">http://unsat-dz.org</a></p>	<p>Secrétariat UNSATAlger 2012 Faculté de Génie Civil USTHB, Alger B.P. 32, El Alia 16111 Bab Ezzouar Tél : (+213) (0) 21 24 72 24 Fax : (+213) (0) 21 24 79 14 E-mail : <a href="mailto:unsat2012@gmail.com">unsat2012@gmail.com</a> <a href="mailto:unsatalger@unsat-dz.org">unsatalger@unsat-dz.org</a></p>
<p>7 au 9 Novembre 2012 Liège, Belgique.</p> 	<p>Le Colloque SAGEO 2012</p>	<p><a href="http://www.sageo12.be/cms/">http://www.sageo12.be/cms/</a></p>	<p>Madame Anna POLETTO Téléphone : +32-4-366.57.42 Fax : +32-4-366.56.93</p>
<p>8 et 9 Novembre 2012 Sofia, BULGARIE</p> 	<p>XXII<sup>ème</sup> Colloque International sur les Technologies Modernes, l'Éducation et la Pratique Professionnelle</p>	<p><a href="http://geodesy-union.org">http://geodesy-union.org</a></p>	<p>Prof. Georgi Milev +359 882356695 +359 2 980 60 74 <a href="mailto:milev@geodesy-union.org">milev@geodesy-union.org</a> <a href="mailto:milev@bas.bg">milev@bas.bg</a></p>
<p>13 au 15 Novembre 2012 Constantine, Algérie</p> 	<p>1<sup>er</sup> Colloque International sur les Applications Géophysiques de Subsurface CIAGS</p>	<p><a href="http://www.umc.edu.dz">http://www.umc.edu.dz</a></p>	<p>Professeur SHOUT Hocine : <a href="mailto:shouthocine@umc.edu.dz">shouthocine@umc.edu.dz</a></p>

<p>22 et 23 Novembre 2012 Vienne, Autriche</p> 	<p>Symposium International sur le Service-Orienté Cartographique</p>	<p><a href="http://somap.cartography.at/">somap.cartography.at /</a></p>	<p><a href="http://somap.cartography.at/?&amp;mailform">http://somap.cartography.at/?&amp;mailform</a></p>
<p>26 au 30 Novembre 2012 Pattaya THAÏLANDE</p> 	<p>ACRS 2012 La 33<sup>ème</sup> Conférence Asiatique sur la Télédétection</p>	<p><a href="http://acrs2012.gistda.or.th/">http://acrs2012.gistda.or.th/</a></p>	<p>Kohei CHO +813-3481-0611 +813-3481-0610 <a href="mailto:cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp">cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp</a></p>
<p>13 au 16 Décembre 2012 Enschede, PAYS-BAS</p> 	<p>Le 8<sup>ème</sup> Symposium International sur la Géo-information pour la Gestion des Catastrophes</p> 	<p><a href="http://www.gi4dm">http://www.gi4dm.</a></p>	<p>Sisi Zlatanova <a href="mailto:s.zlatanova@tudelft.nl">s.zlatanova@tudelft.nl</a> Rob Peters <a href="mailto:RPeters@vrk.nl">RPeters@vrk.nl</a></p>
<p>16 au 18 Décembre 2012 Xiamen, CHINE</p> 	<p>CVRS2012 Conférence Internationale sur la vision de de l'informatique dans la télédétection</p> 	<p><a href="http://cvrs2012.xmu.edu.cn">http://cvrs2012.xmu.edu.cn</a></p>	<p>Prof. Dr. Jonathan Li <a href="mailto:CVRS2012@gmail.com">CVRS2012@gmail.com</a></p>
2013			
<p>19 au 21 Février 2013 Imagina – Monaco</p> 	<p>Congrès sur l'innovation numérique pour la conception et la préservation du monde</p>	<p><a href="http://www.imagina.mc/2013/">http://www.imagina.mc/2013/</a></p>	<p>Laurent Puons Tel. +377 93 10 40 54 Port. +33 6 03 23 63 84 Responsable Marketing Louise Zufferey Tel. +377 93 10 40 51 Port. +33 6 43 91 00 25</p>
<p>13 au 15 Mars 2013 Heidelberg, Allemagne</p> 	<p>Géoinformatik 2013</p>	<p><a href="http://geoinformatik2013.de/index.php/en/">http://geoinformatik2013.de/index.php/en/</a></p>	<p>Prof. Alexander Zipf +49 6221 54-5533 <a href="mailto:zipf@uni-heidelberg.de">zipf@uni-heidelberg.de</a></p>



<p>24 au 26 Avril 2013 Novossibirsk, FÉDÉRATION DE RUSSIE</p> 	<p>Symposium International sur le Service-Orienté Cartographique</p>	<p><a href="http://somap.cartography.at/">somap.cartography.at /</a></p>	<p><a href="http://somap.cartography.at/?&amp;mail-form">http://somap.cartography.at/?&amp;mail-form</a></p>
<p>22 au 29 Avril 2013 Tainan, TAIWAN</p> 	<p>École d'été Internationale sur la Technologie Car- tographique Mobile 2013</p>	<p><a href="http://conf.ncku.edu.tw/mmt2013/">http://conf.ncku.edu tw/mmt2013/</a></p>	<p>Dr. Kai-Wei Chiang +886-6-237-0876#829 +886-6-237-5764 kwchiang@ mail.ncku.edu.tw</p>
<p>30 Avril au 2 Mai 2013 Tainan, TAIWAN</p> 	<p>École d'été Internationale sur la Technologie Cartographique Mobile 2013</p>	<p><a href="http://conf.ncku.edu.tw/mmt2013/">http://conf.ncku.edu tw/mmt2013/</a></p>	<p>Dr. Kai-Wei Chiang +886-6-237-0876#829 +886-6-237-5764 kwchiang@mail.ncku.edu.tw</p>
<p>12 au 15 Mai 2013 Saint-Pétersbourg RUSSIE</p> 	<p>IF &amp; GIS'2013 6<sup>ème</sup> Atelier International sur la fusion de l'information et les systèmes d'information géographique: challenges environnementaux et urbains</p> 	<p><a href="http://if-gis.com/">http://if-gis.com/</a></p>	<p>Dr. Y. Shalamaiko shal@oogis.ru</p>
<p>13 au 16 Mai 2013 Rotterdam, Pays-Bas</p> 	<p>Forum Géospatial Mondial 2013</p>	<p><a href="http://www.geospatialworldforum.org/~V">www.geospatialworldfo- rum.org/~V</a></p>	<p>25 Frans Halstraat, Zandaam PAYS-BAS Email: <a href="mailto:info@geospatialworldforum.org">info@geospatialworldforum.org</a></p>

<p>15 au 17 Mai 2013 Londres, Royaume-Uni</p> 	<p>UDMS 2013 29<sup>ème</sup> Symposium de Gestion des Données Urbaines</p>	<p><a href="http://www.udms.net">www.udms.net</a></p>	<p>Secrétariat de l'UDMS: <a href="mailto:contact@udms.net">contact@udms.net</a></p>
<p>12 au 14 Juin 2013 Istanbul, TURQUIE</p> 	<p>6<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur les progrès récents dans les technologies spatiales "Nouveaux moyens d'accès à l'Espace" RAST 2013</p>	<p><a href="http://www.rast.org.tr">www.rast.org.tr</a></p>	<p>RAST2013 Secrétariat +90-212-6632490, Ext. 4365+90-212-6628551 <a href="mailto:rast2013@rast.org.tr">rast2013@rast.org.tr</a></p>
<p>30 Juin au 5 Juillet 2013 Helsinki, Finlande</p> 	<p>25<sup>ème</sup> Conférence Interna- tionale sur l'Histoire de la Cartographie</p>	<p><a href="http://www.ichc2013.fi">www.ichc2013.fi</a></p>	<p>Directeur de la Conférence Antti Jakobsson <a href="mailto:antti.jakobsson@ichc2013.fi">antti.jakobsson@ichc2013.fi</a> Tél. +358 40 5823903 Skype: antti_jakobsson Secrétariat de la Conférence Mirja Metsälä : <a href="mailto:mirja.metsala@espoo.fi">mirja.metsala@espoo.fi</a> Tél. +358 44 2913162</p>
<p>25 au 30 Août 2013 Dresde, Allemagne</p> 	<p>26<sup>ème</sup> Conférence Cartographique Internationale</p>	<p><a href="http://www.icc2013.org/c">www.icc2013.org/c</a></p>	<p>Président du Comité d'organisation : Manfred F. Buchroithner Tél : +49 (351) 46337562 Fax : +49 (351) 46337028</p>
<p>27 au 31 Août 2013 Paris, France</p> 	<p>Conférence Internationale de Géomorphologie de l'AIG</p>	<p><a href="http://www.geomorphology-iag-paris2...">http://www.geomorphology-iag-paris2...</a></p>	<p>19, allées Jean Jaurès BP 61508 - 31 015 Toulouse Cedex 6 - France Phone : +33 (0)5 34 45 26 45 Fax : +33 (0)5 61 42 00 09</p>
<p>2 au 6 Septembre 2013 Strasbourg, France</p> 	<p>24<sup>ème</sup> Symposium sur la Documentation du Patrimoine 'CIPA'</p>	<p><a href="http://cipa.icomos.org">http://cipa.icomos.org</a></p>	<p>Prof. Pierre Grussenmeyer +33 678387152 <a href="mailto:pierre.grussenmeyer@insa-strasbourg.fr">pierre.grussenmeyer@insa-strasbourg.fr</a></p>

Coïncidant avec la célébration du 45<sup>ème</sup> anniversaire de sa création:

## **L'INCT organise la première Conférence sur l'Infrastructure Nationale des Données Géographiques (INDG'12)**

L'information géographique est désormais utilisée dans divers secteurs d'activités. Par son importance, elle s'est imposée dans la société moderne comme un outil incontournable d'aide à la décision et elle s'est positionnée au cœur des dispositifs de gestion liés aux domaines de l'aménagement du territoire, du développement durable et de la protection de l'environnement.

L'Institut National de Cartographie et de Télédétection, premier producteur de l'information géographique sur le territoire national, s'atèle depuis plus de quarante années à développer ses produits et ses capacités productives pour la mise à disposition de ses clients d'une information géographique utile.

Dans l'optique d'encourager la mutualisation de cette information, son échange et sa partageabilité, l'INCT organise les **09 et 10 Octobre 2012** la première Conférence sur l'Infrastructure Nationale des Données Géographiques (INDG'12) au Cercle National de l'Armée à Alger.

Cette rencontre qui se veut un lieu d'échange d'expériences et de discussions, traitera des aspects liés à la mise en place d'une infrastructure nationale de données géographiques. Elle regroupera des représentants de plusieurs acteurs nationaux ainsi que des experts étrangers afin de s'inspirer des expériences déjà vécues.

En marge de cette manifestation, des stands d'exposition seront animés par des sociétés activant dans le domaine, qui sont invités à exprimer leur intérêt pour participer à cette rencontre.



## Renouvellement des membres du Comité de Lecture et du Comité de Rédaction du BSG

*Deux nouveaux Comités (Comité de Lecture et Comité de Rédaction) ont été désignés pour animer la revue scientifique dénommée « Bulletin des Sciences Géographiques », éditée et publiée par l'INCT.*

*Le renouvellement des membres des deux Comités a été effectué en respectant les critères de sélection notamment pour le Comité de lecture qui reflète la crédibilité du contenu scientifique ainsi que la notoriété de cette revue qui est unique en Algérie dans ce domaine.*



Pour la première fois depuis sa création en 1997 :

### L'élargissement du Comité de Lecture du BSG à des compétences internationales

C'est dans le souci de l'amélioration de l'image du BSG et en lui conférant une dimension universelle qu'intervient l'élargissement de son Comité de Lecture à des compétences nationales et internationales, dans lequel devrait figurer des Sommités à l'instar de plusieurs revues scientifiques.

A cet effet, deux actions ont été entamées:

- un appel à candidature pour l'adhésion au Comité de Lecture du BSG a été lancé, le 04 octobre 2011, auprès des universités ainsi que les différents Centres nationaux spécialisés dans la recherche scientifique et technique (CTS, CRAAG, ASAL, CGS, CNERU, CDTA,... etc.).
- des contacts avec des sommités scientifiques étrangères et nationales connues dans le domaine des sciences géographiques.

Dans l'objectif de couvrir tous les domaines liés aux sciences géographiques et pour s'adapter aux normes internationales, notamment en matière de critères d'évaluation, les consultations ont été élargies à plusieurs personnalités scientifiques nationales et étrangères, d'où la sélection d'une nouvelle composante du Comité de Lecture, constituée essentiellement de personnalités scientifiques algériennes, conformément aux dispositions de l'article 5 de l'arrêté N°2058 / 99 / MDN / A2,

du 01 août 1999, portant création de la revue.

Le nouveau Comité de Lecture se compose de :

**1- Lt Colonel Naceur OMRANE**, (Coordonnateur)  
PhD, Directeur Technique à l'INCT

*Spécialité: Télédétection*

**2- Professeur Marc CÔTE**

Professeur émérite à l'Université de Provence.

*Spécialités: Géographie urbaine et rurale.*

**3- Professeur Jean-Pierre LABORDE**

Professeur des Universités, rattaché à l'Université Nice Sophia Antipolis.

*Spécialités : Hydrologie, Ressources en eau, Cartographie automatique, Hydroinformatique.*

**4- Professeur Benoit LAIGNEL**

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

*Spécialités: Géologie, Géomorphologie, Cartographie, SIG et analyses morphométriques.*

**5- Docteur Anne RUAS**

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

*Spécialités: Généralisation, Analyse spatiale, Représentation multiple et Cartographie.*



**6- Professeur SEMMOUD Bouziane**

Professeur des Universités en Géographie, Université Paris 8-Vincennes-Saint-Denis, rattaché au laboratoire de recherche Dynamiques Sociales et Recomposition des Espaces (LADYSS) UMR 7533 Paris 1, Paris 7, Paris 8 et Paris X.

*Spécialités: Géographie urbaine, géographie du développement et des inégalités, urbanisation, Métropolisation, développement, inégalités, migrations, services publics*

**7- Professeur SOUIAH Sid-Ahmed**

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

Rattaché au laboratoire de recherche Mobilités, Réseaux, Territoires et Environnement (MRTE) et du Groupe de Recherche sur le Maghreb et le Moyen-Orient (GREMANO).

*Spécialités: Géographie de la population, Cartographie et les SIG*

**8- Professeur OUABADI Aziouz**

Doyen de la Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire. Directeur du laboratoire de recherche « Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et Planétologie », USTHB-Alger.

*Spécialités: Géologie, Pétrologie, Géochimie et Géodynamique*

**9- Professeur IDRES Mouloud**

Chef du Département de Géophysique, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire, USTHB-Alger.

*Spécialités: Géophysique, Gravimétrie*

**10- Professeur MEBARKI Azeddine**

Directeur du laboratoire de recherche « Sciences du Territoire, Ressources Naturelles et Environnement (LASTERNE), Faculté des Sciences de la Terre, la Géographie et l'Aménagement du Territoire, Université de Constantine.

*Spécialités: Hydrologie générale et appliquée, Aménagement et Gestion durable des Ressources en Eau, Environnement, Cartographie*

**11- Professeur SMARA Youcef**

Directeur du laboratoire de recherche « Traitement d'Images et Rayonnement (L.T.I.R) », Département Télécommunications, Faculté d'Electronique et d'Informatique, USTHB-Alger.

*Spécialités : Traitement d'Image et rayonnement*

**12- Docteur HADEID Mohamed**

Maître de Conférences A, Directeur du laboratoire de recherche « Espace Géographique et Aménagement du Territoire (EGEAT) », Faculté des Sciences de la Terre, la Géographie et l'Aménagement du Territoire, Université d'Oran.

*Spécialités: Géographie rurale et urbaine, Cartographie automatique, Télédétection et SIG*

**13- Docteur HADJ ZOBIR Soraya-Irmgard**

Maître de Conférences A, Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université d'Annaba.

*Spécialités: Géologie, Hydrogéologie, Géochimie, Pétrologie, Ressources minérales et énergétiques.*

**14- Docteur KAHLOUCHE Salem**

Directeur de Recherche, Centre des Techniques Spatiales-Arzew.

*Spécialité: Géodésie*

**15- Docteur ABTOUT Abdeslam**

Maître de Recherche, Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG).

*Spécialité: Géophysique*

**16- Docteur BELHOCINE Mahmoud**

Maître de Recherche, Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA).

*Spécialité: Traitement d'images*

**17- Lt Colonel ABDELLAOUI Hacem**

Magister, Sous Directeur, Service Géographique et de Télédétection de l'ANP.

*Spécialité: Géodésie*

La nouvelle composante du Comité de Lecture, constituée de membres ayant les plus hauts grades académiques et spécialistes dans les domaines non couverts par l'ancien Comité de Lecture, tels que la Géographie urbaine et rurale, Géologie, Géomorphologie, Hydrologie, Géophysique,... etc, permettra sans aucun doute de donner plus de rayonnement au BSG et de couvrir d'une manière plus large les disciplines liées à l'information géographique en général.

La réunion d'installation du Comité de Lecture est prévue entre le 09 et le 10 Octobre 2012 à Alger et ce, en marge du séminaire organisé par l'INCT, sous le thème de « *L'Infrastructure Nationale des Données Géographiques (INDG'12)* ».

Lors d'une réunion qui a regroupé le nouveau Staff du BSG :

### Le Directeur de la Publication procède à l'installation du nouveau Comité de Rédaction du BSG

Le jeudi 21 juin 2012, le Colonel KESRAOUI Arezki, Directeur Général de l'INCT et en sa qualité de Directeur de la Publication, a présidé une réunion d'installation du nouveau Comité de Rédaction et ce, en présence du nouveau Président du Comité de Lecture, le nouveau Rédacteur en Chef ainsi que les nouveaux membres du Comité Rédaction.

Au cours de cette réunion, une brève présentation du BSG a été donnée, suivi par la présentation d'un bilan d'activités retraçant l'évolution de cette publication scientifique ainsi que les différents comités qui ont animé la revue depuis sa création en 1997.

Lors de son intervention, le Directeur de la Publication a souligné l'aspect académique du BSG et a demandé au nouveau Staff, non seulement de mettre en œuvre toutes les procédures et les tâches devant concourir à l'édition et à la publication de cette revue dans les délais requis, mais aussi de préserver la notoriété de l'unique revue en Algérie dans le domaine des Sciences géographiques.

Le nouveau Comité de Rédaction est composé de :



- **Mme GUEMDANI Razika**,  
Sous Directeur de la Recherche et Développement / INCT (Rédacteur en Chef) ;
- **Mr CHOUDER Mohamed Tahar**,  
Chef de Département Analyses et Synthèses /INCT ;
- **Cdt BOUKHEROUBA Sabredinne**,  
Centre de Réception et d'Exploitation de l'Imagerie Satellitaire (CREIS) ;
- **Capitaine AOUMER Toufik**,  
Sous Directeur des Travaux Spécifiques et Arts Graphiques /INCT ;
- **Capitaine KADDOUR DJEBBAR Abdelghani**,  
Chef du Laboratoire Géomatique /INCT.

### Le BSG en quelques chiffres :

- 15 ans d'existence
  - 26 numéros publiés dont quatre (04) numéros spéciaux :
    - BSG N°04, Spécial SIG (octobre 1999) ;
    - BSG N°05, Spécial Toponymie (avril 2000) ;
    - BSG N°06, Spécial Géodésie (septembre 2000) ;
    - BSG N°10, Spécial Aménagement du Territoire (octobre 2002).
  - 205 articles publiés depuis la parution de la revue en 1997
    - 05 Comités de Lecture :
      - 1<sup>er</sup> Comité, désigné en 1999 ;
      - 2<sup>ème</sup> Comité, désigné le 15 juillet 2000 ;
      - 3<sup>ème</sup> Comité, désigné le 09 décembre 2003 ;
      - 4<sup>ème</sup> Comité, désigné le 17 avril 2006 ;
      - 5<sup>ème</sup> Comité, désigné le 03 juin 2012.
    - 03 Comités de Rédaction :
      - 1<sup>er</sup> Comité, désigné en 2000 ;
      - 2<sup>ème</sup> Comité, désigné le 09 décembre 2003 ;
      - 3<sup>ème</sup> Comité, désigné le 03 juin 2012.

### Et aussi :

- Depuis le N°26, le BSG est édité en deux versions (française et arabe)
  - En 2012, le BSG prend une dimension Internationale par l'élargissement de son Comité de Lecture à des compétences internationales.

# 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 l'adresse suivante: [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.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](http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles_comptence/Pole_Documentation%20et%20valorisation.htm)

La notice bibliographique de la publication figure dans le volume annuel **n° 116, 2011**, ainsi que 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](http://prodig.univ-paris1.fr/umr/publications_documentaires/bgi_papier.htm)

Elle a aussi été 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:** inct99@wissal.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

**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: inct99@wissal.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 88 و 213 021 49 16 91  
البريد الإلكتروني : inct99@wissal.dz



# بيان الإشتراك

ثمن الإشتراك لمدة سنة واحدة (يتضمن عددين) :

- للطالب : 70 دينار جزائري
- للخواص : 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

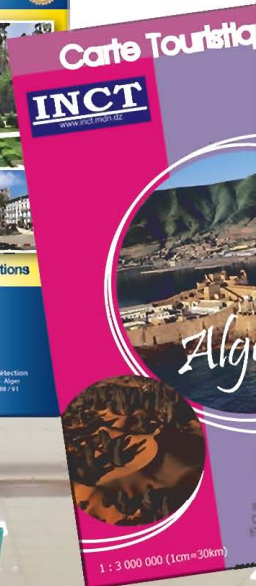
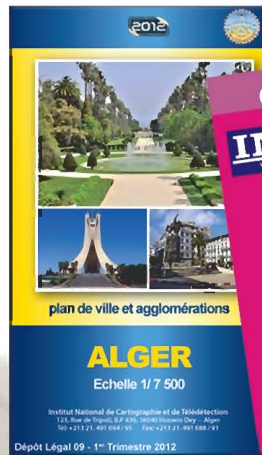
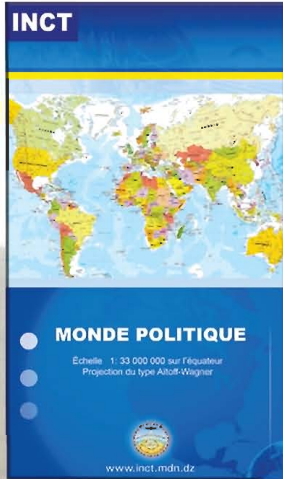
الرجاء إرسال هذا البيان للإشتراك مصحوبا بالتكاليف اللازمة إلى  
السيد المدير العام للمعهد الوطني للخرائط و الكشف عن بعد

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 88 و 213 021 49 16 91  
البريد الإلكتروني : inct99@wissal.dz

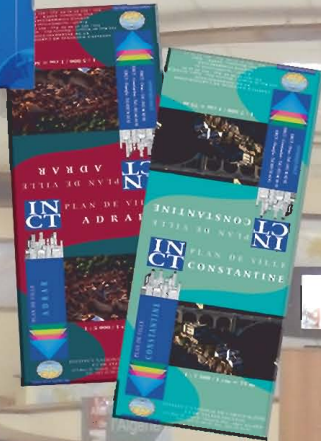




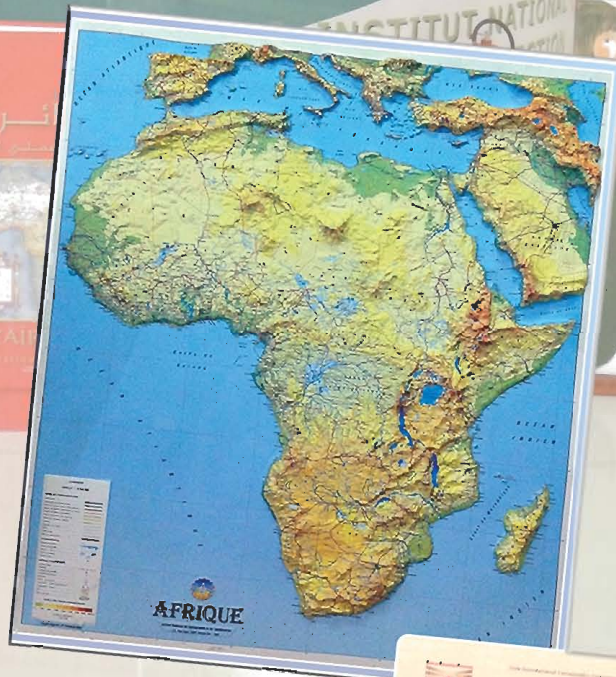
# Les nouveaux produits de l'INCT en 2012



Format Pocket



المعهد الوطني للخرائط والكشف عن بعد



Pour tous renseignements complémentaires sur les prix des produits de l'INCT consulter le barème des prix ou notre site web à l'adresse: [www.inct.mdn.dz](http://www.inct.mdn.dz)



# La première Conférence sur l'Infrastructure Nationale des Données Géographiques (INDG'12)

Réflexion sur le nouvel environnement de l'information géographique en Algérie

*Cercle National de l'Armée, les 09 et 10 Octobre 2012*



# INDG'12



**En partenariat avec :**



Bulletin des Sciences Géographiques  
Adresse : 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 : [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.dz)  
Site Web : [www.inct.mdn.dz](http://www.inct.mdn.dz)