

Octobre 2006 - 2<sup>ème</sup> Semestre • 9<sup>ème</sup> année • Prix 40 DA • Etranger 15 € • ISSN 1112-3745

# Bulletin des Sciences Géographiques

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

N° 18



Vue en 3D de la région d'Alger QuickBird Digital Globe™ distribué par Eurimage 2006





# INCT BULLETIN DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

N° 18  
Octobre 2006

Publication semestrielle, de l'Institut  
National de Cartographie et de  
Télédétection (INCT), Algérie.

Fondée en Octobre 1997  
N°18 - Octobre 2006  
ISSN 1112-3745

Responsable de la revue : INCT

**Éditeur :** Centre de la Documentation et de  
la Conservation de l'Information  
Géographique, INCT, Alger.

**Adresse :** Bulletin des Sciences Géographiques,  
INCT, 123, rue de Tripoli Hussein Dey 16040,  
BP 430, Alger, Algérie.  
**Tél:** (021) 47 09 20  
(021) 47 00 30  
**Fax:** (021) 23 43 81  
(021) 47 00 29  
**E-mail :** [inct99@vissal.dz](mailto:inct99@vissal.dz)

**Publicité :**

ANT Vertriebs GmbH  
Postfach 210403 80764  
Munich Allemagne .

**Tirage :**

400 Exemplaires

**Comité de Rédaction :**

- Mr. ABDEDOU Mohamed  
Sous Directeur des Travaux Spécifiques  
et Arts Graphiques, INCT (Président).
- Mr. DROUAI Fethallah  
Chef du CDCIG, INCT.
- Mr. DEGAICHIA Fethi  
Master, CT, INCT.
- Mr. CHOUDER Med Tahar  
Ingénieur, SDTS-AG, INCT.

**Comité de Lecture :**

- Mr. ABDELLAOUI Hassen  
Magister, INCT, (Président)
- Mr. BELBACHIR Mohamed Faouzi  
Professeur, USTO.
- Mr. OMRANE Naceur  
PHD, INCT.
- Mr. AYADI Abdelkrim  
Directeur de recherche, CRAAG.
- Mr. KAHLOUCHE Salem  
Directeur de recherche, CNTS.
- Mr. OUGUINI Rachid  
Maître de recherche, ASAL.
- Mr. GHEZALI Boualem  
Chargé de recherche, CNTS.
- Mr. SI MOHAMED Mohamed Arezki  
Chargé de recherche, CNTS.
- Mr. HADDAD Mahdi  
Magister, INCT.
- Mr. BOURIAHI Djelloul  
Ingénieur, INCT.

## Sommaire / Contents

Pages

<b>LA THERMOMETRIE GEOPHYSIQUE A L'ORB DE 1970 A NOS JOURS.....</b>	<b>2</b>
<i>M. VAN RUYMBEKE, J. RASSON &amp; G. TUTS</i>	
<b>DETERMINATION OF EVOLUTION OF THE ALTIMETRIC MEAN LEVEL OF THE WESTERN MEDITERRANEAN FROM THE JASON-1 DATA: COMPARISON WITH ANALYSIS OF TIDAL GAUGE MEASUREMENTS.....</b>	<b>13</b>
<i>M. HADDAD, H. ABDELLAOUI &amp; N. OMRANE</i>	
<b>DETERMINATION OF THE MEAN SEA LEVEL AT ALGIERS HARBOUR FROM THE TIDAL DATA ANALYSIS.....</b>	<b>18</b>
<i>M. HADDAD, H. ABDELLAOUI &amp; N. OMRANE</i>	
<b>DETERMINATION D'ALTITUDES PAR GPS / NIVELLEMENT APPLICATION : REGIONS D'ORAN ET DE CONSTANTINE.....</b>	<b>21</b>
<i>A. ZEGGAI, S. MEDJAHED, S.A. BEN AHMED, B. GHEZALI, R. AIT AHMED LAMARA, A. AYOUAZ &amp; H. TAIBI</i>	
<b>ETUDE COMPARATIVE DES MODELES D'AJUSTEMENT AVEC CONTRAINTES DES RESEAUX GEODESIQUES.....</b>	<b>26</b>
<i>B. GOURINE &amp; B. GHEZALI</i>	
<b>MISE A JOUR DE LA BASE DE DONNEES ROUTIERES : APPORT DU GPS .....</b>	<b>33</b>
<i>H. NECHNICHE, A. AYOUAZ, H. TAIBI, A. MENDES &amp; M. BENABDALLAH</i>	
<b>CARTOGRAPHIE PHYSIONOMIQUE DE LA VEGETATION FORESTIERE PAR TELEDETECTION SATELLITAIRE OPTIQUE DE MOYENNE RESOLUTION SPATIALE EN ZONES SEMI- ARIDES (OUEST ALGERIEN).....</b>	<b>38</b>
<i>K. BENCHERIF &amp; N. LETREUCH BELAROUCI</i>	
<b>LA CONTRIBUTION D'UN SIG ET L'IMAGERIE SPATIALE DANS LA PRESELECTION DES SITES ADEQUATS POUR LE STOCKAGE DES DECHETS SOLIDES URBAINS CAS DU BASSIN DE OUED EL MALEH .....</b>	<b>51</b>
<i>N. BENTEKHICI</i>	

Le Bulletin des Sciences Géographiques est indexé dans la  
*Bibliographie Internationale Geoabstracts et International  
Bibliography of the Social Sciences*

© 2006

Tout droit réservé pour tous pays,  
textes, illustrations, photos.

# La Thermométrie Géophysique à l'ORB de 1970 à nos jours

M. VAN RUYMBEKE<sup>1</sup>, J. RASSON<sup>2</sup>, G. TUTS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Observatoire Royal de Belgique

<sup>2</sup>Institut Royal Météorologique

## Mesures thermiques au laboratoire de géodynamique de Walferdange

### Introduction

La précision atteinte dans les laboratoires, de géophysique nécessite l'étude de tout Paramètre pouvant altérer les résultats des mesures.

A cet égard les influences thermiques doivent être considérées comme primordiales lorsque la période des phénomènes enregistrés dépasse les temps de relaxation thermique des composants employés...

L'intérêt porté à la thermométrie de précision répond aux questions soulevées par le Prof. P. Melchior, concernant l'enregistrement de certains effets induits par les marées terrestres. Dès 1970, de nouvelles techniques électroniques ont remplacé peu à peu les outils mécaniques et photographiques. Les sciences de l'observation des phénomènes naturels s'en trouvent bouleversées. Le calcul numérique se développa avec l'apparition d'ordinateurs capables de maîtriser les volumes d'informations nécessaires aux problèmes abordés. Des effets considérés comme négligeables devinrent synonymes de limites de précision.

Les précisions nécessaires aux interprétations théoriques requéraient le développement de méthodes originales. Cela a justifié notre intérêt pour la thermométrie adaptée à la quête des signaux les plus ténus. Seule la variabilité de la température est utile à nos recherches. Les périodes en jeu couvrent un spectre très large compris entre quelques secondes et plusieurs années.

Grâce à notre expertise qui fait l'objet de cet article, nous avons pu accepter de collaborer à la mise au point d'un capteur thermométrique à embarquer sur un satellite d'observation solaire.

## Etablissement de profils thermiques dans une galerie de la mine de Walferdange (Grand-Duché de Luxembourg)

La galerie d'accès au laboratoire géophysique (Fig. 1) a une longueur de 700 mètres pour une couverture de roche maximale de 100 mètres. De plus, la couche de gypse est enfermée entre deux couches de matériaux imperméables qui entravent totalement toute circulation d'eau dans la galerie. Dans de telles conditions, ce site peut être considéré comme très bien protégé des effets climatologiques.

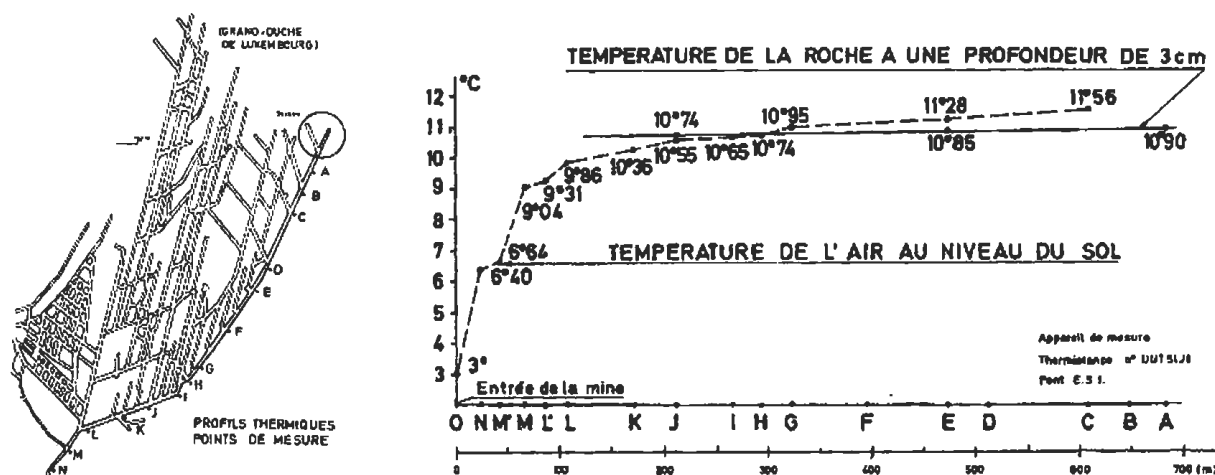


Fig. 1 Plan du réseau de galeries de Walferdange et graphique des profils thermiques réalisés le 10 novembre 1971, à 3 cm dans le sol et dans l'air.

\* Article publié dans le Bulletin de la Société Royale Belge d'Astronomie, de Météorologie et de Physique du Globe "Ciel et Terre" Vol. 122, N° 2, Mars-Avril 2006, et repris dans le BSG avec l'amiable autorisation de l'auteur.

Afin d'observer l'amplitude réelle de l'atténuation des fluctuations thermiques saisonnières, nous avons réalisé une série de profils d'une quinzaine de points de mesure. La sonde utilisée comportait une thermistance de très bonne stabilité dans le temps et de grande résistivité pour minimiser les effets de dissipation par effet Joule. Les mesures sont prises à 3 cm de profondeur dans la poussière des remblais.

On réalisa en complément un profil de la température de l'air qui confirma l'existence d'une convection naturelle induite probablement par l'inclinaison de la galerie.

La comparaison des profils sur une année (Fig. 2) démontre qu'il n'y a plus d'effet significatif à 200 m de l'entrée.

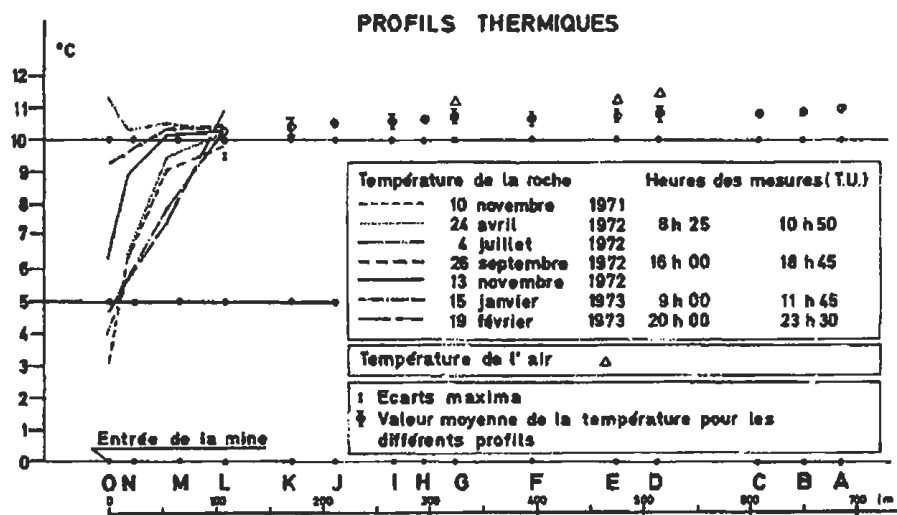


Fig. 2 Série de sept profils thermiques dans le sol.

### Etude des variations thermiques diurnes et semidiurnes

Cette problématique prit une très grande importance dans les observations de marées terrestres car les périodes liées aux rythmes circadiens (24h) sont communes aux inductions gravitationnelles et climatologiques. Ces composantes, qui contribuent à la composition du spectre des marées, ne peuvent pas être séparées! La seule issue consistera à minimiser au mieux l'impact thermique. Il en est de même pour les variations de la pression atmosphérique qui présentent une composante persistante ayant une périodicité de 12 heures, à laquelle s'additionnent des variations erratiques. En milieu souterrain, la température ambiante ne sera plus influencée par la climatologie extérieure, alors que les effets de variation de la pression atmosphérique continueront de se manifester, induisant des variations adiabatiques de la température. Afin de mieux maîtriser la situation, un travail métrologique dédié à la thermométrie s'organisa au sein de l'ORB.

Un jeune chercheur participa pour son mémoire de licence [Rasson, J., 1977] à ce projet en se fondant sur les expériences en cours dans l'ancienne mine de Walferdange (Grand-Duché de Luxembourg) qui

abrite l'un des plus célèbres laboratoires de géodynamique. Citons quelques extraits de son rapport de travail :

« Ces instruments (gravimètres, clinomètres, extensomètres) sont astreints à mesurer des grandeurs extrêmement petites... »

On devra pouvoir apprécier une variation inférieure à  $10^{-9}$  de g, à 0,1 nanoradian et à 1 nanomètre ! ... En raison de leur grande dimension, les extensomètres sont les plus sensibles aux variations de température.

On a vu que l'on était loin de leur assurer la stabilité du dix millième de degré. Il est donc nécessaire de pouvoir faire des corrections. Nous proposons de mettre parallèlement au cylindre extensométrique une barre d'aluminium dont on comparera en permanence la longueur à celle du cylindre par les techniques de mesure de micro-déplacements actuellement au point. Le prototype d'un tel thermomètre a déjà été construit. Il comparait la longueur (7 cm) d'une barre d'aluminium à celle d'un cylindre d'invar. On obtenait une résolution du millième de °C. Le dix-millième serait donc aisément atteint avec une pièce de 26 m ».

On retrouve ainsi le principe du thermomètre « mercure » dont les changements de volume microscopiques se lisent sur la longueur de la colonne qui occupe un capillaire de section infime.

En conclusion, les expansions thermiques, malgré leur petitesse, restent non négligeables lorsqu'on observe, en milieux souterrains, des phénomènes géodynamiques.

Ceci concerne les perturbations des signaux par des inductions d'origine thermique. Une situation inverse apparaît lorsque les phénomènes observés induisent eux-mêmes les variations de température. Analysons l'origine physique de ce type de mécanisme.

### **Etude des phénomènes géophysiques par l'observation des transferts d'énergie**

La géophysique est l'application des lois physiques à l'environnement terrestre. Elle couvre de multiples domaines tels que la météorologie, la sismologie, la vulcanologie, l'étude des marées terrestres et océaniques, etc. Il est important d'approcher les origines de tous ces phénomènes physiques par le concept de l'énergie.

L'énergie est une grandeur caractéristique d'un système et marque sa capacité à effectuer un travail. Tous les phénomènes physiques sont générés par des facteurs énergétiques, sous forme d'un transfert ou d'une transformation d'énergie sous une ou plusieurs autres formes.

Citons l'énergie mécanique (potentielle ou cinétique), l'énergie électrique (avec plus particulièrement le comportement des électrons), l'énergie rayonnante (lumineuse ou sonore), l'énergie thermique (les transferts ou les pertes et gains de chaleur, effet Joule), les énergies chimique et nucléaire.

Le principe général de conservation de l'énergie est particulièrement intéressant pour l'étude et l'enregistrement des phénomènes géophysiques : en effet, l'énergie peut se transformer d'une forme dans une autre, mais aussi se décomposer sous plusieurs formes. L'énergie totale d'un système isolé reste cependant constante. Si le système n'est pas isolé, tout apport d'énergie au système augmente l'énergie de celui-ci. A l'inverse, un tel système peut libérer de l'énergie vers le milieu extérieur et aboutir à un état de plus faible énergie. L'évolution spontanée d'un système non isolé tend vers un état d'énergie minimale.

Intéressons-nous particulièrement à l'énergie thermique, laquelle accompagne un grand nombre de phénomènes géophysiques. La chaleur est, comme nous venons de le rappeler, une forme d'énergie, susceptible d'être échangée entre deux corps. L'échange de chaleur se manifeste entre autre par la modification de la température. Cette dernière est une propriété thermodynamique du corps et mesure l'agitation de la matière correspondant à un des états énergétiques du corps. Elle se mesure en kelvin (K) défini légalement comme la 273,16° partie de la température thermodynamique du point triple de l'eau. Le zéro de cette échelle correspondrait à la température d'un corps d'énergie nulle. Cet état n'est évidemment pas accessible!

Pour mesurer la chaleur, nous utilisons principalement une des propriétés spécifiques des corps, dans certaines plages d'utilisation caractéristiques des conditions d'expérience. Il n'est par exemple pas possible d'utiliser un thermomètre à dilatation de mercure dans un volcan lorsque la température avoisine les 1000°C !

### **Mise en place de l'expertise thermique au sein de l'ORB**

La grande diversité des situations rencontrées par l'ORB, lors des observations géophysiques, a nécessité l'élaboration d'un système de métrologie propre à ses besoins. Rappelons que dans notre approche, la première partie d'un instrument est généralement constituée d'éléments de l'environnement naturel subissant les effets à étudier. Cette spécificité nous amena à la mise en place d'un concept défini en 1993, par l'acronyme EDAS pour « Environmental Data Acquisition System ». L'arrivée récente de collègues européens dans ce projet justifia de le convertir en « European Data Acquisition for Scientists » [van Ruymbek, M. & al., 1997a].

Définissons notre approche des éléments de la chaîne de mesure. Celle-ci se compose généralement d'un corps d'épreuve subissant l'effet d'une ou plusieurs mesurandes (nom donné aux paramètres observés). Un conditionneur transforme l'énergie captée par le corps d'épreuve, en un signal électrique enregistrable par un système d'acquisition de données. Le traitement de ces données par un logiciel adapté permet de préparer les graphiques et les tables à inclure dans le rapport de l'expérience.

Le système conçu à l'ORB privilégie l'uniformisation des chaînes de mesure. Le choix des

paramètres à observer et des corps d'épreuve mis en place restent à l'initiative du scientifique, ce qui justifie le « for Scientists » dans l'acronyme EDAS.

La standardisation est effective au niveau des conditionneurs, des signaux, des fichiers, des alimentations et de la présentation des résultats. Les signaux sont modulés en fréquence afin de disposer par comptage d'un signal résultant de l'application d'un filtre intégrateur rejetant les variations de courte période [Rasson, J., 1978] [van Ruymbeke, M. & Ducarme, B., 1978]. Le signal digital de sortie des compteurs est ensuite stocké par un système d'acquisition de données équipé de mémoires électroniques qui permettent de sauvegarder les informations avant le transfert vers un Pc. Le choix des noms de fichiers lors de l'archivage et du pré-traitement des enregistrements se fait de façon standard par un logiciel nommé MGR. Celui-ci comporte entre autre une procédure de traitement par « *stacking* », dénommé HICUM, qui permet d'extraire, pour une période déterminée, un signal de faible amplitude dans un environnement très « bruité » [van Ruymbeke, M. & al., 2003]. On sélectionne la période du « *stacking* » soit par le nom conventionnel de la composante sélectionnée suivant les conventions des études de marées, soit par l'argument de Doodson correspondant [Melchior, P., 1978], soit par sa durée. Cette méthode est linéaire et donc aisément applicable pour des recherches de tendances statistiques après application de tris des données suivant divers paramètres. Le logiciel MGR permet pour une périodicité déterminée de comparer simultanément par exemple, la présence d'un effet significatif dans des signaux d'un gravimètre, dans des positions données par un GPS et dans le contenu d'un catalogue sismique. Les graphiques obtenus pour deux histogrammes distincts, en mode de Lissajous, présentent les fonctions de corrélation comme le feraient des courbes paramétrées. On observera en priorité les périodes solaires S1 & S2, lunaire M2 et N2 ainsi que les périodes de battement telles que O1, P1, Mf, SAA, etc. Certaines présenteront uniquement des effets gravitationnels, tandis que d'autres sont composées de diverses inductions.

Le système EDAS est disponible grâce à un mode de production robotisé. Il offre un côté didactique indéniable. Citons par exemple, pour enregistrer de manière continue des paramètres météorologiques tels la température de l'air à l'intérieur ou à l'extérieur, la pression atmosphérique, la pluviosité, la luminosité, etc. De plus, comme nous l'avons indiqué, le système est validé par de nombreuses expériences dont quelques-unes sont décrites plus loin.

EDAS est peu coûteux, ouvert et extensible vers de nouvelles applications. Il est simple de compréhension et ne nécessite pas de compétences exceptionnelles. De tels systèmes enregistrent de par le monde et ce souvent dans des conditions très difficiles. Citons comme exemples, le sommet d'un volcan, un fond marin, une zone géothermale à plus de 200°C, une galerie de grotte saturée d'eau, un laboratoire pédagogique d'université, etc. Il constitue une solution pour les besoins scientifiques qui ne peuvent être rencontrés par les produits commercialisés, généralement conçus pour des demandes en très grand nombre.

Une part importante de EDAS se focalise sur la thermométrie de haute résolution. Nous avons privilégié des capteurs passifs n'influençant pas trop le milieu ambiant, avec le maximum de résolution et de stabilité ainsi que des petits temps de réponse.

Suivant les contingences, deux techniques sont envisagées dans notre approche utilisant soit les modulations de capacité électrique, soit celles de résistance électrique.

Avant d'aborder en détail l'utilisation des résistances variables avec la température (thermistances), décrivons un exemple de thermomètre à capacité variable.

### Thermomètre capacitif pour la mesure de faibles variations, à très haute température

L'ORB a construit un thermomètre permettant de mesurer les petites variations de température à une température de plus de 300°C dans une zone géothermale située sur le site de Timanfaya (île de Lanzarote, Canaries) (Fig. 3).



Fig. 3 Site de Timanfaya.

Ce thermomètre (Fig. 4) est constitué de trois parties métalliques coaxiales. Le cylindre intérieur, qui est plein, est introduit dans un tube, lui-même placé dans un autre tube qui sert de boîtier extérieur. Le cylindre intérieur et le cylindre intermédiaire sont les deux armatures d'une capacité dont la valeur est mesurée de manière continue par un oscillateur électronique. Les cylindres sont séparés par un fil d'amiante afin de minimiser la distance entre eux tout en évitant le risque de contact électrique. Lorsque la température est supérieure à 150°C, les circuits électroniques seront placés à une distance suffisante dans une zone protégée. La grande surface des armatures et la très faible distance qui les sépare permettent de disposer d'une capacité de plusieurs nanofarads et ainsi d'ignorer les capacités parasites

des câbles entre le capteur et son interface, qui sont négligeables. Le système est mis dans le sol. Le cylindre extérieur suit les variations de température ambiante tout en protégeant le thermomètre des effets du milieu environnant (par exemple, les mouvements du sol). Le tube intérieur étant constitué d'une grande quantité de matière, il présente une inertie thermique très supérieure au tube intermédiaire. La différence de temps de réponse des diamètres des cylindres intermédiaire et intérieur modifie par conséquent la capacité. Des systèmes EDAS basés sur ce principe enregistrent en continu, depuis 1995, la variation de température du milieu sur le site de Timanfaya [van Ruymbeke M. & al., 1997b].

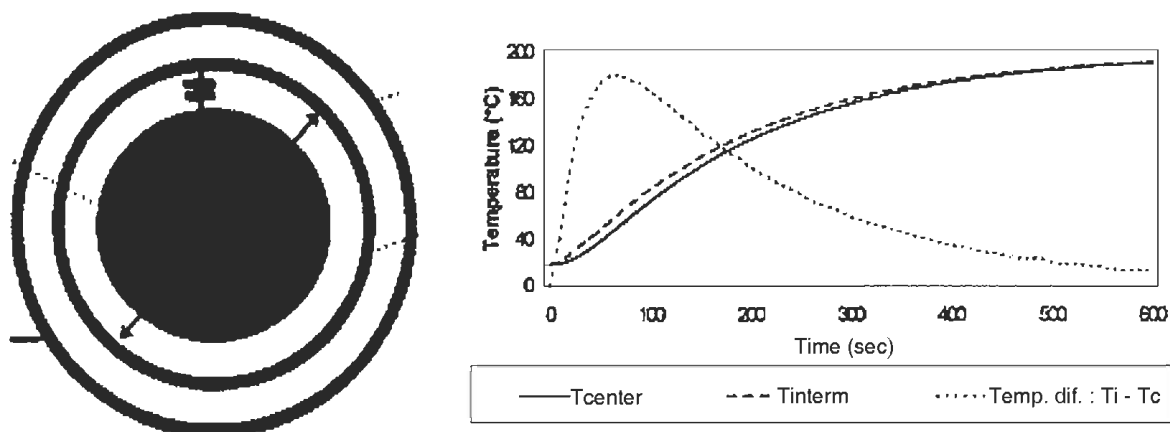


Fig. 4 (A gauche) : Section droite des cylindres constituant le thermomètre : cylindre intérieur plein (1<sup>er</sup> armature de la capacité) ayant une température Tcenter, cylindre intermédiaire (2<sup>em</sup> armature de la capacité) ayant une température Tinterm et cylindre extérieur de protection ayant la température ambiante à observer. La capacité électrique entre les deux armatures sera une jonction de la différence de température (Tinterm - Tcenter).

(A droite) : Le graphique montre les variations de Tinterm & Tcenter pour un échelon de 160°, ainsi qu'une courbe amplifiée de la différence (Tinterm - Tcenter).

### Mesures Thermiques par changement de résistance électrique

Travaillant avec et pour des scientifiques qui souhaitent connaître les variations d'énergie d'un système, nous privilégions de mesurer des variations avec une résolution maximale. Nous pouvons mesurer de très petits changements grâce à l'utilisation de thermistances bien caractérisées par leur fonction de transfert.

Une expérience permettant de fixer les possibilités limites accessibles avec les thermistances eut lieu en 1977, à Walferdange [van Ruymbeke, M. & al., 1998]. Nous avons placé le thermomètre et ses interfaces électroniques à un mètre de profondeur dans un forage situé dans le fond d'une galerie.

Après un an de stabilisation, une variation artificielle de température de 13 microkelvins (Fig. 5) fut générée par un échauffement induit par un courant appliqué pendant quelques minutes. Le graphique montre que le niveau du bruit sur le signal correspond à quelques microdegrés près et que le retour à l'équilibre du thermomètre après l'interruption de la chauffe ne présente pratiquement pas d'hystérésis.

Si on dispose de thermomètres dans des forages en communication avec des aquifères, on peut enregistrer simultanément le niveau de l'eau et sa température (Fig. 6).

Nous avons constaté que l'apparition de bulles de gaz crevant la surface de l'eau s'accompagnait généralement d'une augmentation de la température.

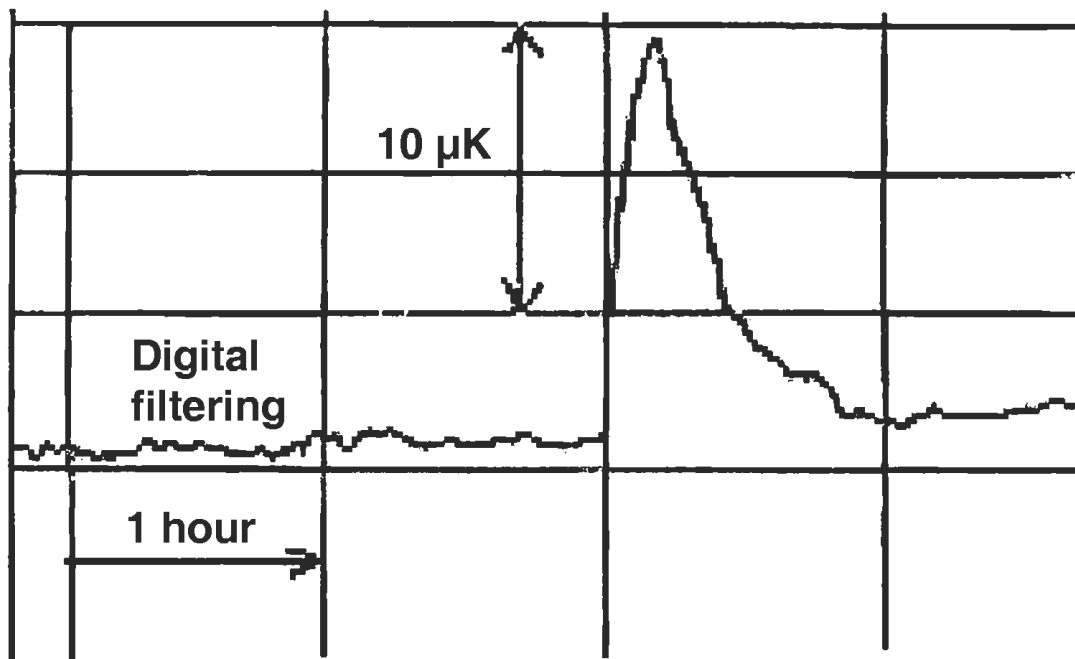


Fig. 5 Enregistrement à Walferdange, par le thermomètre équipé d'un pont de thermistances, d'une variation de température de 13 µK. Le site d'installation est le fond d'un forage d'un mètre de profondeur dans le gypse de la mine en bout de galerie.

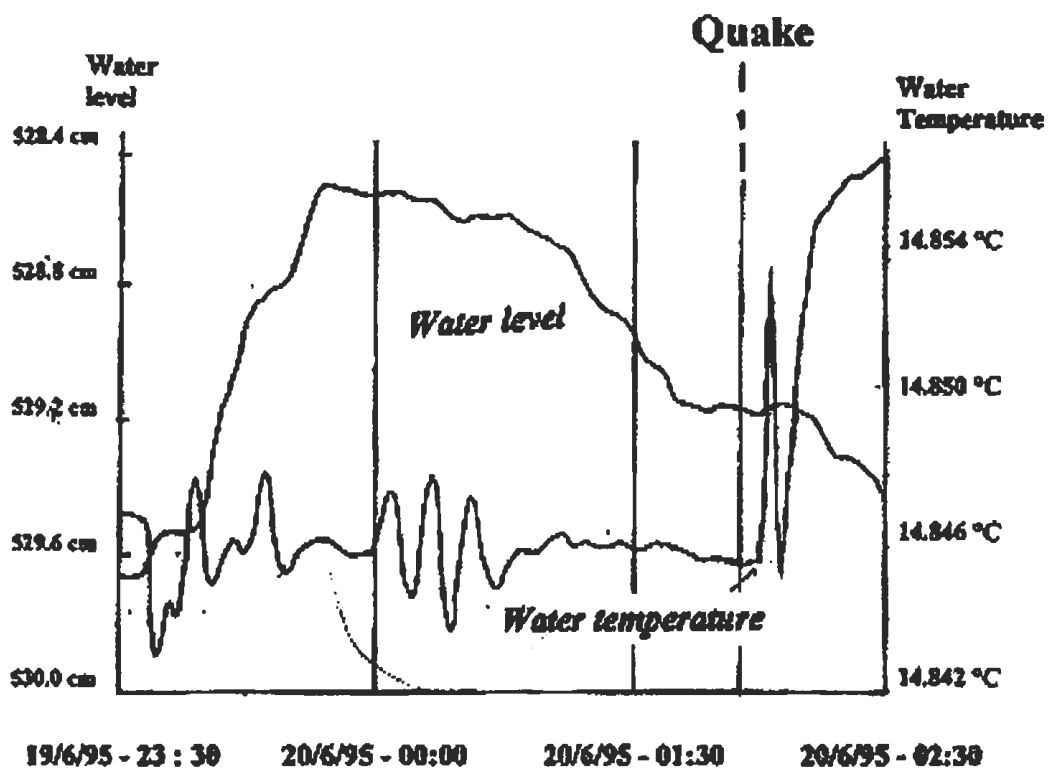


Fig. 6 Enregistrements simultanés du niveau d'eau et de la température dans un puits situé à la Faculté Polytechnique de Mons. L'échelle de gauche correspond au niveau d'eau (4mm par division) et celle de droite à la température (4 millidegré par division). On notera les variations thermiques induites par un tremblement de terre (quake) de magnitude 4,5 sur l'échelle de Richter situé à une distance de 13km du puits.



Ceci expliquerait l'augmentation de la température après la secousse sismique qui aurait libéré des bulles de gaz dans le fond du puits! Le déphasage de 6 minutes entre le séisme et la signature thermique proviendrait ainsi du délai nécessaire au transfert des bulles vers la surface.

Un autre exemple d'application de la thermométrie à la surveillance du mouvement de fluides fut mis en œuvre lors d'une éclipse totale de Soleil en 1994 [van Ruymbeke, M. & aL, 1998].

Un réseau EDAS, composé de plus de trente instruments de mesure, a été déployé au Brésil à cette occasion autour d'une station de gravimétrie et de clinométrie. On a ainsi pu observer les effets du passage de l'ombre de la Lune sur la pression atmosphérique, l'humidité, la luminosité et la température. Ayant à notre disposition des biologistes au centre de Pato Branco (Parana) qui nous a accueillis, nous avons profité de l'occasion pour expérimenter un capteur thermique placé dans les racines d'un eucalyptus (Fig. 7).

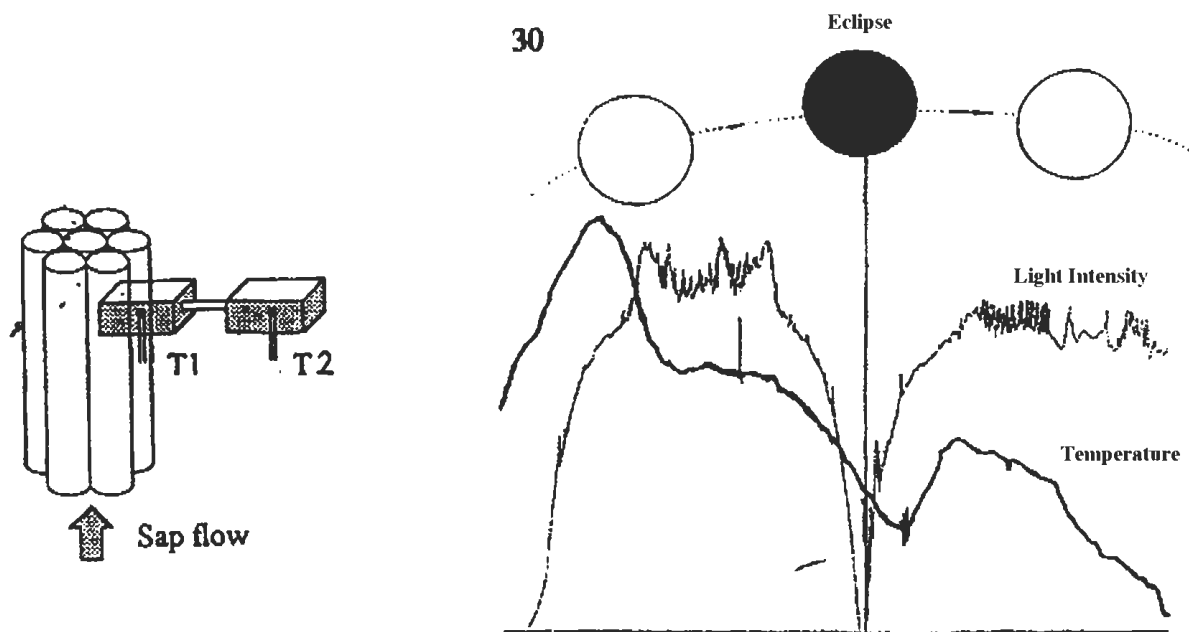


Fig. 7 (A gauche) : Modèle des deux masses dont les températures respectives sont T1 et T2. L'effet convectif de la sève agit sur T1 qui à son tour agit sur T2. Le signal repris sur le graphe est la différence entre T1 et T2. Après un délai suffisant, T1 et T2 se retrouvent à une même température et le signal revient à zéro! (A droite) : On observe simultanément les effets induits par l'éclipse sur la luminosité et sur la température enregistrée dans la racine de l'eucalyptus. Il apparaît une corrélation entre ces deux phénomènes. Notons l'existence d'un certain décalage entre les variations de luminosité, et celles en relation avec la signature thermique liée à l'évapotranspiration.

L'apport de chaleur venant du sol dépend de la vitesse d'écoulement de la sève. Si l'évapotranspiration se modifie, une variation de la convection induit une signature thermique. Des mesures différentielles ont été réalisées à l'aide de deux thermistances montées dans une configuration en pont. Un gradient de température apparaît. La masse supportant T2 réagira avec retard aux variations de T1. La différence entre les deux thermistances se comporte comme un filtre passe-bande entre quelques minutes et quelques heures de périodes.

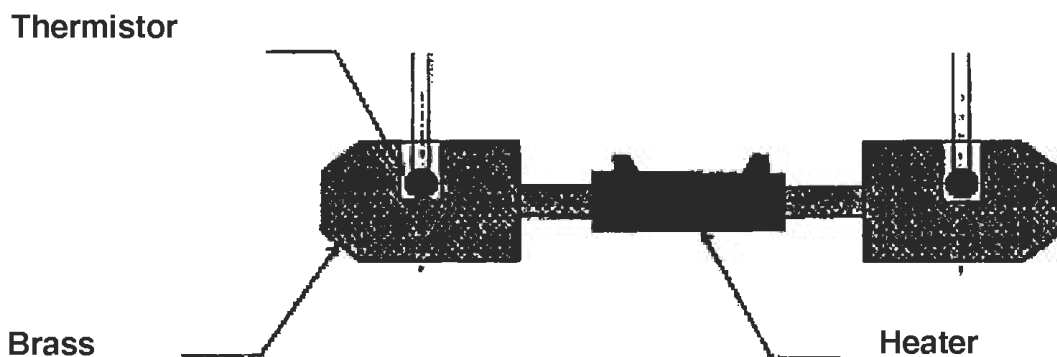
Lors de cette expérience, un capteur d'humidité relative placé à l'intérieur du feuillage de l'arbre présenta un signal semblable à celui placé dans la racine.

Cette expérience démontre l'aptitude de la thermométrie à observer en continu des fluctuations de circulation de fluide induites par l'évapotranspiration. Notre capteur, par son placement dans le sol, est protégé d'effets climatiques importants qui influencent peu la température de la racine.

Si on ne dispose pas de gradient de température permettant de mettre en évidence la signature thermique des flux de fluides, une autre approche pour la mesure de vitesse d'écoulement consiste à comparer les températures en deux points situés de part et d'autre d'un point de chauffe. Cette méthode classique permet grâce à nos senseurs différentiels très sensibles, d'enregistrer des vitesses d'écoulement très faibles.

Un prototype du système EDAS a permis d'étudier les limites d'application de ce principe. Le capteur (Fig. 8) se compose de deux masses métalliques reliées entre elles par une petite baguette.

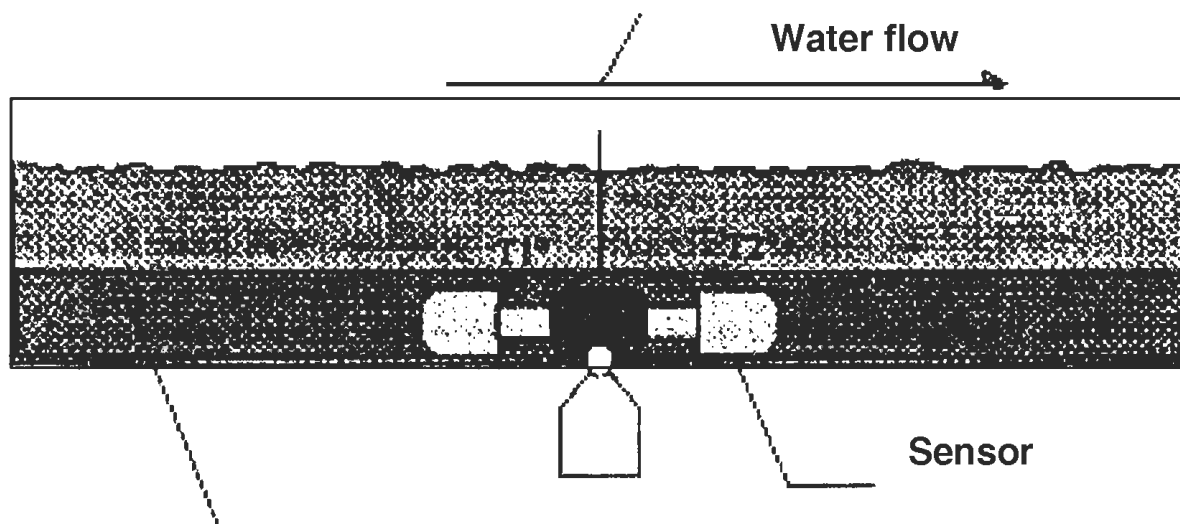
Les deux masses et la baguette sont composées de cuivre thermiquement conducteur ( $K=1,10 \text{ W/cm}^\circ\text{C}$ ).



**Fig. 8** Capteur d'observation de micromouvements de fluide. Les deux masses placées aux extrémités sont équipées de thermistances permettant de mesurer la différence de température entre celles-ci. L'axe qui relie les masses, agit comme un shunt thermique qui annule l'écart de température entre elles. Au centre de celui-ci, un élément chauffant injecte une certaine quantité de chaleur. Les deux masses subissent le même échauffement. Si ce système est plongé dans un fluide en mouvement, la convection va modifier cette situation et une des masses recevra plus d'énergie que l'autre en fonction de la vitesse qui influe ainsi sur la convection.

Cela permet à long terme d'assurer un équilibre thermique. Deux thermistances NTC de précision, enrobées de composant siliconé pour le transfert de chaleur, sont introduites dans les trous des masses. Ces thermistances sont branchées sur une interface

électronique EDAS qui donne un signal fonction de la différence de température [van Ruymbeke, M. & al., 1997a]. Lorsque nous plaçons ce dispositif dans un fluide en mouvement, les températures en divers points du pont thermique se modifient (Fig. 9).



**Fig. 9** Supposons que l'eau circule suivant la flèche, autour de notre dispositif. Elle refroidit la masse contenant la thermistance T1. Inversement, l'eau provenant de l'élément chauffant accroît la température de la masse contenant la thermistance T2. La différence de température ( $T_2 - T_1$ ) reflète ainsi la vitesse d'écoulement de l'eau.

Une estimation des capacités des capteurs a été faite en utilisant un outil spécifique constitué d'une boîte contenant un mélange de fin gravier et d'eau qu'on incline grâce à un excentrique (Fig. 10).

Ceci permet de simuler pour divers types de matériaux, des mouvements de fluide. On a une situation comparable à celle rencontrée dans des études de la percolation des eaux de pluie dans des couches de sous-sol.

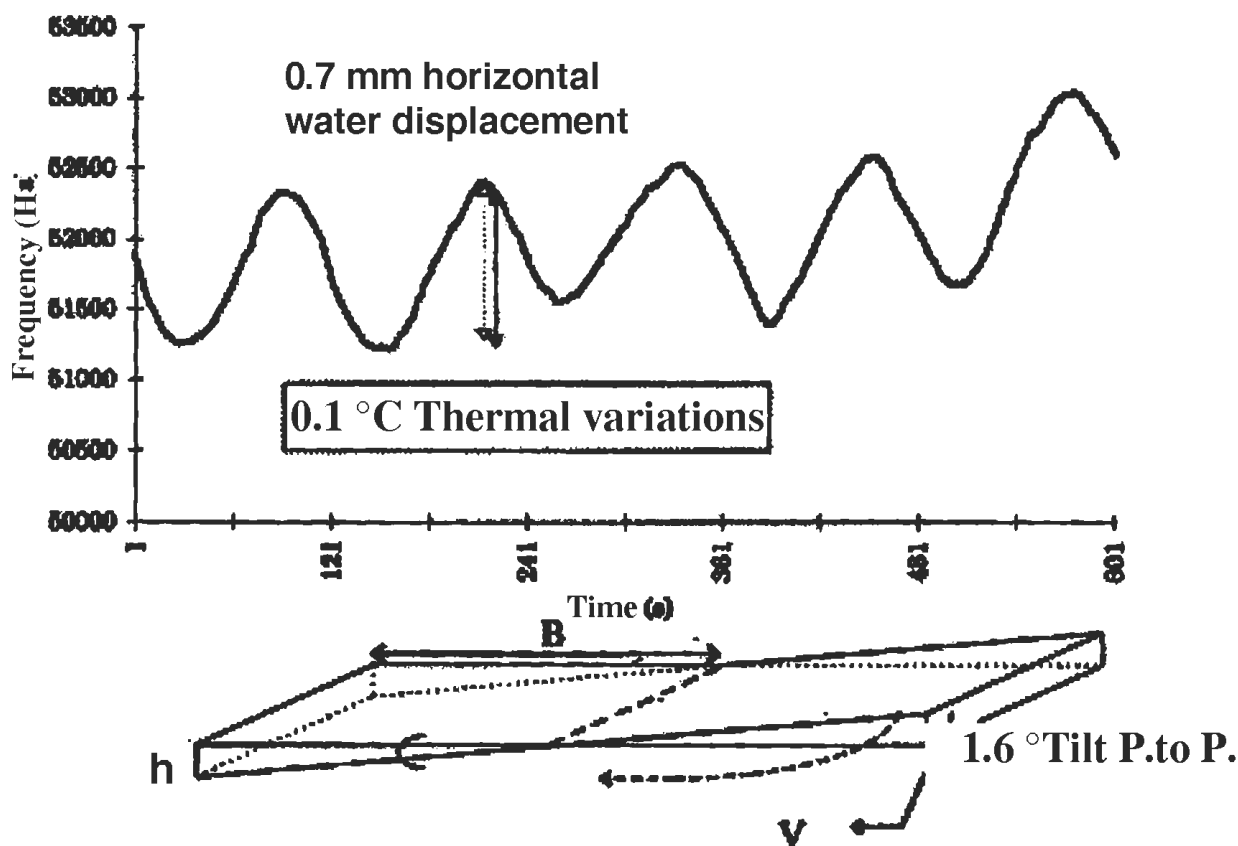


Fig. 10 Un moteur pas à pas fait tourner une roue équipée d'un excentrique. Celui-ci supporte une des extrémités d'un bac rempli de sable et d'eau. Il induit ainsi une inclinaison ayant, pour l'exemple ci-dessus, une période de 120 secondes. L'inclinaison déplace horizontalement l'eau d'un côté à l'autre au récipient, avec une amplitude d'environ 7 mm. Les différences de température produites par la chauffe ont une amplitude 0,1 K. Une résolution de 10  $\mu$ K correspondrait ainsi à un dix-millième de 14 mm, soit 1,4 $\mu$ m.

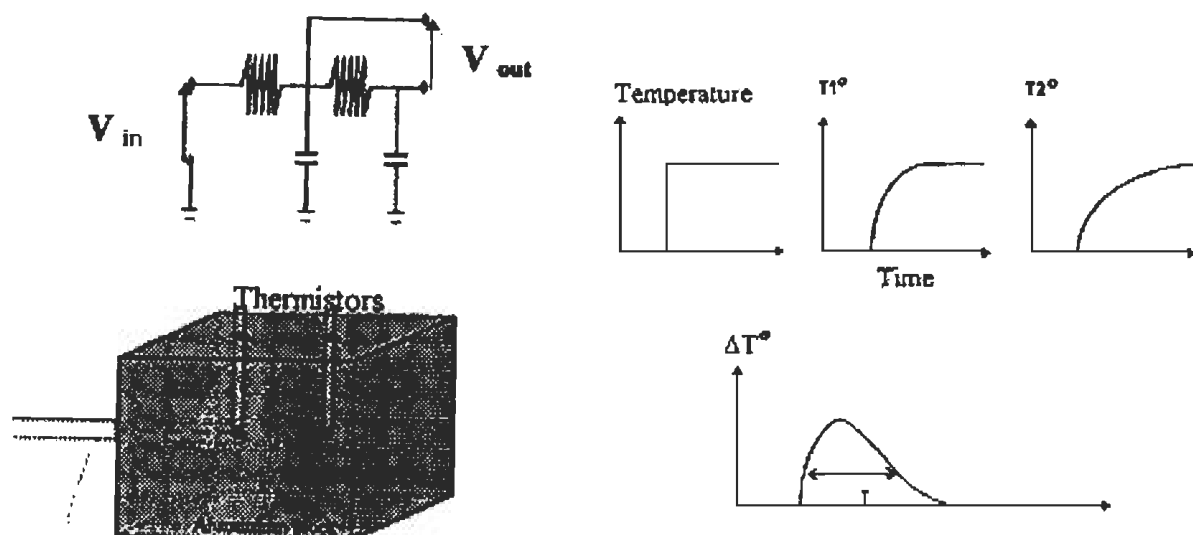
### Projet du « Bolometer Oscillation System BOS » préparé par l'ORB

L'extrême sensibilité atteinte par nos thermomètres différentiels ouvre des perspectives dans le domaine des mesures de rayonnement. Le dispositif décrit à la figure 11 confirme la possibilité de mettre en évidence des changements infimes de l'énergie d'un rayonnement lumineux. Le principe est semblable à celui développé à la figure 7.

La différence principale réside dans le mode de transfert de l'énergie, non par conduction, mais par absorption du rayonnement qui tombe directement sur une des deux thermistances.

Les temps de réponse ne seront que de quelques secondes avec des dynamiques très larges (typiquement 100 dB).

L'intérêt de ce type de capteur consiste à avoir une sensibilité ne dépendant que des coefficients d'absorption de la surface frappée par les rayons. Par rapport aux capteurs optoélectroniques, la cavité se comporte comme un corps noir et est ainsi sensible à toutes les longueurs d'ondes du rayonnement. Cette particularité justifie de compléter, par un de nos systèmes prénommé BOS (pour Bolometer Oscillation System), les divers senseurs d'observation de l'activité solaire prévus pour être embarqués sur le futur satellite Picard.



**Fig. 11** (A gauche) : Circuit électrique équivalent et montage géométrique. Sans sollicitation, les deux thermistances seront à la température du bloc. Lorsque le rayon pénètre dans le capteur par l'ouverture à gauche du bloc, la première thermistance voit sa température augmenter alors que l'inertie thermique du bloc déphase la montée de la température de la seconde thermistance.

(A droite) : Les trois graphiques du dessus montrent respectivement la variation du rayonnement, la montée en température du premier thermomètre T1 et la montée plus lente de T2. Le graphique inférieur présente l'évolution de la différence de température entre T1 et T2.

## Conclusions

Nous avons ainsi décrit différentes manières d'enregistrer des processus selon les effets thermiques qu'ils induisent :

- 1- le captage de la température ( $T^\circ$ ) en relation avec les fluctuations d'énergie.
- 2- la mesure de la différence de température ( $\Delta T^\circ$ ) entre deux points pour détecter les fluctuations du gradient de température.
- 3- la mesure de la différence de température ( $\Delta T^\circ$ ) entre deux points, mais avec injection d'énergie ( $\Delta Q$ ) pour détecter l'anisotropie dans la dissipation d'énergie ( $\Delta T^\circ / \Delta Q$ ).

En guise de conclusion, retenons que la difficulté métrologique principale à surmonter lors de mesures de très petits signaux thermiques, vient du fait qu'un thermomètre ne mesure que sa propre température et que les méthodes de mesure doivent permettre que celle-ci soit la même que la température à mesurer !

## Remerciements

Nous remercions toutes les personnes, proches ou lointaines, qui ont contribué par leurs remarques à nous donner la maîtrise de ce vaste domaine qu'est la métrologie géophysique. La pertinence des conseils de René Dejaiffe et Michel Everaerts nous a permis d'opérer le choix des thèmes abordés.

En particulier, nous voulons saluer les Instituts Supérieurs qui nous ont confié des étudiants pour des stages et des travaux de fin d'études. Ils ont permis d'être les artisans des progrès acquis.

Nous remercions le personnel de l'ORB pour son soutien constant dans notre démarche. Nous avons apprécié les remarques et l'aide que nous ont apportés Marie-Fr. Seny et François-X. Kremer dans la rédaction de cet article.

Le concept EDAS est le résultat de recherches rendues possibles grâce au support de la Commission des Communautés Européennes, DGXII, Programme Environnement, Climatologie et Risques Naturels, dans le cadre des contrats EV5-CT092-0189 et EV5-CT93-0283.

## Références

- Melchior, P. *The tides of the planet*, Pergamon Press, 1978.
- Rasson, J. *Etude des perturbations thermiques au Laboratoire de géodynamique souterrain de Walferdange*, mémoire de licence UCL, 1977.
- Rasson, J. *Integrating techniques in earth tides recording*, BIM nr 79, 15 décembre 1978 pp 4816-4830.
- 1978 van Ruymbeke, M. *Mesures thermiques au laboratoire de géodynamique de Walferdange*, Ciel et terre n°4, vol. 90, 1974.

- Van Ruymbeke, M. & Ducarme B. *Introduction of voltage to frequency converters as long term integrators adapted to data acquisition*, BIM nr 79, 15 décembre 1978, pp 4812-4815, 1978.
- Van Ruymbeke, M., Westerhaus H. & Fernandez J. *Temperature measurements*, Proceedings of the eleventh international symposium on Earth Tides, Stuttgart, 1989.
- Van Ruymbeke, M. *The Underground Laboratory for Geodynamics*, Conseil de l'Europe : Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 4, 1991.
- Van Ruymbeke, M., Beauducel Fr. & Somerhausen A. *The environmental data acquisition System (EDAS) developed at the Royal Observatory of Belgium*, Conseil de l'Europe : Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 14, 1997a.
- Van Ruymbeke, M., & M. *A probe for high temperature variations measurements in the field of geothermics*, Conseil de l'Europe : Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 14, 1997b.
- Van Ruymbeke, M. and Somerhausen A. *Experiments in Laboratory Field with precise thermometry*, 192 Seminar der Dr.W-H Heraeus & E. Heraeus-Stiftung, 1998.
- Van Ruymbeke, M., Howard R., Pütz E., Beauducel Fr., Somerhausen A. et Barriot J.-P. *An introduction to the use of HICUM for signal analysis*, BIM nr 138, 15 décembre 2003 pp 10955-10966, 2003.
-

# Determination of Evolution of the Altimetric Mean Level of the Western Mediterranean from the Jason-1 Data: Comparison with Analysis of Tidal Gauge Measurements

\*

M. HADDAD, H. ABDELLAOUI, N. AMRANE  
National Institute of Cartography and Remote Sensing 123, Rue de Tripoli,  
BP 430, Hussein-Dey 16040 - Algiers, Algeria.

Prf. M.F. BELBACHIR  
University of Sciences and Technology of Oran, Signals and Systems Laboratory,  
Institute of Electronics, BP 1505, Oran El M'naouer, Algeria.

**Abstract:** The sea surface topography, which is directly linked to the shape of the geoid and to oceanic effects, is only measurable thanks to the spatial and temporal resolution of satellite altimetry. The contributions of satellite altimetry study in the Mediterranean have been considerable. The first maps of the marine geoid, with relative accuracy of one to two decimetres depending on the methods used, have contributed greatly to the understanding of geophysical phenomena. Subsequently, thanks to reductions in orbital errors, improvements in gravitational models, and to the development of pseudo-geometrical orbit computations, the accuracy of determination of the absolute mean sea level has improved from several meters to a few centimetres. The study presented here aims to determine seasonal variations in mean sea level in the Western Mediterranean basin by analysis of Jason-1 data corrected of different perturbations like the geophysical phenomena, the ocean wave influence, the inverse barometer effect, and the orbit error. The analysis of altimetric data Jason-1 allowed us to observe a strong amplitude of variations of the average level in the Western Mediterranean basin, of the order of 20 cm, with a characteristic period of one year. The comparison of the variation of the average height sea level at the harbour of Algiers obtained from analysis of altimetric data Jason-1 and from the harmonic analysis of tidal gauge measurements, showed almost identical results.

**Keywords.** Jason-1, tide gauge, sea level, seasonal variations, Western Mediterranean sea.

## 1. Introduction

The United States were the first to have put in orbit an altimeter aboard satellites, on Skylab and Geos-c, then on Seasat in 1978 and Geosat in 1985. Since the 90s, new altimetric missions were launched, ERS-1 (1991-1996), Topex/Poseidon

(since 1992), ERS-2 (since 1995), Jason-1 (since 2001) and Envisat (since 2003).

This paper presents the methodology of processing and analyzing of Jason-1 altimetric data to determine the seasonal variation of sea level of the Western Mediterranean sea.

## 2. Jason-1 mission

JASON-1 is a follow-on mission to the highly successful TOPEX/POSEIDON (T/P) mission. The main goal of this mission is to measure the height of sea surface at least at the same performance level of T/P.

Launched on December 7, 2001, the Jason-1 satellite measures the precise height of the sea surface using the POSEIDON-2 altimeter operating at 13.575 GHz (Ku band) and 5.3 GHz (C band), a system of positioning Doris (Doppler Orbitography and Radio-positioning by Satellite) in complement to the GPS receiver and Laser reflector and a Microwave Radiometer which provide the total water vapor content in the troposphere along the altimeter beam.

## 3. Principle of computation of the level of the sea

The radar altimeter embarked aboard a satellite gives out a signal to very high frequency to the vertical of this one in direction of soil, and receives in return the echo reflected by the surface of the sea.

The analysis of the echo permits to extract a very precise measure of time of round-trip journey between the satellite and the surface of the sea. This time is transformed then in distance by simple multiplication by the speed of light, speed to which propagates electromagnetic waves.

The height of the sea is therefore equal to the difference between the distance satellite-surface and the position of the satellite above the ellipsoidal reference.

\* Présenté comme Poster lors du " 1<sup>st</sup> International Symposium of the International Gravity Field Service : GRAVITY FIELD OF THE EARTH " : 28<sup>th</sup> August - 01<sup>st</sup> September, 2006 Istanbul, TURKEY.

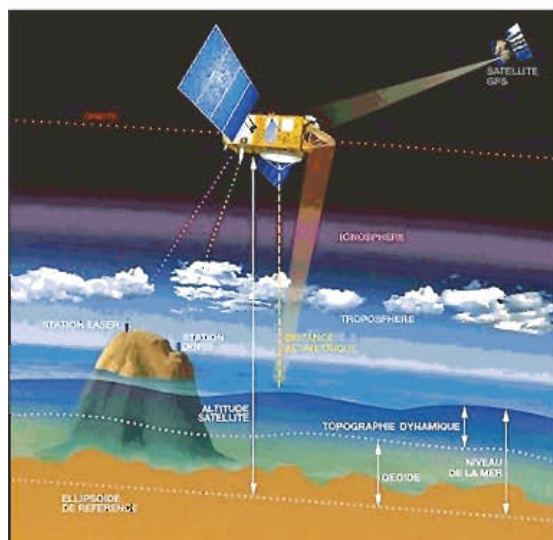


Fig. 2 Geometric principle of altimetry.

#### 4. Sources of errors

Altimetric measurements have many sources of errors. For instance, they need to be corrected for environmental perturbations like the geophysical corrections (wet troposphere, dry troposphere and ionosphere), the ocean wave influence (sea state or electromagnetic bias). Also, the tide influence (ocean tide, earth tide and pole tide) and inverse barometer effect have to be accounted for.

##### 4.1 Troposphere and ionosphere influence

The atmosphere slow down the velocity of radio pulses at a rate proportional to the total mass of the atmosphere (dry troposphere influence), the mass of water vapor in the atmosphere (wet troposphere influence), and the number of free electrons in the ionosphere (ionosphere influence).

- The dry meteorological tropospheric range correction is principally equal to the surface pressure multiplied by  $-2.277\text{mm/mbar}$ , with a small adjustment also necessary to reflect a small latitude dependence (Rummel, 1993):

$$Dry\_Corr = 2.227 (1 + 0.0026 \cos(2\varphi)) P_s \quad (1)$$

where  $P_s$  is surface atmospheric pressure in mbar,  $\varphi$  is latitude,  $Dry\_Corr$  is the dry troposphere correction in mm.

- The wet troposphere correction expression is (Rummel, 1993):

$$Wet\_Corr = 2.227 \left( \frac{1255}{T_s} + 0.05 \right) E_s \quad (2)$$

where  $P_s$  is surface atmospheric pressure in Pascal,  $\varphi$  is latitude,  $E_s$  is the partial pressure of the water steam and  $T_s$  is the temperature in Kelvin.

- The ionosphere correction for an altimeter bi-frequency is given by (Rummel, 1993) :

$$Iono\_Corr = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{40.2 E}{f_2^2} - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{40.2 E}{f_1^2} \quad (3)$$

where  $E$  represent the total content in electron (TEC) and  $f_1$  and the  $f_2$  frequencies.

##### 4.2 Sea state bias

Due to the large footprint radar measurements, the sea surface scattering elements do not contribute equally to the radar return: troughs of waves tend to reflect altimeter pulses better than do crests. Thus the centroid of the mean reflecting surface is shifted away from mean sea level towards the troughs of the waves. The shift causes the altimeter to over-estimate the height of the satellite above the sea surface. The Sea State Bias (SSB) is the difference between the apparent sea level as measured by an altimeter and the true mean sea level.

The nature of the sea state bias has been investigated using airborne radars and lasers capable of determining for various sea states the strength of the vertically reflected signal as a function of the displacement of the reflecting area from mean sea level. It is given as a function of wind speed and the skewness and kurtosis of the probability distribution of sea surface elevation due to the waves on the sea surface.

##### 4.3 Ocean tide

It represents the response of the ocean to motion of the moon, the sun and the other planets. It translates itself by a transport of water masses.

This correction is calculated from global models of tide : an empirical model GOT99.2 of the Goddard Space Flight Center or the FES 95.2 finite-element hydrodynamic model of the university of Grenoble.

##### 4.4 Solid Earth Tide

The solid Earth responds to external gravitational forces similarly to the oceans. The Earth responds fast enough for it to be considered to be in equilibrium with the tide generating forces.

Then, the surface is parallel with the equipotential surface, and the tide height is proportional to the potential. The proportionality is the so-called Love number.

It should be noted that, although the Love number is largely frequency independent, an exception occurs near a frequency corresponding to the K1 tide constituents due to a resonance in the liquid core (Wahr 1985). Such a tide is computed as described by Cartwright and Tayler (1971) and Cartwright and Edden (1973).

#### 4.5 Pole tide

The Earth's rotational axis oscillates around its nominal direction with apparent periods of 12 and 14 months. This result in an additional centrifugal force which displaces the surface. The effect is thus indistinguishable from tides, and it is called the pole tide. The period is long enough to be considered in equilibrium for both the ocean and the solid Earth. The complete pole tide (in mm) expression is (Wahr, 1985):

$$H\_Pole = -69.435 \sin(2Lat\_Tra) \times \left( \begin{aligned} &(x_{Pole} - x_{Pole-avg}) \cos Lon\_Tra \\ &+ (y_{Pole} - y_{Pole-avg}) \sin Lon\_Tra \end{aligned} \right) \quad (4)$$

where: *Lon\_Tra*, *Lat\_Tra* are longitude and latitude of measurement point.  $x_{pole}$ ,  $y_{pole}$  is axis in the direction of the IERS reference meridian and axis in the direction 90° west longitude.  $x_{pole\_avg} = 0.042$  arc sec and  $y_{pole\_avg} = 0.293$  arc sec.

#### 4.6 Inverse barometer effect

As atmospheric pressure increases and decreases, the sea surface tends to respond hydrostatically. The ocean rises and falls, that is, a one mbar increase in atmospheric pressure depresses the sea surface by about 1 cm.

The instantaneous correction is computed using as input the surface atmospheric pressure ( $P_{atm}$ , in mbar) which is available indirectly via the dry tropospheric correction obtained from meteorology ( $Dry\_Corr$ , in mm):

$$P\_atm = \frac{Dry\_Corr}{\left[ (-2.277) \left( 1 + \left( 0.0026 \cos \left( 2 Lat\_Tra \cdot 1.10 \cdot \pi / 180.0 \right) \right) \right) \right]} \quad (5)$$

The inverse barometer correction ( $Inv\_Bar$ , in mm) is then:

$$Inv\_Bar = -9.948 (P\_atm - 1013.3) \quad (6)$$

#### 4.7 Orbital errors

The effect of the orbital errors is directly visible to the height in intersections between ascending and descending altimetric tracks (crossover point).

The correction of this effect is based on the principle of polynomial interpolation of residues on height at the crossover points.

### 5. Processing and analysis

The assessment of seasonal variations in mean sea level from the Jason-1 data made on a zone covering the Western Mediterranean sea: zone understood between  $35.5^\circ \leq \varphi \leq 44.5^\circ$  and  $0^\circ \leq \lambda \leq 10^\circ$ .

#### 5.1 Jason-1 data used

The used Jason-1 data are supplied by AVISO (Archivage, Validation et Interprétation des données des Satellites Océanographiques) under GDR Products DVD, containing the cycles from 079 to 132 which correspond to dates from February 27, 2004 to August 16, 2005.

The pass numbers used for this application are illustrated in the following figure:

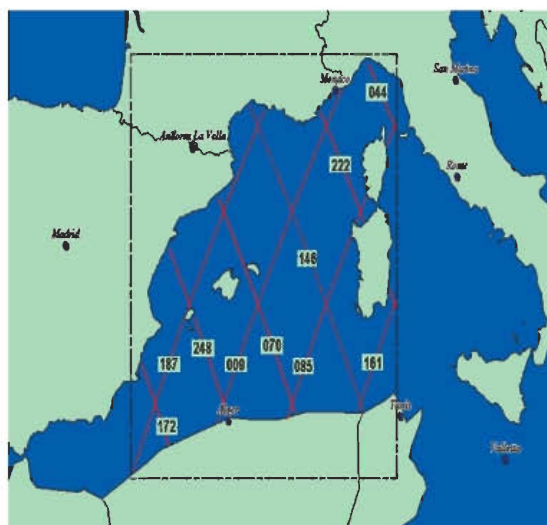


Fig.3 Jason-1 tracks over Western Mediterranean sea.

GDR (Geophysical Data Records) files contain ten-day repeat cycles data. It contains all relevant data and corrections needed to calculate the sea surface height: location, altimeter range, troposphere and ionosphere corrections, Solid Earth, ocean and polar tide corrections, inverse barometer correction...

#### 5.2 Model of computing sea height

The formulation of the model of computing sea surface height (SSH) is given as follows:



$$SSH = H_{p\_Sat} - (H\_Alt + \Sigma) \quad (7)$$

where  $H_{p\_Sat}$  is the DORIS altitude of satellite center of mass above the GRS 80 reference ellipsoid,  $H\_Alt$  is the altimeter range in Ku band and  $\Sigma$  is the sum of corrections to be added to the altimeter range:

$$\Sigma = Dry\_Corr + Wet\_Corr + Iono\_Corr\_ku + INV\_Bar + H\_Eot\_FES + H\_Set + H\_Pol \quad (8)$$

where:  $Dry\_Corr$  is the dry meteorological tropospheric correction,  $Wet\_Corr$  is the wet meteorological tropospheric correction,  $Iono\_Corr\_ku$  is the altimeter ionospheric correction on ku band,  $SSB\_Corr\_k1$  sea state bias correction in Ku-band,  $INV\_Bar$  is the inverted barometer height correction,  $H\_Eot\_FES$  is the geocentric ocean tide height computed from FES 95.2 model,  $H\_Set$  is the solid earth tide height and  $H\_Pol$  is the pole tide height.

### 5.3 Processing and results

For this application, each of Jason-1 cycle is treated independently of the others to obtain a sea surface height.

Afterward and in case if crossover points exist with a significant difference of sea surface height between an ascending and descending altimetric arcs, an adjustment of the height of the sea along altimetric arcs is done. Next, the sea surface height is compared point by point to the EGM 96 global geoid model that is closely associated with the location of the mean sea surface.

The average differences obtained by cycle between sea heights stemming from Jason-1's instantaneous profiles and the EGM 96 geoid surface is represented in the following figure:

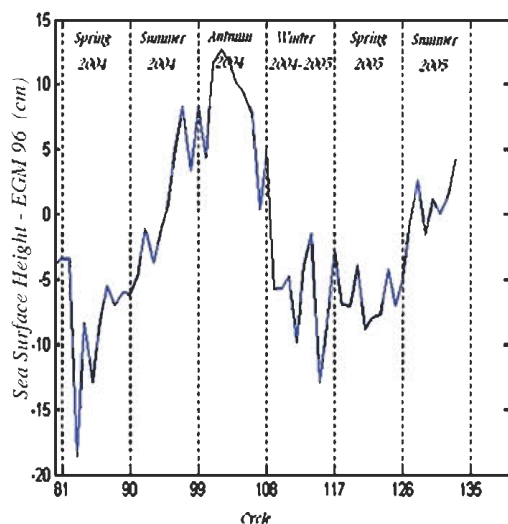


Fig. 4 Average differences between the altimetric sea heights and the EGM 96 geoid surface.

The temporal variations in the Western Mediterranean basin between the instantaneous height of the sea and the EGM96's geoid have amplitude about 20cm, with a maximum and a minimum respectively in autumn and in winter: this phenomenon is due mostly to the thermic expansion/contraction of the water under the influence of temperature variations. The combination of Jason-1 cycles from 079 to 132 has provided an altimetric mean level surface over the Western Mediterranean sea. The comparison of this surface with the EGM 96 geoid stands out differences between -50 cm and 50 cm with an average of 2 cm :

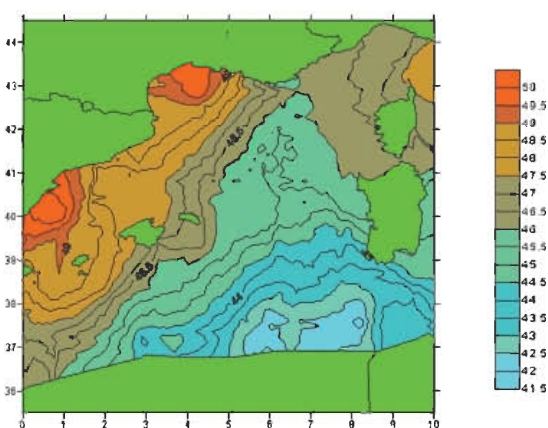


Fig. 5 Altimetric mean level over the Western Mediterranean sea (in meter).

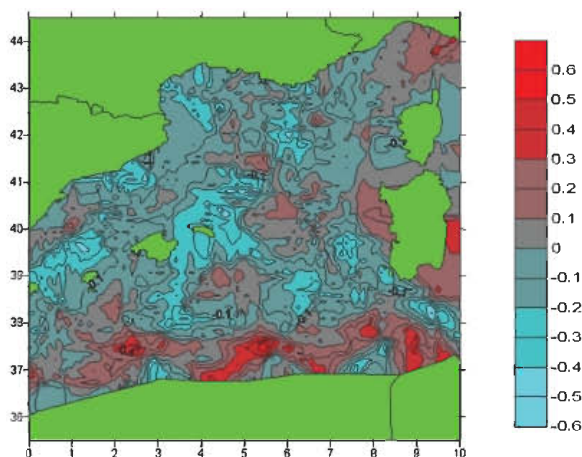


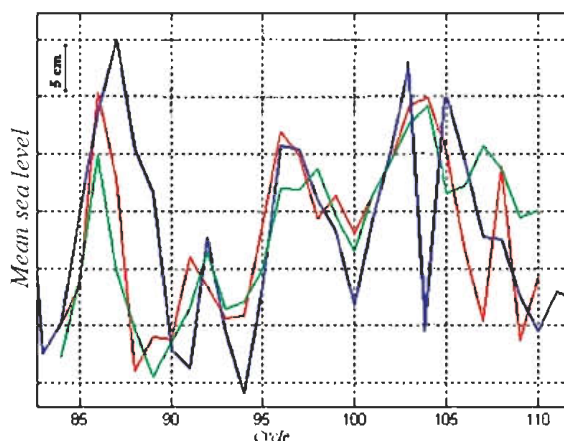
Fig.6 Differences in meters between the altimetric mean level solution and the EGM 96 geoid (in meter).

### 6. Comparison with tidal gauge measurements

The average Jason-1 altimetric height by cycle interpolated at the Algiers harbour is compared to the mean sea level obtained by the harmonic analysis

of tidal gauge measures, obtained from analogical and automatic tide gauge installed at the same site of Algiers harbour. The periods of tidal gauge measurements analyzed are obviously equivalents to altimetric cycles.

These differences results of variation of the mean sea level at the Algiers harbour are very similar:



**Fig. 7** Comparison between the mean altimetric level Jason-1 (in blue) and the mean level obtained by harmonic analysis of the tidal data of the analogical tide gauge (in red) and the automatic tide gauge (in green).

## 7. Conclusion

The analysis of altimetric data Jason-1 allowed us to observe strong amplitude of variations of the average level in the Western Mediterranean basin, of the order of 20 cm, with a characteristic period of one year.

The comparison of the variation of the average height sea level at the harbour of Algiers obtained from analysis of altimetric data Jason-1 and from the harmonic analysis of tidal gauge measurements agrees well.

In terms of perspectives, the combination, on a bigger scale of time, of the data of Jason-1 with the data of the other missions of spatial altimetry such as

Topex, Envisat, will allow certainly to observe with a good precision the main characteristics of the circulation in the Western Mediterranean basin and notably the seasonal swings.

## References

- Aviso user handbook (1996): Merged Topex/Poseidon products (GDR-Ms). AVI-NT-02-101-CN, edition 3.3-1996.
- Aviso and Podaac - User Handbook IGDR and GDR : Jason Products. SMM-MU-M5-OP-13184-CN (AVISO), edition 2.0
- Gaspard, P., F. Ogor, Le Traon, O. Z. Zanif (1994). Estimating the sea state bias of the TOPEX/POSEIDON altimeters from crossover difference. Topex/Poseidon special issue.
- M. Haddad (2004). Détermination du géoïde en Algérie du Nord par intégration des données gravimétriques et altimétriques. Mémoire de Magister en Techniques Spatiales et Applications – CNTS (en préparation juin 2004).
- M. Haddad, S. Kahlouche, A. Rami (2004). Détermination du Géoïde Altimétrique à Partir des Données Topex/Poseidon (Cycles 365 et 366) sur le Bassin Méditerranéen - Journées d'Études sur les Technologies Navales, 14-15 Juin 2004.
- S. Kahlouche, M.I. Kariche, Benahmed S.A. Daho (1998). Comparison between altimetric and gravimetric geoid in the south - west Mediterranean basin – in 'Geodesy on the move' - International Association of Geodesy Symposia Vol 119 [pp 281-287] – ISBN 3-540-64605- Springer Verlag Editor, 1998.
- Lettre du CNES N°139 (1992). Lancement de TOPEX/POSEIDON.
- R. Rummel (1993). Satellite altimetry in geodesy and oceanography. Lecture Notes in Earth Sciences, 50, Springer-Verlag, [pp 453-466].
- H. Stewart Robert (1985). Methods of satellite oceanography University of California Press. ISBN 0-520-04226-3.

# Determination of the Mean Sea Level at Algiers Harbour From the Tidal Data Analysis

M. HADDAD, H. ABDELLAOUI, N. AMRANE  
National Institute of Cartography and Remote Sensing  
123, Rue de Tripoli, BP 430, Hussein-Dey 16040 - Algiers, Algeria.

**Abstract :** The present study aims at defining a national sea level reference in Algeria and can be integrated in other oceanographic projects for determination of the mean sea level. Whatever the principle of measure is, a tide gauge is able to provide a local information on the height of the sea referred to the chosen reference.

The main points of this study are: the calibration of the data of the electronic tidal gauge with an automatic data acquisition system installed in Algiers harbour; the comparison of these data with the data acquired from the analogical tidal gauge installed on the same site; and the determination of the mean sea level using the harmonic analysis.

The exploitation of the data recorded with the electronic tide gauge of Algiers during a period of two years provide an estimate of the mean sea level and the harmonic components which can be also used for the prediction. The estimated mean sea level differs by a few centimeters of the actual value currently used which was determined in a "arbitrary" way.

**Keywords.** Electronic tide gauge, analogical tide gauge, calibration, mean sea level, harmonic analysis.

## 1. Introduction

During the last two decades, the measurements of the height of seas using tide gauges have given acceptable results along the coastal lines. These data are used to predict a tide from harmonic components, and on the other hand, to validate the global models of tide and the observations provided by altimetric satellites.

Being aware of the interest to establish tide gauge sites, in framework of its activities, the National Institute of Cartography and Remote Sensing is currently planning a project to install new tide gauges with automatic acquisition along the Algerian coast line. A newly national altimetric referential will replace the existing reference defined from the tidal meter of La Goulette (Tunisia).

In this paper, we present the analysis of the data from the electronic tide gauges of Algiers to determine the mean sea level which will serve as the reference point for the levelling network of Algeria

## 2. Description of the electronic tide gauge of Algiers

The tide gauge for automatic data acquisition installed near the analogical tide gauge is a prototype conceived by Dr. Michel van Ruymbeke of the Royal Observatory of Belgium (ORB). This prototype records every minute the height of the sea as frequencies generated by a capacitive sensor.



**Fig. 1** Tidal gauge site of Algiers sheltering the two tide gauges electronic (in the left) and analogical (in the right).

## 3. Tidal gauge data

The electronic tide gauge with automatic data acquisition was installed in may 2003 in Algiers harbour. Due to technical problems, the store times series started in may 2004.

This electronic tide gauge is installed close to an analogical one in order to compare the observations produced from both sources.

The data of the electronic tide gauge used in this study, are those collected during the period from March 29, 2004 to February 27, 2006 with a sampling rate of one minute.

\* Présenté comme Poster lors du " 1<sup>st</sup> International Symposium of the International Gravity Field Service : GRAVITY FIELD OF THE EARTH " : 28<sup>th</sup> August - 01<sup>st</sup> September, 2006 Istanbul, TURKEY.

A low pass filter was applied to the electronic tidal data with a cadence of 60 readings (equivalent to one hour observation) using the software  $\mu$ DAS Grapher (ORB).

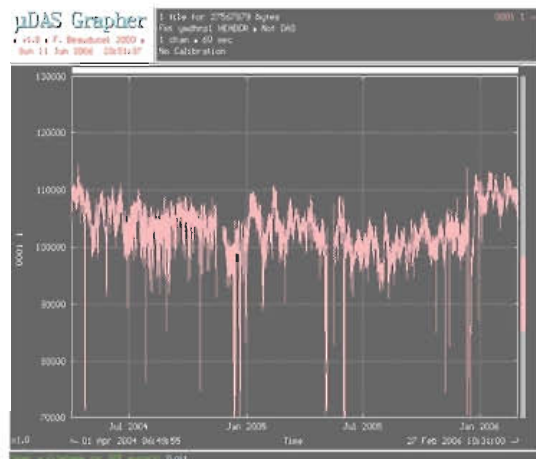


Fig. 2 Raw Recordings of the electronic tide gauge of Algiers, Period: March 29, 2004 to February 27, 2006.

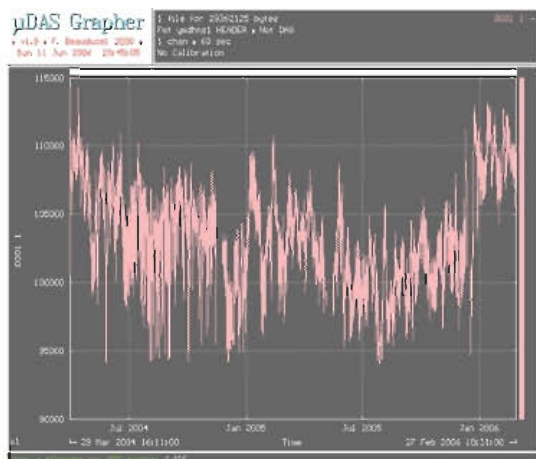


Fig. 3 Filtering of the data of the electronic tide gauge.

#### 4. Calibration of the data automatic tide gauge

The direct measurements of the sea level using a luminous probe provided the calibration factors of the tide gauge. A linear model has been used:

$$h = a_0 + a_1 f \quad (1)$$

where  $a_0$  and  $a_1$  are calibration parameters,  $f$  the recorded frequency and  $h$  the height of sea observed referring to the reference of the hydrographic zero, deduced from the readings obtained by luminous probe.

The sea level referenced to the hydrographic zero is obtained by one of the following equations:

$$N_1 + N_3 - height_{top\ of\ the\ tube - sea\ surface} \quad (2)$$

$$N_2 + N_3 - height_{plateforme - sea\ surface} \quad (3)$$

where  $N_1$  is the height of the top of the water stabilizer tube referring to the Algerian General Level.  $N_2$  is the height of the plate-form referring to the Algerian General Level.  $N_3$  is the altitude of the zero point of the AGL referring to the altitude of the hydrographic zero which is fixed to 34 cm, and the,  $height_{top\ of\ the\ tube - sea\ surface} + height_{plateforme - sea\ surface}$  are the readings obtained by luminous probe.

The calibration parameters were calculated using this process for equivalent periods of one month.

#### 5. Validation with the data of the analogical tide gauge

An external validation of the data of the electronic tide gauge measurements was carried out by comparing with the data from the analogical tide gauge measurements over the period of March 29 2004 to February 21 2005:

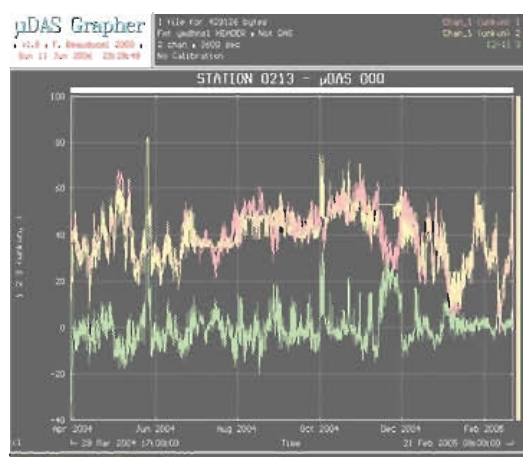


Fig. 4 Difference (in green) between the filtered and calibrated data of the electronic tide gauge (in yellow) and those stemming from the analogical tide gauge (in red). Period from March 29, 2004 till February 21, 2005.

The statistical results of this comparison are given in the following table:

Table I. Comparison between data stemming from the electronic tide gauge and from the analogical tide gauge.

Tide gauge	Min. value (cm)	Max. value (cm)	Average (cm)	Standard deviation (cm)
Electronic	4	82	38.76	11.17
Analogical	-3	68	39.40	11.36
Difference	-37	49	0.0011	8.27

Both systems present a good agreement only where the luminous probe calibration data are available.

### 6. Tidal harmonic analysis

The tide can be considered as the sununation of a series of periodic functions and an error ( $\varepsilon$ ).

$$h(t) = Z_0 + \sum_i A_i \cos(V_i - G_i) + \varepsilon \quad (4)$$

In this expression,  $Z_0$  is the mean level,  $A_i$  the amplitude,  $V_i$  the argument of the cosine in the harmonious development of the generative potential of the tide, and  $G_i$  the phase of the constituent  $i$ .  $Z_0$ ,  $A_i$  and  $G_i$  are the harmonious constants in a given place.

The situation of a harmonic component of the tide represents its delay expressed in angle, regarding to the corresponding constituent of the potential (to obtain its delay expressed at time, it is enough to divide it by the angular speed  $dVi/dt$ ).

Only  $V_i$  depends on time. Its expression is generally done by astronomical elements.

### 7. Determination of the mean level

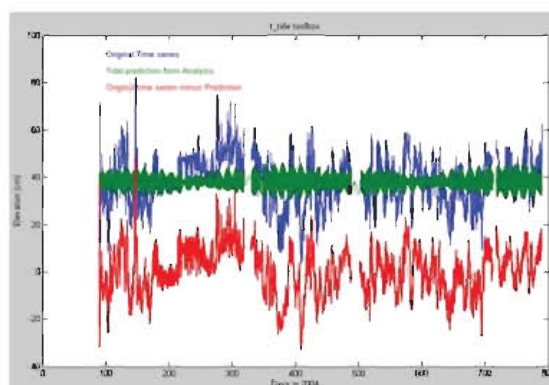
The preliminary determination of the mean level of the sea at Algiers harbour by the harmonic analysis is done using the T\_TIDE version 1.2b package under Matlab [R. Pawlowicz, R. Beardsley, S Lentz].

**Table 2.** Obtained mean level and difference regarding to the current reference of Algerian General Level.

Tide gauge	Period	Mean level (cm)	Diff. / current reference (cm)
Analogical	29/03/2004	39.8	5.8
	21/02/2005		
Electronic	29/03/2004	39.1	5.1
	21/02/2005		
	29/03/2004 - 27/02/2006	38.1	4.1

This table shows that the results of the mean level obtained from the data of the electronic and analogical tide gauges during the same period of March 29 2004 to February 21 2005 are close near (39.1 cm and 39.8 cm). This confirms the good preprocessing of electronic tide gauge measurements. The mean level obtained from the data of the electronic tide gauge data of the period from March 29, 2004 to February 27, 2006, present

an offset of 4.1 cm to the current reference. The harmonic constants obtained from the series of the electronic tide gauge over of the period from March 29, 2004 to February 27, 2006, were also used for the prediction of the tide for the same period. The difference between the observed and predicted tides vary in an interval of  $\pm 20$  cm:



**Fig. 5** Difference (in red) between the observed tide data (in blue) and the predicted tide data (in green).

### 8. Conclusion

The objective of this study was to determine the mean sea level at Algiers harbour using an electronic tide gauge. The calibration of data revealed the need of more frequent obtained calibration data using of the luminous probe or the ladder of tides.

The preliminary mean sea level obtained with the electronic tide gauge shows an offset of 4.1 cm compared to the mean sea level reference currently used.

### Acknowledgments

We are grateful to the Hydrographic Service for the Naval Forces, to have placed at our disposal the data of the analogical tide gauge of Algiers.

### References

G. Woppelmann, Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale - Thèse de doctorat de l'Observatoire de Paris.  
 Michel Van Ruymbeke, et al., Enregistrement par un marégraphe prototype, des variations de niveau de la mer à Alger durant le séisme du 21 mai 2003- Bulletin des Sciences Géographiques n°12, Octobre 2003. ISSN-1112-3745.  
 M.G.G. Foreman, Manual for tidal heights- Analysis and prediction. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay Sidney, B.C.  
 F. Beauducel,  $\mu$ DAS Grapher Help File, 2000.

# Détermination d'Altitudes par GPS / Nivellement. Application : Régions d'Oran et de Constantine.

A. ZEGGAI, S. MEDJAHED, S.A. BEN AHMED, B. GHEZALI,  
R. AIT AHMED LAMARA, A. AYOUAZ, H. TAIBI  
Centre National des Techniques Spatiales - Division de géodésie  
BP, 13 Arzew - 31200 – Algérie

**Résumé :** Les résultats prometteurs obtenus dans de nombreux projets de nivellement par GPS permettent de considérer cette technique comme une alternative relativement précise qui fonctionne aussi bien sur toutes les longueurs de base que sur tous les types de terrains découverts. Les altitudes qui résultent du système GPS sont des altitudes ellipsoïdiques (WGS 84) et leur expression par rapport au niveau moyen de la mer (altitudes orthométriques) nécessite la connaissance de l'ondulation du géoïde.

Les tests effectués ont porté sur l'ajustement des altitudes orthométriques de deux réseaux locaux situés dans les régions d'Oran et de Constantine. Les hauteurs ellipsoïdiques sont transformées en altitudes orthométriques par le biais de surfaces de géoïde corrigées et adaptées pour chaque région. La précision des résultats obtenus est de l'ordre de quelques centimètres.

**Mots clés :** nivellement, géoïde, altitude orthométrique, altitude ellipsoïdique, GPS.

**Abstract :** The promising results obtained in many GPS levelling projects permit to consider this technique like a relatively precise alternative which operates as well over all baselines as on all the types of discovered terrain. Heights which result from GPS system are ellipsoidal height (WGS 84) and their expression compared to the mean sea level (orthometric heights) requires the knowledge geoid undulation.

The tests carried out related to the adjustment of orthometric heights of two local networks located in the Oran and Constantine regions. The ellipsoid heights are transformed into orthometric heights by the means of corrected geoid surfaces and adapted for each area. The precision of the results obtained is about a few centimeters.

**Key words :** levelling, geoid, orthometric height, ellipsoid height, GPS.

## 1. Introduction

La technique de nivellement direct étant très précise mais ne répond pas aux besoins de travaux de grandes envergures à cause de la propagation des erreurs et des délais impartis à la mise en place de longs cheminements. A cette technique traditionnelle de nivellement, s'est substituée une nouvelle technique, basée sur l'utilisation de satellites artificiels GPS (Global Positioning System), plus évoluée. Elle permet de s'affranchir de toutes les contraintes classiques et offre, en plus des avantages techniques un gain en temps, en précision et en coût considérables.

Néanmoins, le GPS ne permet pas de fournir directement les altitudes orthométriques. En effet, l'altitude obtenue par la technique GPS est une hauteur ellipsoïdique, purement géométrique, c'est à dire la distance entre le repère au sol et l'ellipsoïde de référence. La transformation de cette composante en hauteur orthométrique exige nécessairement l'information sur l'ondulation du géoïde de précision compatible à celle obtenue par le GPS (centimétrique).

En d'autre terme, la détermination des altitudes orthométriques par GPS nécessite la combinaison du géoïde et des données issues du GPS (altitudes ellipsoïdiques) et du nivellement de précision (altitudes orthométriques). La précision des résultats est tributaire de la qualité du modèle du géoïde (local ou global), des coordonnées des points exprimées dans le système géodésique et (WGS 84), du réseau de nivellement national (NGA) et de la densité et la répartition géographique des points.

## 2. Principe du GPS / Nivellement

Un point issu d'une technique spatiale fournit une hauteur ellipsoïdale ( $h_e$ ) ou hauteur géométrique. Si de plus, en ce point la côte ou hauteur du géoïde ( $N$ ) est connue, on pourra en déduire l'altitude orthométrique ( $H$ ).

Les hauteurs obtenues par nivellement géométrique sont référencées à une surface équipotentielle de pesanteur qui est le géoïde.

Ces hauteurs sont appelées altitudes orthométriques. Par contre, les hauteurs déterminées par GPS sont référencées à une surface géométrique théorique qui est l'ellipsoïde WGS 84. Ces hauteurs sont des hauteurs ellipsoïdiques et appelées parfois "altitudes GPS".

Théoriquement, l'ondulation du géoïde (N) est liée aux altitudes ellipsoïdale ( $h_e$ ) et orthométrique (h) par la relation :

$$N = h_e - H$$

Les quantités  $h_e$  et N sont exprimées dans le même système de référence. L'équation ci-dessus, suppose que pour chaque point, d'une part, la normale et la verticale au géoïde sont confondues (déviations de la verticale nulle), et d'autre part, les courbures de la verticale et de la normale sont nulles. La relation est donc supposée en première approximation linéaire et par conséquent les trois grandeurs sont parfaitement liées.

La figure suivante (1) illustre la relation entre les trois grandeurs fondamentales du nivellement :

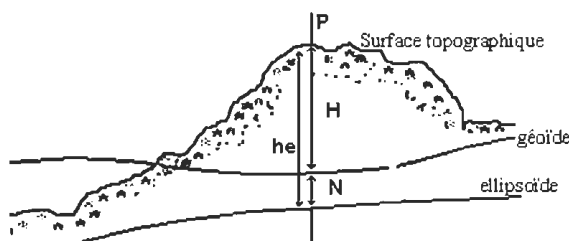


Fig. 1 Relation entre H,  $h_e$  et N.

En pratique, cette relation n'est jamais satisfaite à cause de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- Les erreurs aléatoires dans les altitudes  $h_e$ , H et N.
- Les inconsistances des datums inhérents aux différents types d'altitudes.
- Les effets systématiques et les distorsions dans les données d'altitudes.
- Les hypothèses et les approximations théoriques introduites dans le traitement des données observées.

En général, la plupart de ces discordances sont attribuées aux erreurs de grandes longueurs d'onde introduites par l'utilisation d'un modèle global dans le calcul d'un géoïde gravimétrique et qui n'est pas forcément optimal dans la zone en question, aux erreurs systématiques et aux inconsistances des datums inhérents aux différents types d'altitudes.

En pratique, ces erreurs sont modélisées et absorbées par l'utilisation d'un modèle paramétrique de surface de correction dans l'ajustement combiné des réseaux GPS, nivellement et géoïde.

### 3. Adaptation du géoïde aux points GPS – nivelés :

#### Modèles de surface de correction

Le modèle mathématique d'ajustement combiné de données GPS, nivellement et géoïde, proposé dans cet article, est donné par l'expression suivante :

$$h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV} = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = \Delta N_i = a_i^T x + v_i$$

$N_i^{GPS}$  : Hauteur du géoïde obtenue par nivellement / GPS au point i .

$N_i^{GRAV}$  : Hauteur du géoïde obtenue par voie gravimétrique au point i .

$x$ ,  $a_i^T$  et  $v_i$  représentent respectivement le vecteur de  $nx1$  paramètres inconnus, le tableau de  $nxm$  coefficients connus et le terme supposé comme étant un bruit aléatoire résiduel [Kotsakis, Sideris 1999].

Les modèles de surface de correction adoptés dans cet article sont les suivants :

#### Modèle à quatre (04) paramètres

Le modèle à quatre paramètres, exprimé en coordonnées cartésiennes (X, Y, Z), s'écrit :

$$a_i^T x = \frac{X_i}{r} T_x + \frac{Y_i}{r} T_y + \frac{Z_i}{r} T_z + kr$$

Où r, ( $T_x, T_y, T_z$ ) et k représentent respectivement le rayon moyen de la terre, le vecteur de translations et le facteur d'échelle.

Ce modèle peut être aussi représenté en coordonnées géographiques ( $\lambda, \phi$ ) de la manière suivante [Duquenne et al. 1995] :

$$a_i^T x = \cos \phi_i \cos \lambda_i T_x + \cos \phi_i \sin \lambda_i T_y + \sin \phi_i T_z + kr$$

Comme :

$$a_i^T x + v_i = \Delta N_i = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV}$$

D'où le modèle de surface de correction à 4 paramètres :

$$\Delta N_i = a_0 + a_1 \cos \phi_i \cos \lambda_i + a_2 \cos \phi_i \sin \lambda_i + a_3 \sin \phi_i + v_i$$

Avec :  $(a_0, a_1, a_2, a_3) = (kr, T_x, T_y, T_z)$  : inconnues.

### Modèle à cinq (05) paramètres

Le modèle à cinq (05) paramètres, donné par [Heiskanen et Moritz, 1967, Sideris, 1992], est :

$$\Delta N_i = a_0 + a_1 \cos \varphi_i \cos \lambda_i + a_2 \cos \varphi_i \sin \lambda_i + a_3 \sin \varphi_i + a_4 \sin^2 \varphi_i + v_i$$

*Remarque* : L'adaptation se réalise par moindres carrés sur tous les points GPS-nivelés en ajustant les coefficients de transformations  $(a_0, a_1, a_2, a_3)$  ou  $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$ . Ces coefficients n'ont pas de signification précise, l'objectif étant seulement de mettre le mieux possible en correspondance les deux surfaces (géoïde obtenu par nivellement/GPS et géoïde obtenu par voie gravimétrique) à l'ensemble des points communs.

## 4. Algorithme de traitement

La solution est donnée par la combinaison des hauteurs ellipsoïdales obtenues par GPS, des altitudes orthométriques fournies par le nivellement de précision et d'un modèle de géoïde (local ou global).

La méthode suppose la parfaite détermination du nivellement sur les points de référence et des mesures de lignes de bases GPS pour que la relation  $N_{GPS} = (h_{eGPS} - H_{nivellement})$  ne soit affectée d'aucune erreur.

Les étapes de calcul sont les suivantes :

*1<sup>ère</sup> étape* : Calcul de l'ondulation du géoïde par GPS / Nivellement.

$$N_i^{GPS} = h_{ei} - H_i$$

Avec :

$1 \leq i \leq n$  où  $n$  représente le nombre de points GPS nivelés.

*2<sup>ème</sup> étape* : Interpolation bilinéaire des ondulations du géoïde obtenues par voie gravimétrique sur les points GPS à partir d'une grille de géoïde local ou global :

$$N_i^{GRAV} = \text{interpolation\_géoïde\_grav.}(\lambda_i, \varphi_i)$$

*3<sup>ème</sup> étape* : Calcul de la différence entre le géoïde obtenu par GPS/Nivellement et le géoïde gravimétrique local ou le géoïde global :

$$\Delta N_i = N_i^{GPS} - N_i^{GRAV} = h_{ei} - H_i - N_i^{GRAV}$$

*4<sup>ème</sup> étape* : Ajustement des paramètres de transformation par la méthode des moindres :

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot B$$

Avec :

$$X = (a_0, a_1, a_2, a_3)^T \text{ ou } (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)^T$$

*5<sup>ème</sup> étape* : Evaluation de l'ondulation du géoïde corrigé sur les points nouveaux :

$$N_{\text{corrigé}} = N_{\text{GRAV}} + C$$

Où  $C$  est une la correction qui représente la fonction des paramètres de transformation  $(a_0, a_1, a_2, a_3)$  ou  $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$  et des coordonnées géographiques  $(\varphi, \lambda)$  du point considéré.

*6<sup>ème</sup> étape* : Calcul de l'altitude orthométrique des points nouveaux :

$$H = h_e - N_{\text{corrigé}}$$

## 5. Application : Régions d'Oran et de Constantine

L'altitude orthométrique ( $H_{\text{ortho}}$ ) peut être évaluée de la manière suivante :

$$H_{\text{ortho}} = h_{eWGS84} - (N_{\text{gravimétrique}} + C)$$

Avec :

$C$  : correction à apporter au géoïde gravimétrique qui est obtenue par le modèle de surface de correction à 4 ou 5 paramètres.

$h_{eWGS84}$  : hauteur ellipsoïdique (altitude GPS).

$N_{\text{gravimétrique}}$  : Hauteur du géoïde obtenue par voie gravimétrique (modèle local) ou par le modèle global.

### 5.1 Région d'Oran

Les données utilisées dans le traitement sont constituées de 34 points doubles répartis sur la région d'Oran, dont 19 points ont été choisis comme points de référence pour le calcul des paramètres de transformation et 15 points ont été considérés comme points de contrôle pour l'évaluation de la précision de l'ajustement. Le modèle de géoïde adopté à travers cette application est le géoïde gravimétrique local calculé par collocation. Les limites de la zone de travail, exprimées en coordonnées géographiques  $(\varphi, \lambda)$  sont :

$$35^\circ 32' 55'' \leq \varphi \leq 35^\circ 57' 45'' \text{ et } -0^\circ 50' 59'' \leq \lambda \leq 0^\circ 07' 39''$$

Les tableaux suivants (1 et 2) résument les statistiques des écarts des altitudes orthométriques obtenus au niveau des 15 points de contrôle.



**Tableau 1.** Statistiques sur les altitudes orthométriques ajustées (modèle à 4 paramètres).

Modèle du géoïde	Ecart $\Delta H_{ortho}$ (Oran)			
	Min (m)	Max (m)	Moy (m)	RMS (m)
Modèle local (collocation)	-0.064	0.142	0.039	0.069

L'écart  $\Delta H_{ortho}$  représente la différence entre les altitudes orthométriques ajustées par le modèle à 04 paramètres et celles obtenues par nivellement de précision sur les points de contrôle.

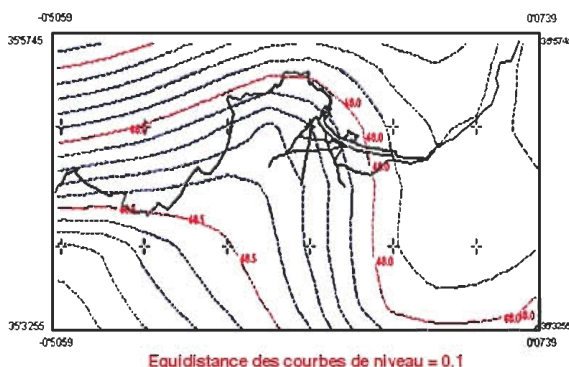
La moyenne des écarts en altitude orthométrique obtenue au niveau des 15 points de contrôle est de l'ordre de 4 cm ; l'écart type moyen de ces écarts est de  $\approx 7$  cm.

**Tableau 2.** Statistiques sur les altitudes orthométriques ajustées (modèle à 5 paramètres).

Modèle du géoïde	Ecart $\Delta H_{ortho}$ (Oran)			
	Min (m)	Max (m)	Moy (m)	RMS (m)
Modèle local (collocation)	-0.048	0.083	0.018	0.040

La moyenne des écarts en altitude orthométrique obtenue par le modèle à 5 paramètres est de l'ordre de 2 cm. Nous remarquons que la précision moyenne obtenue sur  $\Delta H_{ortho}$  est de meilleure qualité ( $\approx 4$  cm).

La figure suivante (2) représente les ondulations du géoïde corrigé de la région d'Oran.



**Fig. 2** Surface du géoïde corrigé de la région d'Oran.

## 5.2 Région de Constantine

Le réseau qui a servi à cette application est composé 15 points doubles dont 6 points d'appui et 9 points de contrôle. Le modèle de géoïde adopté pour cette zone d'étude est le géoïde gravimétrique local obtenu par collocation.

Les limites de la zone d'expérimentation, exprimées en coordonnées géographiques ( $\varphi, \lambda$ ) sont :

$$36^{\circ}1226 \leq \varphi \leq 35^{\circ}3022 \text{ et } 6^{\circ}2360 \leq \lambda \leq 6^{\circ}4815$$

Les tableaux suivants (3 et 4) représentent les statistiques des écarts des altitudes orthométriques obtenus au niveau des 09 points de contrôle.

**Tableau 3.** Statistiques sur les altitudes orthométriques ajustées (modèle à 4 paramètres).

Désignation	Ecart $\Delta H_{ortho}$ (Constantine)			
	Min (m)	Max (m)	Moy (m)	RMS (m)
Modèle local (collocation)	-0.096	0.038	-0.029	0.057

**Tableau 4.** Statistiques sur les altitudes orthométriques ajustées (modèle à 5 paramètres).

Désignation	Ecart $\Delta H_{ortho}$ (Constantine)			
	Min (m)	Max (m)	Moy (m)	RMS (m)
Modèle local (collocation)	-0.100	0.072	-0.014	0.054

Les résultats obtenus montrent que la précision moyenne des écarts en altitude orthométrique ( $\Delta H_{ortho}$ ) obtenue par chaque modèle d'ajustement (04 et 05 paramètres) sur les points de contrôle est identique ( $\approx 6$  cm).

D'après les tableaux (2 et 4), nous remarquons que l'écart type sur les écarts  $\Delta H_{ortho}$  obtenu dans la région d'Oran (tableau 2) est de meilleure qualité que celui obtenu dans la région de Constantine (tableau 4). Ceci est dû principalement, au nombre restreint de points d'appui utilisé dans la zone de Constantine.

La figure (3) illustre la surface du géoïde corrigé de la région de constantine.

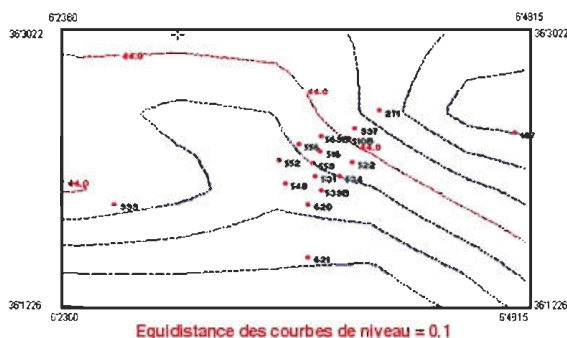


Fig. 3 Surface du géoïde corrigé de la région de Constantine.

## 6. Conclusion

Les travaux de nivellement par GPS menés par la division de géodésie (CNTS) avec des récepteurs bi-fréquences ASHTECH Z-XII, montrent que les résultats obtenus par l'intégration de données de nivellement de précision et d'un géoïde gravimétrique déterminé par collocation, peuvent atteindre un niveau de précision centimétrique.

La précision sur les altitudes orthométriques déterminées par la technique GPS / Nivellement reste tributaire de :

- La fiabilité des données gravimétriques et du modèle de calcul du géoïde (local ou global).
- La précision des mesures GPS et la puissance du logiciel de traitement.

- La qualité du réseau de nivellement (NGA).
- Du modèle de surface de correction ou d'adaptation du géoïde aux points GPS-nivelés
- Les inconsistances des datums propres aux différents types d'altitudes.
- La densité et la répartition géographique des points de référence.

## Références

- Giussepe Birardi, Domenico Santarsiero, Donato Tuffillaro, Luciano Surace, 1995 : *Setting-up local "mapping geoids" with the aid of GPS / LEV traverses. Application to the geoids of Sardinia and Calabria.* Journal of Geodesy edition Springer-Verlag.
- C. Kotsakis, M.G.Sideris, 1999 : *On the adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks.* Journal of Geodesy edition Springer Verlag.
- Zhiheng Jiang and Henry Duquenne, 1996 : *On the combined adjustment of gravimetrically determined geoid and GPS levelling stations.* Journal of Geodesy edition Springer Verlag.
- S. A. Medjahed, Février 2006 : *Intégration des données GPS, Nord Sahara et nivellement en vue d'une transformation tridimensionnelle (Cas de l'Algérie).* Mémoire de magister. CNTS / ARZEW.
- A. Zeggai, Juillet 1996 : *Intégration des données GPS en nivellement.* Thèse de Magister. CNTS / ARZEW.

## Etude Comparative des Modèles d'Ajustement avec Contraintes des Réseaux Géodésiques

B. GOURINE, B. GHEZALI

Centre National des Techniques Spatiales – Division de Géodésie  
BP n° 13, 31200 Arzew – ALGERIE. Fax : (213) 041 47 36 65

### ملخص:

إن هدف هذا المقال هو إستعراض مختلف نماذج الشروط (الشروط الكلاسيكية، الصغرى، الداخلية و المتزنة) وإدماجها في ضبط الشبكات الجيوديزية. إن محاسن و مساوئ كل نموذج من هذه الشروط و مجال تطبيقه في أعمال إقامة الشبكات الجيوديزية مدرجة في هذه المنشورة. تركز التطبيق حول الضبط باستعمال مختلف أنواع الشروط لشبكة جيوديزية مكونة من 13 نقطة جيوديزية من الفئة الأولى (نظام شمال الصحراء 1959) و التي تقع في شمال غرب الوطن. أخيراً، نتائج مختلف الضوابط مستعرضة.

**Résumé :** Le présent article a pour objectif de présenter les différents modèles de contraintes (contraintes classiques, minimales, internes et pondérées) et leur intégration dans l'ajustement des réseaux géodésiques bidimensionnels. Les avantages et les inconvénients de chaque technique de contraintes ainsi que son domaine d'application aux travaux d'établissement de canevas géodésiques spécifiques sont abordés. L'application a porté sur l'ajustement d'un réseau géodésique composé de 13 points de premier ordre (Nord Sahara 1959) et situé au Nord Ouest de l'Algérie. Les résultats des différents ajustements sont illustrés.

**Mots-clés :** Ajustement, Réseau géodésique, Contraintes classiques, Contraintes minimales, Contraintes internes, Contraintes pondérées.

**Abstract:** This article has the aim of presenting the different constraints (classical, minimal, inner and weighted constraints) and their integration in the geodetic networks adjustment. Advantages and disadvantages of each constraints technique thus its application field to the establishment of specific geodetic ground works are aborbed. The application related to the adjustment with the various types of constraints of a geodetic network composed of 13 points of first order (the Northern Sahara 1959) and located at the Western North of Algeria. Finally, the results of the various adjustments are illustrated.

**Key words:** Adjustment, Geodetic Network, Classical Constraints, Minimal Constraints, Inner Constraints, Weighted Constraints.

### 1. Introduction

La technique des contraintes est largement utilisée en géodésie et elle joue un rôle clé dans la définition du repère de référence géodésique, sa densification et son rattachement ainsi qu'à l'évaluation de son évolution dans le temps. Elle est fondamentalement employée pour résoudre les problèmes liés à la singularité des systèmes de relations d'observations. Le thème développé à travers cet article consiste à mettre en oeuvre un processus d'ajustement des réseaux géodésiques bidimensionnels.

Il a pour objectif de présenter les différents modèles de contraintes pour le calage du repère géodésique (origine, mise à l'échelle et orientation) et leur intégration dans l'ajustement par les moindres carrés (norme L2) des réseaux géodésiques. Les propriétés de chaque technique de contraintes ainsi que son domaine d'application aux travaux d'établissement de canevas géodésiques sont abordés. Enfin, les tests effectués ont porté sur l'application de ces différents modèles d'ajustement d'un réseau géodésique composé de 13 points de premier ordre (Nord Sahara 1959) et situé au Nord Ouest de l'Algérie.

### 2. Présentation des modèles d'ajustements avec contraintes

Les différents type d'ajustement avec contraintes des réseaux géodésiques sont les suivants [Niemeier et al., 1990], [Even, 1992], [Altamimi, 2003] et [Gourine, 2004] :

### 2.1 Ajustement avec contraintes classiques (CC)

Il s'agit de fixer un nombre de paramètres supérieur au nombre de degrés de liberté du Datum noté  $d$ . En d'autres termes, il consiste à fixer un nombre de coordonnées de points du réseau supérieur à  $d = 4$  (cas des réseaux bidimensionnels) avec ou sans équations de conditions. Cet ajustement est connu sous le nom d'ajustement standard. Cette méthode est facile d'application et sa mise en oeuvre consiste simplement à ne pas estimer les coordonnées des points fixées (stations de référence). Néanmoins, elle pose le problème du choix des stations de référence : pourquoi fixer telles stations plutôt que telles autres ? En fait, cette méthode attribue un poids plus important (i.e.,  $EMQ=0$ ) aux stations de référence ce qui peut être dangereux dans le cas où il y a des mauvaises observations au niveau de ces stations. Dans ce cas, il est préférable de choisir les stations de référence présentant une configuration optimale (répartition homogène) et ayant de bonnes observations et des coordonnées précises [Schroedel, 2002].

### 2.2 Ajustement avec contraintes minimales (CM)

Cette méthode est connue sous le nom de la solution de contraintes minimales. Il s'agit de fixer un nombre de paramètres égale à  $d$ . Elle est généralement utilisée pour l'ajustement des réseaux spécifiques (réseaux géodésiques et réseaux de surveillance). Cette méthode conserve la géométrie interne du réseau. Elle consiste à éliminer les quatre degrés de liberté du réseau représentant deux translations (origine), un facteur d'échelle et une rotation (orientation). Deux cas possibles se présentent :

- Fixation des coordonnées de deux points du réseau.
- Fixation des coordonnées d'un seul point, d'un azimut d'une direction et d'une distance. Pour ajuster l'ensemble des observations du réseau sous certaines conditions en orientation et en échelle, la méthode de résolution est basée sur la substitution des inconnues issues du système d'équations de condition dans le système des relations d'observations [Perelmuter, 1979]. Le système d'équations linéaires (1) est :

$$\text{Relations d'observations : } A_{(m,p)} X_{(p)} - L_{(m)} = V_{(m)} \quad (1)$$

$$\text{Equations de condition : } C_{(q,p)} X_{(p)} + D_{(q)} = 0$$

Avec :

$A$  : matrice de configuration.

$C$  : matrice de coefficients des équations de condition.

$X$  : vecteur des paramètres (inconnues).

$L$  : vecteur des mesures des relations d'observations.

$D$  : vecteur des mesures des relations de condition.

$V$  : vecteur des résidus.

$m, p, q$  : nombres d'observations, d'inconnues et d'équations de condition, respectivement.

Le système (1) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$A_{1(n,p-q)} X_{1(p-q)} + A_{2(n,q)} X_{2(q)} - L_{(n)} = V_{(n)} \quad (2a)$$

$$C_{1(q,p-q)} X_{1(p-q)} + C_{0(q,q)} X_{2(q)} + D_{(q)} = 0 \quad (2b)$$

Où :

$A_1, A_2$  : sous matrices de  $A$

$C_0, C_1$  : sous matrices de  $C$

$X_1, X_2$  : sous vecteurs de  $X$ .

La solution du système (2) comporte deux étapes :

(i) Calcul du vecteur inconnu  $X_1$  par la méthode des moindres carrés pondérées :

$$\hat{X}_1 = (\bar{A}' P \bar{A})^{-1} \cdot \bar{A}' P \bar{L} \quad (3)$$

$$\text{Où, } \bar{A} = A_1 - A_2 C_0^{-1} - C_1 \text{ et } \bar{L} = A_2 C_0^{-1} - D + L.$$

(ii) Substitution du vecteur  $\hat{X}_1$  dans l'équation (3) et calcul du vecteur inconnu  $X_2$  :

$$X_2 = -C_0^{-1} - (C_1 \hat{X}_1 + D) \quad (4)$$

L'estimation de l'écart type à posteriori de l'unité des poids des observations est donnée par la formule :

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V_T P V}{n+q-u} \quad (5)$$

La matrice de variance-covariance des inconnues  $\hat{X}_1$  est déterminée par :

$$C_{,x1} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot Q_{x1} = \hat{\sigma}_0^2 (\bar{A}'^T \cdot \bar{A})^{-1} \quad (6)$$

La matrice des variances covariances du vecteur des paramètres  $X^t = [X_1 X_2]$  est donnée par :

$$C_x = \hat{\sigma}_0^2 Q_x = \hat{\sigma}_0^2 \begin{pmatrix} Q_{x1} & Q_{x1} \cdot \bar{C}^T \\ \bar{C} \cdot Q_{x1} & \bar{C} \cdot Q_{x1} \cdot \bar{C}^T \end{pmatrix} \quad (7)$$

Avec :

$$\bar{C} = -C_0^{-1} \cdot C;$$

$C_x, Q_x$  : respectivement, matrice des variances covariances et matrice des cofacteurs des paramètres  $\hat{X}$ .

### 2.3 Ajustement avec contraintes internes (CI)

C'est un cas particulier des contraintes minimales où tous les points du réseau sont libres. Cette méthode permet de définir le Datum d'une manière implicite en calant la géométrie du réseau sur l'ensemble des coordonnées approchées des points par une transformation d'Helmert. Elle est basée sur la solution de la trace minimale de la matrice variance covariance des paramètres, connue sous le nom de contraintes internes. Elle offre certains avantages tels que la conservation de la qualité des observations et de la forme géométrique du réseau et ne pose pas de problème de choix des stations de référence. Le champ d'application de ce type de méthode est la réalisation des systèmes de références terrestres et l'établissement des réseaux de surveillance (sismique, géodynamique, etc.).

La solution du problème, dans ce cas, est formulée par :

$$\hat{X}^+ = (A^T.P.A + B^T. \sum_{X_{trans}}^{-1}.B)^{-1}.A^T.L \quad (8)$$

Avec:

A : matrice de configuration;

P : matrice poids des observations;

L : vecteur des observations;

Utilisant  $B=(G_i^T.G_i)^{-1}.G_i^T$ , contenant toute l'information nécessaire permettant de définir le Datum, on introduit une équation de contraintes internes à  $\sum_{X_{trans}}$  près, sous la forme:

$$B.(X_2 - X_1) = B. \Delta X = 0 \left( \sum_{X_{trans}} \right)$$

Avec :

$$G_i^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ -y_i^0 & x_i^0 & \dots & -y_p^0 & x_p^0 \\ x_i^0 & y_i^0 & \dots & x_p^0 & y_p^0 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{Translation en x} \\ \text{Translation en y} \\ \text{Rotation} \\ \text{Facteur d'échelle} \end{array}$$

$\sum_{X_{trans}}$  représente une matrice diagonale des variances des 4 paramètres de transformation (deux translations, une orientation et un facteur d'échelle).

Dans notre cas, on choisit la solution de référence  $X_1=X_R$  (exemple: repère géodésique "Nord Sahara 59") et une solution estimée  $X_2=X_{estim}$  (issue de l'ajustement). [Gourine et al., 2005].

L'estimation de l'écart type à posteriori de l'unité des poids est donnée par la formule :

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{m-n} \quad (9)$$

La matrice de variance-covariance des paramètres est déterminée par:

$$C_{\hat{X}^+} = \hat{\sigma}_0^2 (N + B^T. \sum_{X_{trans}}^{-1}.B)^{-1} N (N + B^T. \sum_{X_{trans}}^{-1}.B)^{-1} = \hat{\sigma}_0^2.N^+ \quad (10)$$

N : matrice normale ( $A^T.P.A$ ).

$N^+$  : pseudo-inverse ou inverse de moore penrose de la matrice N.

La propriété de  $N^+$  est que sa trace est minimale parmi toutes les inverses généralisées de N. A cause de cette propriété, la solution  $\hat{X}^+$  de l'équation (8) est appelée solution de la norme minimale [Hwang et al., 2002].

### 2.4 Ajustement avec contraintes pondérées (CP)

Il s'agit d'attribuer un poids pour chaque station du réseau. Aucun point du réseau n'est fixé. Les poids sont assignés selon la connaissance à priori des incertitudes sur les coordonnées des points : les stations de référence auront un poids plus important que celui des points secondaires. Cette méthode est généralement utilisée pour la densification des réseaux géodésiques [Nieimer, 1990].

Soit à résoudre le système linéaire :  $AX = L$

Avec :  $\text{var}(L) = \Sigma_L = P^{-1}$ .

On suppose que l'on dispose d'une information à priori sur le vecteur des paramètres X de la forme [Coulot, 2002] :

$$\left. \begin{array}{l} A_0 X = X_0 \\ \text{Où } \text{var}(X_0) = \Sigma_{0x} \end{array} \right\} \quad (11)$$

On peut considérer alors, que l'on dispose du système d'observations suivant :

$$\begin{pmatrix} A \\ A_0 \end{pmatrix} X \approx \begin{pmatrix} L \\ X_0 \end{pmatrix} \text{ de poids } \begin{pmatrix} \Sigma_L^{-1} & 0 \\ 0 & \Sigma_{0x}^{-1} \end{pmatrix} \quad (12)$$

la solution est alors exprimée par la relation:

$$\hat{X} = (A^T. \Sigma_L^{-1}.A + \Sigma_{0x}^{-1})^{-1}.A^T. \Sigma_L^{-1}.L \quad (13)$$

Une classe particulière des contraintes pondérées est celle des contraintes faibles (précision d'ordre métrique) ou fortes (précision d'ordre millimétrique). Cette méthode consiste à mettre des "à priori" sur les paramètres à estimer, c.-à-d., à établir des équations de contraintes.

L'attribution des mêmes contraintes sur les coordonnées de toutes les stations limite les translations, la rotation et le facteur d'échelle. Le repère issu de l'ajustement sera calé en moyenne sur le repère initial.

Cette méthode a l'avantage d'attribuer un même poids à toutes les stations, mais elle pose le problème du choix de la valeur de la contrainte. L'ajustement avec contraintes faibles fournit un repère qui ne sera qu'*approximativement calé* sur le repère initial (suppression de moins de 04 degrés de liberté).

Par contre, l'ajustement avec contraintes fortes fournit un repère estimé qui sera *bien calé* sur le repère initial, mais les stations risquent de ne pas être ajustées de manière totalement libre car le repère sera trop contraint (suppression de plus de 4 degrés de liberté).

L'application de cette méthode est délicate car il faut trouver une valeur *optimale* de la contrainte qui soit compatible avec les observations. Seule l'expérimentation permettra de déterminer la valeur adéquate.

### 3. Application

#### 3.1 Description du réseau

Le réseau géodésique qui a servi à l'application des différents modèles d'ajustement, comporte 51 observations (50 lectures horizontales et un azimut de Laplace) effectuées à partir de 13 points du premier ordre, situés dans la région Nord Ouest du pays. La précision des mesures d'angle et d'azimut est respectivement de l'ordre de  $\pm 07$  dmgr et de  $\pm 03$  dmgr.

Le système géodésique utilisé est le Nord Sahara 1959 et la projection cartographique employée est UT M (*Universal Transverse Mercator*) calculée sur l'ellipsoïde Clarke 1880A.

Le jeu d'observations de ce réseau a été fourni par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT). La configuration du réseau est illustrée par la figure (1).

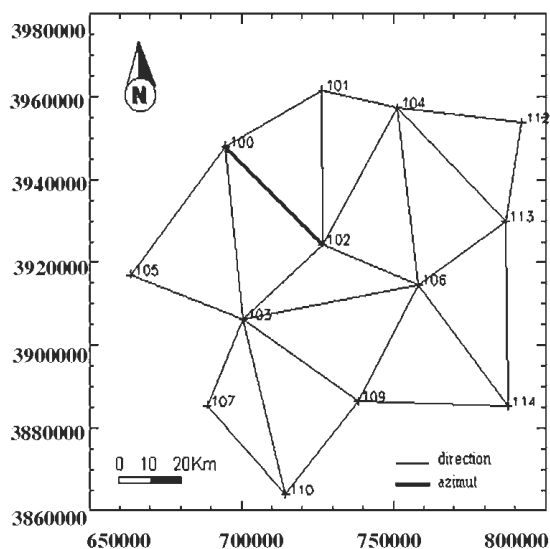


Fig. 1 Configuration du réseau test

#### 3.2 Résultats et discussion

Les résultats des différents modèles d'ajustements avec contraintes du réseau sont fournis en termes d'ellipses d'erreurs.

##### 3.2.1 Contraintes Classiques

Les stations de référence, au nombre de trois (107, 112 et 114), ont été choisies aux extrémités du réseau de façon à encadrer l'ensemble du canevas. En plus, l'équation de condition (azimut de Laplace) est utilisée pour fixer l'orientation du réseau. Dans ce cas, le Datum définit par 02 translations, 01 orientation et 01 facteur d'échelle est surdéterminé.

La figure (2.a) montre que les ellipses d'erreurs absolues des points ont une dimension moyenne de l'ordre de 13 cm ce qui est suffisant pour la géodésie classique. Néanmoins, nous constatons que la taille de l'ellipse d'erreur du point 103 atteint la valeur maximale  $\approx 21$ cm. Ce phénomène est dû à l'effet du choix de la configuration des points de référence. Effectivement, sur la base d'un test effectué avec une autre configuration de points de référence (101, 110 et 112), il a été constaté que la taille de l'ellipse absolue de la station 103 a rétréci ( $\approx 10$  cm), comme le montre la figure (3.a).

Les ellipses relatives nous ont permis de faire une lecture facile et précise du domaine de confiance sur chaque couple de points.

D'après la figure (2.b), nous remarquons que la structure du réseau, composée de succession des couples de points, est cohérente d'une manière générale, en terme de dimension d'ellipses. Par contre, les points en liaison avec la station 103 ont des ellipses d'erreurs de dimensions sensiblement importantes ( $\approx 22$  cm); ceci est dû aussi à l'effet du choix de la configuration des points de référence. En effet, d'après la figure (3.b), avec une autre configuration de points de référence (101, 110 et 112), la taille moyenne des ellipses relatives des points en relation avec la station 103 a diminué ( $\approx 13$  cm).

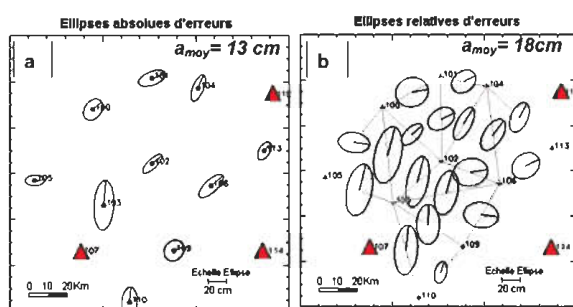


Fig. 2 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.C. (Stations de référence : 107, 112, 114)

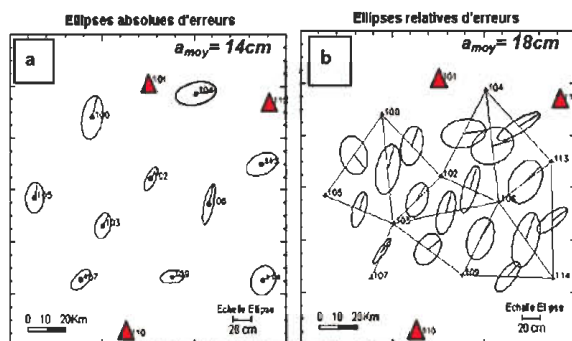


Fig. 3 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.C. (Stations de référence : 101, 110, 112)

### 3.2.2 Contraintes Minimales

Le Datum est défini par deux points géodésiques connus en coordonnées planimétriques (x,y). Les stations de référence sélectionnées (107 et 112) se trouvent aux deux extrémités du canevas géodésique. L'azimut de Laplace est considéré, dans ce cas, comme étant une relation d'observation seulement.

La figure (4.a) représente les dimensions des ellipses d'erreurs absolues, en moyenne  $\approx 16$ cm, qui sont dans la tolérance géodésique.

Mais, nous remarquons que les ellipses d'erreurs des points 100 et 103 atteignent respectivement des tailles sensiblement grandes,  $\approx 20$  cm et  $\approx 23$  cm. La figure (4.b) montre qu'il y a une certaine cohérence en dimension entre les ellipses d'erreurs relatives ( $\approx 21$  cm). Néanmoins, nous constatons que l'amplitude des ellipses relatives aux couples de points contenant le point 103 est sensiblement grande ( $\approx 26$  cm). Ces anomalies sont dues, essentiellement, au problème du choix de la configuration des points de référence. En effet, d'après la figure (5), avec une nouvelle configuration des points de référence (105 et 110), la taille des ellipses d'erreurs absolues des points 100 et 103 a augmenté ( $\approx 27$  cm). De même, la taille moyenne des ellipses d'erreurs relatives des couples de points contenant le point 103 a augmenté ( $\approx 34$  cm). Ceci montre qu'un mauvais choix de la configuration des stations de référence induit des imprécisions importantes dans le calcul des ellipses d'erreurs.

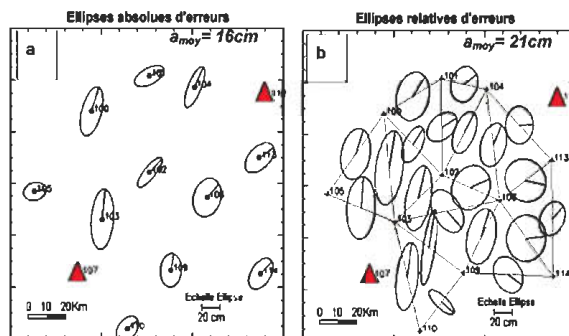


Fig. 4 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.M. (Stations de référence : 107, 112)

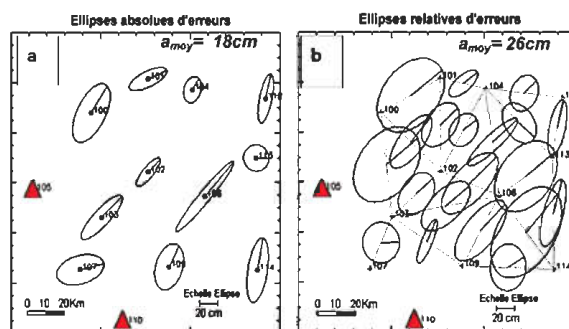


Fig. 5 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.M. (Stations de référence : 105, 110)

### 3.2.3 Contraintes Internes

Avec ce modèle d'ajustement, tous les paramètres des stations du réseau doivent être estimés, i.e., le réseau est totalement libre. Il s'agit d'introduire une équation de contraintes minimales sur les quatre paramètres du Datum.

L'azimut de Laplace est considéré, dans ce cas, comme étant une simple relation d'observation angulaire avec un poids relativement important.

D'après la figure (6.a), la majorité des ellipses ont des tailles sensiblement égales de l'ordre de 11cm. Par conséquent, la précision obtenue sur l'ensemble des points du réseau est homogène et jugée bonne vis à vis de la qualité requise en géodésie classique. De même que pour les dimensions des ellipses d'erreurs relatives, figure (6.b), de l'ensemble des couples de points qui sont en général de même amplitude (en moyenne  $\approx 16$  cm).

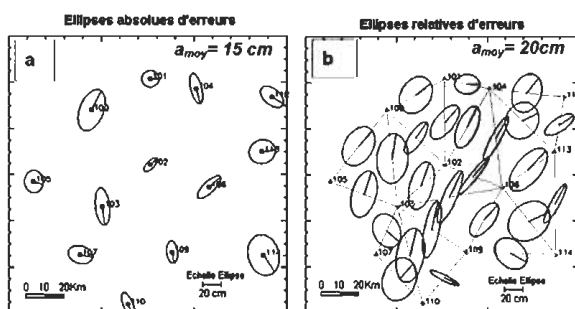


Fig. 6 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.I.

### 3.2.4 Contraintes Pondérées

Dans ce cas, tous les points du réseau sont libres mais affectés avec des poids. Aucun point n'est fixe absolument avec une erreur nulle. Les poids sont issus des matrices variances covariances des paramètres du réseau calculées à partir d'un ajustement à priori. L'introduction de poids des paramètres au modèle d'ajustement rend le réseau sous la contrainte des précisions imposées. Dans notre cas et à titre d'exemple, les poids des coordonnées sont déterminés à partir d'un ajustement avec contraintes internes du réseau.

Les ellipses d'erreurs absolues des points, figure (7.a), ont une dimension moyenne de l'ordre de 4 cm ce qui est largement suffisant pour la géodésie classique. D'après la figure (7.b), nous remarquons que la structure du réseau, composée de succession des couples de points, est très cohérente en terme de dimension d'ellipses dont les tailles sont de l'ordre de 6 cm.

L'obtention de tels résultats très satisfaisants (réseau précis et homogène) dépend essentiellement de la bonne qualité des précisions (contraintes fortes) sur les coordonnées des stations qui ont été imposées a priori. En effet, via un test qui consiste à introduire des contraintes faibles sur les coordonnées (x,y) et sur l'orientation ( $dV_0$ ) respectivement de l'ordre de 1cm ( $\sigma_{x,y}$ ) et 10dmgr ( $\sigma_{V_0}$ ), les résultats obtenus ont montré que les dimensions des ellipses absolues d'erreurs ont augmenté (taille moyenne  $\approx 15$ cm), figure (8.a). Même phénomène s'est produit pour les dimensions des ellipses relatives d'erreurs ( $\approx 20$ cm), figure (8.b). Ceci montre que le choix des valeurs des contraintes sur les paramètres du réseau conditionne la qualité des résultats de l'ajustement. Par conséquent, le choix judicieux des valeurs des contraintes (ni trop grandes, ni trop faibles) est fondamental pour cette méthode d'ajustement. Car, si la valeur de la contrainte choisie est trop grande (contraintes faibles), le repère estimé ne sera qu'approximativement calé sur le repère de référence. Et si la valeur de la contrainte choisie est trop faible (contraintes fortes), le repère estimé sera bien calé sur le repère de référence, mais les stations risquent de ne pas être ajustées de manière totalement libre car le repère sera trop contraint.

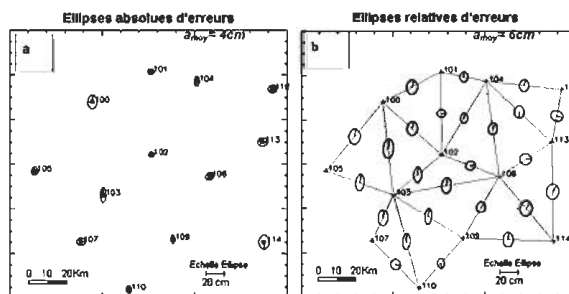


Fig. 7 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.P. (Contraintes fortes).

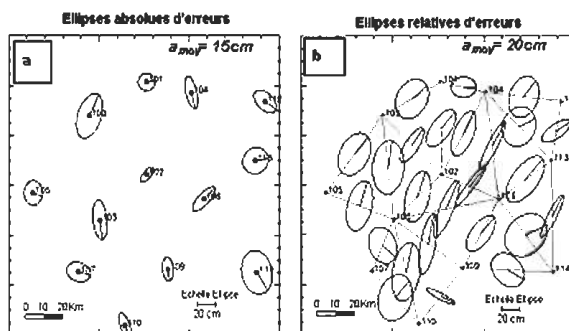


Fig. 8 Ellipses d'erreurs absolues et relatives. Cas des C.P. (Contraintes faibles)  
(Test :  $\sigma_{x,y} = 1\text{ m}$  et  $\sigma_{V_0} = 10\text{ dmgr}$ )



#### 4. Conclusion

Les résultats obtenus lors des différents types d'ajustement avec contraintes du réseau géodésique bidimensionnel ont montré que la précision planimétrique, en termes d'ellipses d'erreurs, est tributaire du choix :

- de la configuration et du nombre de stations de référence (à fixer) dans le cas des *contraintes classiques*,
- de la configuration du Datum dans le cas des *contraintes minimales*,
- des valeurs des contraintes sur les paramètres à introduire dans le modèle d'ajustement avec *contraintes pondérées*.

Par contre, la méthode d'ajustement avec contraintes internes n'attribue aucune préférence à l'une ou l'autre des stations de référence et ne pose pas le problème du choix des valeurs des contraintes. Avec cette méthode, le Datum est fixé d'une manière implicite.

Enfin, quant au choix du modèle d'ajustement avec contraintes dépend essentiellement du but recherché (réseaux géodésiques et cadastraux, auscultation d'ouvrages d'art et de sites industriels, surveillance sismique, etc.).

#### Références

Altamimi Z., 2003: Systèmes de référence terrestres: définition et réalisation. Communication, école d'été de GRGS, Forcalquier, France, 28 Août 2003.

- Coulot D., 2002: Initiation théorique et pratique à la méthode d'estimation par moindres carrés. Notes de cours, Ecole d'été du GRGS, Septembre 2002.
- Even P., 1992: Analyse des données VLBI pour la détermination des paramètres d'orientation de la terre. Mémoire d'ingénieur, ENSAIS, France, Octobre 1992.
- Gourine B., 2004: Ajustement avec contraintes du réseau géodésique national. Application : réseau de base. Mémoire de Magister en Techniques Spatiales et Applications-option, Centre National des Techniques Spatiales, Arzew, septembre 2004.
- Gourine B., Ghezali B., 2005: Ajustement avec contraintes internes des réseaux géodésiques. Bulletin des sciences géographiques, INCT N°15, Avril 2005.
- Hwang W., Wang C.G., Lee L.H., 2002 : Adjustment of relative gravity measurements using weighted and datum-free constraints. Computers & Geosciences, vol. 28, pp.1005-1015.
- Niemeier W., Tengen D., 1990: PANDA, the software package for precise engineering networks. Second accelerator workshop, Desy, Hamburg, septembre 1990.
- Peremulter A., 1979: Adjustment of free networks, Bulletin géodésique volume 53, pp.291-296.
- Schroedel J., 2002: Structural deformation surveying. Rapport technique, Department of the army, US corps of engineering, Juin 2002.

# Mise à jour de la Base de Données Routières : Apport du GPS

H. NECHNICHE, A. AYOUAZ, H. TAIBI, A. MENDES, M. BENABDALLAH  
Centre National des Techniques Spatiales- CNTS  
BP 13, 31200, Arzew, Algérie – Nechniche\_Hocine@yahoo.fr

**Résumé :** La gestion de données crédibles d'un réseau routier par un Système d'Information Géographique (SIG) est un besoin utile sinon nécessaire pour mieux appréhender la gestion du patrimoine routier. Il est donc indispensable de s'appuyer sur des procédés bien ajustés afin de situer l'ensemble du réseau routier, de réunir et de saisir toute donnée jugée indispensable pour des besoins urgents ou ultérieurs.

Dans un but de mise à jour des bases de données routières, la mise en oeuvre d'un système de levé précis et rapide est une solution incontestable. Ainsi, les Divisions de Géomatique et de Géodésie du Centre National des Techniques Spatiales (CNTS – Arzew- Oran) ont développé une méthodologie permettant la détermination précise de la spatialité des routes par GPS (Global Positioning System). Cet article porte sur la mise en place d'un système d'acquisition de données par la technique GPS cinématique pour la gestion routière afin d'améliorer la saisie de données à référence spatiale et son intégration dans un Système d'Information Routier (SIR).

**Mots clés :** SIR, BDR, SIG, GPS Cinématique.

## 1. Introduction

La demande en informations géographiques routières augmente chaque année, notamment depuis l'apparition de nouveaux systèmes tels que les systèmes de navigation pour l'automobile. Afin d'assurer une acquisition productive des données ainsi qu'une mise à jour régulière, il faudrait engager des moyens techniques efficaces pour ces tâches.

L'acquisition de telles données par des techniques de mesure conventionnelles est une opération onéreuse et difficile à mettre en oeuvre qui ne suffit plus sur l'ensemble d'un territoire. L'usage de solutions se basant sur la technique GPS permet une restitution plus systématique et plus productive, mais elle nécessite aussi un matériel spécifique et la connaissance de points de base stables et précis. A cet effet, un projet portant sur la mise à jour de la base de données routières de la wilaya d'Oran et sa gestion par un Système d'Information Routier (SIR) a été mis en oeuvre.

Il consiste à la saisie de données spatiales par différentes techniques, à savoir :

**Levé par GPS :** Acquisition des données en utilisant le GPS cinématique.

**Levé topométrique mobile :** Sa singularité réside principalement dans l'utilisation de capteurs d'imagerie. Le concept est l'acquisition de clichés géoréférencés afin d'autoriser une restitution photogrammétrique pour localiser les éléments désirés.

**L'imagerie satellitaire à haute résolution :** Evaluer les potentialités de l'imagerie satellitaire à haute résolution spatiale dans le but de substituer les images aux cartes topographiques traditionnelles utilisées jusqu'à présent pour la constitution et la mise à jour de la Base de Données (BD).

Dans le cadre de ce projet, le travail présenté dans cet article s'est focalisé sur la mise en place du système de repérage spatial des données routières par GPS cinématique dans le but d'établir une base de réflexions pour l'adaptation aux nouvelles technologies de la gestion routière.

## 2. Mise à jour de la Base de données routières (BDR)

Le projet se décompose en trois phases : la première phase porte sur l'utilisation de la technique GPS pour l'acquisition des données, la deuxième phase concerne l'utilisation des techniques de la topométrie mobile et enfin la troisième phase est relative à l'utilisation de l'imagerie satellitaire à haute résolution.

## 3. Système d'information routier (SIR)

### 3.1 Ses objectifs

La connaissance du réseau est un des éléments indispensables pour définir les politiques et stratégies routières en matière d'investissement, d'exploitation, de gestion ou d'entretien.

Le premier objectif d'un SIR est d'aboutir à une connaissance parfaite du réseau routier en géométrie et en informations descriptives, ce qui permettra des prises de décisions optimisées procurant ainsi un transport sécuritaire, confortable et économique. La figure (1) illustre le schéma général d'un SIR

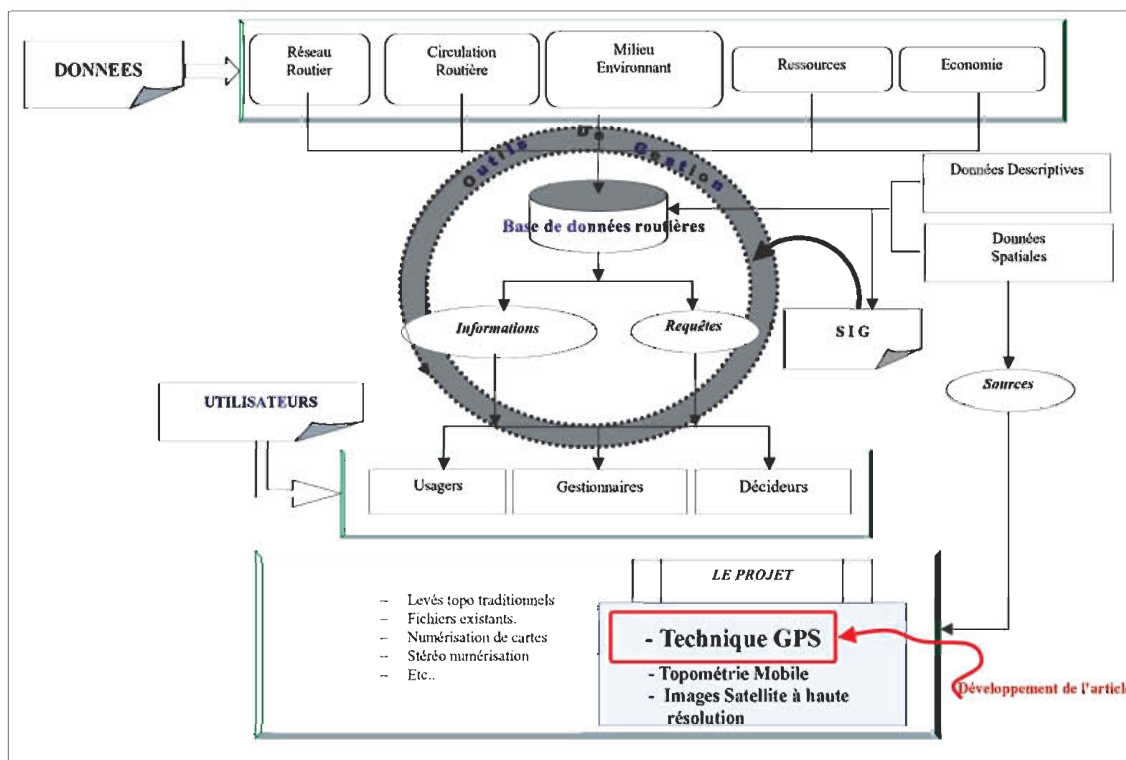


Fig. 1 Schéma du S.I.R

Le recueil de données implique une large gamme d'activités, en général, les groupes d'informations définis sont : l'inventaire de données routières (géométrie et équipement), la circulation, les accidents, la sécurité routière, l'entretien, les finances, l'historique des projets, les données administratives, les données météorologiques et l'environnement. Jusqu'à ce jour, les données sont souvent recueillies de façon non coordonnée par les différents organismes routiers. La clé pour un SIR cohérent est la possibilité de relier une série de données à d'autres fichiers ou à d'autres séries de données et de partager ces informations entre tous les acteurs de la route.

L'intégration de données provenant de recueils séparés peut être réalisée de différentes façons. Un bon système de référence de position est essentiel ; les données doivent être bien définies au moment du recueil et être mises à jour régulièrement.

Un SIR comprend une gamme complète d'activités intégrant la planification des investissements, la conception, la construction, l'entretien et l'évaluation périodique ou continue. Les catégories de gestion impliquées comprennent tant ceux qui sont responsables des décisions ayant trait à la politique et aux orientations pour un ensemble de projets, que les responsables de la mise en pratique et des décisions particulières d'un projet spécifique.

Le rôle de la gestion à tous les niveaux est de comparer les options, de coordonner les activités, de prendre les décisions qui s'imposent et leur mise en application d'une manière efficace et économique. Chaque phase de décision étant importante; le SIR doit parfaitement reconnaître ces phases, permettre au personnel engagé de les identifier et de s'assurer qu'elles correspondent à la structure de l'organisme en question. Les sollicitations diverses imposent une connaissance parfaite de toutes les données relatives au réseau routier. Une cartographie numérique permet une représentation fidèle et à jour très appropriée.

### 3.2 Ses avantages

L'intérêt technique et stratégique apporté par un SIR dans l'élaboration d'une politique routière est indéniable. La constitution d'une base de données routières permet de connaître précisément le réseau à gérer. Les SIG permettent de produire des informations thématiques localisées très efficaces pour définir l'étendue du réseau, sa qualité, sa fréquentation et son état. Si les décideurs disposent de cartes thématiques simples et de graphes statistiques, ils peuvent améliorer et surtout visualiser la connaissance du réseau routier à gérer.

Par ailleurs, les possibilités de simulations offertes par les outils SIG constituent un intérêt stratégique primordial dans l'élaboration de la politique routière. Ces simulations permettent d'affecter les diverses versions de construction ou de réhabilitation d'une route et d'en mesurer les impacts environnementaux. Le choix d'une politique routière est aussi directement lié à des contraintes budgétaires; le SIR permet de simuler diverses variantes de stratégie financière, d'évaluer les incidences budgétaires optimales et de prévoir le futur du réseau en général, ou d'une route en particulier.

### 3.3 Les données spatiales

Les données spatiales posent fréquemment un double problème car elles doivent être traitées par des opérations spécifiques et leur structuration est complexe et variable. Elles permettent de localiser les entités sur le territoire et d'en décrire la forme géométrique à l'aide de points, de lignes, de polygones, ou d'images.

Disposer d'une couverture cartographique numérique précise du réseau routier est une étape fondamentale dans la mise en place d'un SIR. A cet effet, nous avons mis en place une mission qui répond à plusieurs objectifs :

- Disposer rapidement d'une cartographie du réseau routier suffisamment précise pour permettre l'exploitation de notre base de données.
- Assurer une mise à jour de données précise et efficace.
- Sensibiliser le personnel des divers services du domaine routier aux nouvelles techniques d'acquisition et de gestion routière.
- Utiliser les nouvelles techniques d'acquisition de données routières qui s'appuient sur de nouveaux concepts (GPS cinématique, topométrie mobile et imagerie satellitaire à haute résolution).

### 3.4 Les normes

L'application des normes internationales dans le domaine des bases de données routières est primordiale, car les données doivent être comparables, utilisables à long terme et échangeables. Ces normes sont applicables dans divers outils de gestion des données routières universellement préconisés. Ces outils intègrent généralement une base de données alphanumériques contenant tous les éléments liés au réseau des routes. Par l'intermédiaire du dictionnaire des données, cette base de données doit permettre la description des caractéristiques des éléments

constitutifs de la route et de ses composants, leur état structurel et fonctionnel, ainsi que tous les événements et les activités qui influent sur l'entretien et l'exploitation des routes. Dans la base de données, les objets sont localisés dans le système de repérage de base dans l'espace. Les types d'objet d'information nécessaires à la constitution à une base de données géoréférencées sont les axes et les points de repère. Un point de repère est constitué du point de repère physique, de la plaquette et de la marque.

## 4. Levé par GPS cinématique

Le levé cinématique correspond à un mode particulier du levé par GPS exigeant le maintien du contact avec les satellites et l'observation à tout instant d'au moins 4 satellites.

Le récepteur de référence demeure fixe sur un point connu et enregistre en continu les observations. Le récepteur itinérant se déplace sur une trajectoire bien définie tout en enregistrant les observations en continu avec une cadence régulière comprise entre 5 et 10 secondes (figure 2).

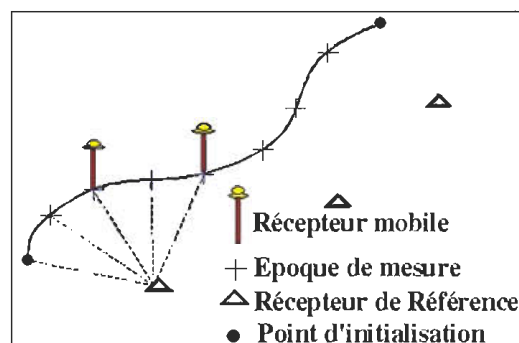


Fig. 2 Mode cinématique.

La méthode du levé cinématique repose sur la résolution des ambiguïtés de mesure de phases. Le démarrage d'un levé cinématique exige au préalable la phase d'initialisation du levé.

#### Applications :

- trajectoires d'objets en mouvement,
- photogrammétrie,
- levé des routes et tout réseau rectiligne.

#### Avantages :

Le levé cinématique est le mode le plus productif vu le nombre important de points levés au court de l'intervalle de temps d'observations.

**Inconvénients :**

Le levé cinématique nécessite la conservation du contact sur aux moins quatre satellites pendant les déplacements du récepteur, ce qui paraît presque impossible en zones boisées ou urbaines.

Dans le cadre de ce travail, la méthodologie développée est basée sur l'exploitation de mesures de la phase des signaux GPS en mode cinématique et les traitements sont effectués en temps différé. Les points levés sont d'abord calculés dans le système géodésique géocentrique WGS84 puis transformés dans le système géodésique national Nord Sahara.

**5. Application**

**5.1 Présentation de la zone d'expérimentation**

L'expérimentation de levé de route par GPS cinématique réalisé se situe dans la ville d'Arzew (Oran) avec une longueur supérieure à 4 kilomètres, traversant des zones urbaines (figure 3). Le point de référence choisi est un point GPS qui a été observé et calculé dans le cadre du projet ALGEONET et intégré dans le réseau national. (Extrait de la carte NI-30 XXIV 2 à l'échelle 1/25000 éditée par l'INCT).



Fig. 3 Situation géographique du projet.

**5.2 Choix des paramètres de calcul**

Les paramètres utilisés lors du traitement des observations GPS sont les suivants :

- Type d'éphémérides : radiodiffusées.
- Modèle troposphérique : standard (Hopfield).
- Type de traitement : L<sub>1</sub> & L<sub>2</sub>.
- L'écart type a priori : fixé à 40 mm.
- Point de référence (calage) : point rattaché au réseau ALGEONET.

**5.3 Transformation des coordonnées**

La transformation des coordonnées du système WGS84 au système Nord Sahara a été réalisée par un logiciel dénommé "TRANSDAT" développé au niveau de la division de géodésie. Les résultats de la transformation se résument en deux fichiers :

- Un fichier nivellement relatif aux altitudes des points rattachées au Nivellement Général Algérien (NGA). Ce fichier a été utilisé pour l'établissement du profil en long, du plan topographique et du MNT.
- Un fichier des coordonnées UTM et Lambert dans le système local.

**5.4 Résultats**

La figure 4 représente le carrefour principal d'entrée d'agglomération d'Arzew dont le levé a été effectué par GPS cinématique.

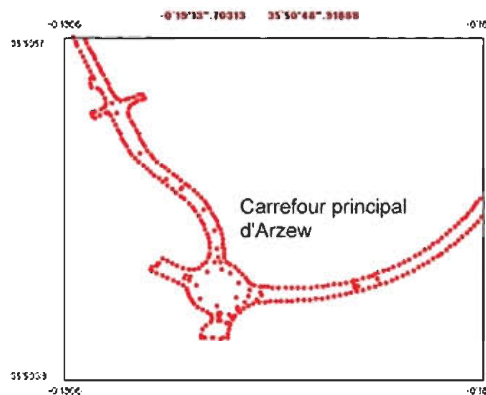


Fig. 4 Extrait du plan de levé par GPS cinématique.

**5.5 Structure des fichiers**

Le fichier des points issu du module de traitement des observations GPS est structuré comme suit :

- Name : code ou nom de point.
- LAT et LON : coordonnées géographiques HE : hauteur ellipsoïdique.
- RMS : Root Mean Square.
- PDOP : Position Dilution Of Precision.

L'intégration des fichiers dans la base de données routières a été réalisée après avoir effectué une codification appropriée. Les extraits des tableaux ci-dessous (tableaux 1 et 2) représentent la structure des fichiers points issus après la transformation.

A travers cette application et les différents tests effectués, le positionnement en mode cinématique utilisé dans de bonnes conditions de géométrie et avec un nombre suffisant de satellites s'avère très pratique et précis dans le cas des levés des objets linéaires. La précision obtenue sur les coordonnées des points du levé est centimétrique ce qui est largement suffisant pour ce type d'application. Cette partie du projet consolidera sûrement les prochaines étapes de développement, basées sur l'intégration de ces fichiers dans la base de données routières et leur gestion dans le SIR.

## 6. Conclusion et perspectives

Le développement des applications routières réclame la gestion d'une quantité sans cesse croissante de données rattachées à l'espace routier. Des systèmes de levé topométrique mobile peuvent acquérir ces informations, en offrant un gain sensible de productivité grâce à la combinaison d'outils de navigation et d'imagerie numérique. Néanmoins, de tels systèmes, de mise en œuvre délicate, imposent un investissement financier considérable tant du point de vue matériel qu'humain.

Cette application de levé par GPS cinématique a permis de saisir des données d'une façon systématique, une première évaluation a démontré l'intérêt de son utilisation dans un contexte moderne de levé routier tout en s'assurant de sa compatibilité avec les méthodes classiques et les exigences générales de la gestion routière.

Afin d'approfondir les potentialités d'un tel outil, on se doit d'entreprendre certaines actions : Analyser de manière ciblée la **qualité des données** de navigation et de restitution, comparer la **géométrie de la route** déterminée par ce système mobile avec une géométrie de référence et enfin établir un test selon les **exigences des normes** pour la gestion routière.

Mais, le projet étant plus complexe, sa suite se fera avec l'utilisation de caméras vidéo combinées avec le GPS pour la restitution d'éléments routiers. Nos aspirations s'étendent à l'utilisation d'imagerie satellite à haute résolution (SPOT5, 2.5 m) qui s'est avéré concluante dans plusieurs projets internationaux. Le domaine routier saura certainement profiter de ces nouvelles techniques ; ce fait exige une planification réfléchie, précise et détaillée.

L'intégration des données géoréférencées dans le SIR permet une gestion globale, systématique et intégrale des objets routiers. De ce fait, l'intérêt à ces pratiques ne sera que croissant.

Tableau 1. Structure du fichier points avant transformation.

Name	LAT	LON	HE	RMS	PDOP	Observation
Référence	N 35 51 29.768970	W 0 18 49.708380	75.7812	0	2.2	Pt de base
B001	N 35 51 11.368639	W 0 19 25.605810	72.7919	0.012	2.2	Pt de détail
B002	N 35 51 11.055016	W 0 19 25.725727	72.4667	0.011	2.2	Pt de détail
???	N 35 51 86.024422	W 0 30 68.980776	49.3527	0.031	2.4	Pt trajectographie
???	N 35 51 86.024432	W 0 30 68.981452	49.3555	0.031	2.4	Pt trajectographie

Tableau 2. Structure du fichier points après transformation.

N°Point	X UTM (m)	Y UTM (m)	H(m)	Observation
A500	743147.543	3971328.909	50.938	Pt de détail
B501	743170.893	3971416.693	51.150	Pt de détail
P1	743263.021	3971499.811	49.343	pt trajectographie
P2	743263.019	3971499.811	49.353	pt trajectographie

## Références

- DUQUENNE F, WILLIS P, PEYRET F, BETAÏLLE D : *GPS : Localisation et navigation par satellites. Les applications autres que la localisation*. pp253-271. HERMES 2005.
- EL-SHEIMY N. *The Development of VISAT – A Mobile Survey System for GIS Applications*. UCGE Reports Nr. 20101, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.1996
- LOUKES D. K. *L'intégration d'un SIG et d'un logiciel de conception de réseaux routiers pour la planification des routes à grande circulation*. La conférence canadienne sur les SIG : 6ième conférence internationale. Ottawa, 1994, pp. 845-856.
- MENA J., « *State of the art on automatic road extraction for GIS update : A Novel Classification* », Pattern Recognition Letters, vol. 24, n° 16, 2003, p. 3037-3058.
- NECHNICHE H. « *modélisation du réseau routier en vue de la constitution d'une base de données routières* » Thèse de Magister- CNTS-Arzew-1996.
- OGGIER R. ET GILGEN M., *Projet SYRROU : Systèmes de repérage spatial des données routières, Base pour la révision des normes VSS SN 640910 et SN 640911*. EPFL, Département de Génie Rural, Institut de Géomatique, Chaire de SIRS. 2000
- PEYRET F, BETAÏLLE D : *GPS : Localisation et navigation par satellites. Le positionnement dynamique*. pp161-252. HERMES 2005.
- PEYRET F : *Standardization of data flows on earthworks and road pavement sites using information systems*. Proceedings of the 19th International Symposium on automation and robotics for construction, Washington DC, USA, September 23-25, 2002.
- ROBITAILLE Y., LANDRY J. M., GILBERT M., JODOUIN S., NECHNICHE H., OUELLETTE L., PILON D. ET TROTTIER O., *Réseau routier canadien. Avant-projet : Rapport technique*, Centre Canadien de Géomatique – Sherbrooke – Québec - Mai 1994.
- TANAWA E. , ZIMMERMANN M., *La gestion urbaine et les systèmes d'information*. Revue internationale de géomatique. Paris - 1994. pp. 39-53.
- TRL,DFID : *Guidelines for the design and operation of road management systems*, Overseas Road Note 15,2001.
- WALTER V. ET FRITSCH D., *Structures de données SIG pour système de navigation pour véhicules automobiles*. La conférence canadienne sur les SIG : 6ième conférence internationale. Ottawa, 1994, pp. 489-497.

## Cartographie Physionomique de la Végétation Forestière par Télédétection Satellitaire Optique de Moyenne Résolution Spatiale en Zones Semi-arides (Ouest Algérien)

K. BENCHERIF\*, N. LETREUCH BELAROUCI\*\*

\*BP119. Département de foresterie. Université de Tlemcen. 13000 Tlemcen. Algérie.

Email : Bencherifk@yahoo.fr

\*\*BP 112. Imama. Tlemcen 13000. Algérie.

### ملخص:

إن التحليل الآلي للصور الفضائية يعتمد أساسا على طرق التصنيف الموجه و الغير الموجه. عند وضع الخرائط الغابية عادة ما يفضل النوع الأول لدقته لكن في الأوساط الغابية المتوسطة الشبه جافة لشمال غرب الجزائر يمكن للتصنيف الغير الموجه أن يكون حلا إذا ما استطعنا أن نجد علاقة بين بعض ميزات المجموعات الحراجية و الأقسام الطيفية هذه الدراسة بينت أنه في المناطق الحراجية الغير متجانسة و التي تحتوي على عدة مجموعات نباتية كالثابة الكثيفة، الغابة الخفيفة، الأجران، إن التصنيف الغير موجه للصور الفضائية يقسم الفضاء الطيفي إلى طبقات مرتبة ترتيبا تنازليا مع تنازل طول المجموعات النباتية التي يحتويها القسم من جهة أخرى يقسم الطبقة إلى أقسام مرتبة هي الأخرى ترتيبا تنازليا مع تنازل كثافة المجموعة الحراجية. هذه النتائج مكنت من وضع خريطة النبات على أساس الفيزيونيما، هذه الخريطة الأولية ستؤدي إلى وضع خريطة أنواع المجموعات الحراجية، طريقتين يمكن الاعتماد عليهما في هذه الحالة الأولى تعتمد على المعلومات الميدانية التي يملكها المحلل أما الثانية فتعجز تصنيف موجه على أساس الخريطة الأولى

**Résumé:** L'interprétation automatique d'images satellitaires s'appuie essentiellement sur les algorithmes de classification. Ces classifications peuvent être dirigées ou non dirigées. Pour la cartographie forestière, la première catégorie est souvent préférée à la seconde pour sa précision. Cependant, en milieu forestier méditerranéen tel que celui des zones semi-arides de l'ouest Algérien, l'hétérogénéité des formations végétales rend difficile la sélection de zones d'entraînement précises même en possession de données terrain. Dans ce cas, les classifications non dirigées peuvent être une solution à condition de trouver une relation fiable entre certains paramètres dendrométriques des peuplements forestiers et les classes spectrales pour en faciliter l'interprétation. Cette étude sur une zone forestière semi-aride de l'ouest algérien a montré que dans un espace forestier hétérogène, comportant plusieurs formations végétales de type forêt, matorral arborescent, matorral, herbacées et des vides, la classification non dirigée par nuées dynamiques a découpé l'espace spectral en strates spectrales se différenciant

principalement par la hauteur et ordonnées par ordre décroissant de la hauteur des formations végétales qu'elles représentent. Il s'agit des strates thématiques suivantes : forêts, matorral arboré, matorral, herbacées et les vides. A l'intérieur de chaque strate comportant deux ou plusieurs formations végétales, l'algorithme de classification partage la strate spectrale en classes spectrales ordonnées par ordre décroissant de leur densité. Ces premiers résultats ont permis d'établir la carte des grands types physionomiques de la végétation de la zone d'étude. Cette carte servira de base pour établir la carte des types de peuplements forestiers. Deux solutions peuvent être envisagées dans ce cas : la première consiste en l'exploitation des connaissances terrain de l'interprète pour affiner les résultats. La seconde réalise une classification dirigée de l'image. Dans les deux cas, la réalité terrain doit être toujours disponible.

**Mots-clés :** Types physionomiques ; Télédétection ; Classification non dirigée; semi-aride ; Forêt ; Matorral.

**Abstract :** The automatic interpretation of satellite imagery essentially leans on the algorithms of classification. The classification can be supervised or unsupervised. For forest mapping, the first category is often preferred to the first for its precision. However, in Mediterranean forest environment as the semi-arid forest zones in north-west of Algeria, the heterogeneity of the plant formations is such that it is difficult to select training zones even in possession of ground data. In this case, the unsupervised classification that cluster the forest space in spectral classes on a solely statistical basis, can be a solution provided that the interpretation of the classes becomes easy and less complicated through a reliable relation between some stand parameters and the spectral classes. This survey on a semi-arid forest zone in north west of Algeria showed that in a heterogeneous forest space, including several plant formations as forest, arborescent shrublands, shrublands, herbaceous and emptiness, the unsupervised classification (isodata) cut the spectral space in spectral strata differentiating themselves mainly by the height and ordered by decreasing order of the plant formations height. The thematic strata are: forest, arborescent shrubland, shrubland, herbaceous and the emptiness. Inside every stratum including two or several plant formations, the classification shares the spectral stratum in spectral classes ordered by decreasing order of their density. These first results permitted to establish the vegetation physiognomic types map of the survey zone. This map will act as basis to establish the map of the forest stands. Two solutions can be considered in this case: the first consists in the exploitation of the interpreter's knowledge land to refine the results. The second achieves a supervised classification of the image. In the two cases, the ground truth must be always available.

**Key-words:** Physiognomic types; Remote sensing; Unsupervised classification; Semi-arid; Forest; shrubland

## 1. Introduction

En aménagement forestier, les besoins en information sont permanents et sont satisfaits en grande partie par des inventaires périodiques. Cependant, les inventaires forestiers traditionnels contenaient plus de tableaux que de cartes, mais les cartes et les informations géoréférencées devraient être à l'avenir le principal produit standard des inventaires forestiers (Kleinn.C., 2002).

En effet, les documents cartographiques tiennent une grande place à chacune des étapes d'un projet d'aménagement forestier. De l'étude de faisabilité au suivi des impacts des actions entreprises, en passant par la spatialisation des données de l'inventaire, les cartes s'avèrent des outils indispensables pour l'aménagiste. (Pain Orcet.M et al.1998). Les recherches devront donc s'orienter vers des méthodes souples et plus adaptées d'élaboration de ces documents. Les documents forestiers lorsqu'ils sont disponibles répondent largement aux besoins des gestionnaires forestiers. Ils s'appuient sur des bases naturelles qui sont des documents précieux facilitant le suivi et la planification de l'exploitation forestière: il s'agit en particulier des cartes géologiques, de la carte des stations (phytosociologie) et de la carte des peuplements forestiers (essence, volume, état...) et de l'inventaire du réseau hydrographique (Blumer.C et Golay. F., 1997). L'aménagement forestier est le cadre de toute la gestion forestière et son fondement est le peuplement forestier (Grim.S., 1986). Par conséquent, le document cartographique le plus important pour les services des forêts est la carte des types de peuplement.

Les cartes forestières, notamment les cartes des types de peuplements, sont établies à partir de photographies aériennes. L'imprécision des cartes forestières peut être attribuée à la variabilité continue de la forêt d'une part et le procédé de catégorisation, c'est à dire, de la photo-interprétation (Groeve et al. 1998). Dans ce cas, les classifications dirigées d'images satellitaires qui utilisent les cartes des types de peuplements pour déterminer leurs zones d'entraînement seront-elles aussi imprécises..

Les classifications non dirigées qui ne dépendent pas de la subjectivité du thématique-interprète catégorise la forêt et partage cet espace en polygones homogènes spectralement. Hélas, cette homogénéité spectrale ne traduit pas toujours une homogénéité thématique. Une classification précise d'images satellitaires exige donc du thématique la possession de la réalité terrain. Cette réalité terrain peut être définie comme étant "l'ensemble des zones d'une région qui sont homogènes pour un certain nombre de paramètres" (Groeve et al.1998). Pour les zones forestières du semi-aride ouest-algérien, il est clair que ces paramètres leur sont spécifiques et doivent être pris en considération. Dans ce contexte, cette étude vise à étudier la relation entre certains de ces paramètres et les classes spectrales issues des classifications non dirigées pour développer une méthodologie d'utilisation de cet algorithme pour la cartographie des types de peuplements forestiers.



## 2. Cartographie physiologique de la végétation forestière

La couverture végétale du sol est l'aspect physique du terrain. Elle se définit par les formes et la nature de la surface et peut-être observé directement sur le terrain et à partir des documents de télédétection (Bonn.F et al.1996). Par conséquent, la première perception, et la plus intuitive, qu'une personne a d'un paysage végétal concerne son allure générale et sa physiologie (Maire.A., 1989).

La physiologie d'une formation forestière est très liée à sa structure spatiale. L'analyse de la structure selon certains auteurs peut être effectuée avec peu de moyens et sans connaître particulièrement le nom de la plupart des espèces végétales. Elle peut de plus s'appliquer à plusieurs échelles de perception, de la parcelle à l'ensemble d'une formation végétale. Enfin, elle se prête fort bien à une synthèse et à une application cartographiques (Maire.A., 1989). La structure spatiale dans un peuplement des forêts naturelles méditerranéennes du semi-aride peut être décrite comme une mosaïque de taches correspondant à des formations végétales qui diffèrent, du point de vue de leur physiologie, par deux principaux paramètres : la hauteur et la densité.

Dans ce contexte, Yanqiu.X, Lihai.W et Westinga.E,(2004) dans une étude sur l'évaluation de la dégradation des espaces boisés au sud de l'Espagne, ont adopté une classification basée sur la physiologie du couvert végétal et sa densité. On trouve par exemple les forêts denses et les forêts claires, les matorrals arborés denses ou clairs ainsi que les matorrals bas denses ou clairs, la végétation herbacée dense ou claire et les vides. Shoshany.M (2000) emploie l'expression "formes de vies" comme synonyme de classes physiologiques et parle de forêts, espaces boisés, broussailles, Matorral bas, les plantes herbacées. En Algérie, le bureau national des études forestières (BNEF) adopte souvent une cartographie basée sur la physiologie des formations végétales complétée parfois par la nature du substrat affleurant et/ou de l'espèce ligneuse dominante. On rencontre dans une telle classification par exemple, les peuplements de pin d'Alep, le matorral, le matorral avec sujets uniques, le matorral arboré, le matorral arboré sur terrain rocheux etc. (Bencherif.K.,2002).

Le but d'une cartographie des types physiologiques de peuplements forestiers est de localiser puis de mesurer les proportions de chaque type pour un suivi efficace des actions humaines sur le milieu écologique d'où cette grande attention qu'elle a attiré dans les régions méditerranéennes.

Les méthodologies développées à cette fin sont basées sur l'information spectrale, temporelle et spatiale (texturale) fournie par les données satellitaires (Shoshany. M., 2000).

La plupart des cartes existantes sur le couvert forestier à l'échelle régionale sont basées sur la classification d'images satellitaires (Ohmann.J.L et Gregory.M.J., 2002). Dans ce domaine, les systèmes avec des capacités spatiale, spectrale et temporelles comme Landsat ETM + et Spot, sont valables pour la discrimination de classes avec différentes densités du couvert à l'échelle régionale (Claudin.j et al.1995). Bien que ces données sont spatialement complètes et correctes, leur contenu en information est limité aux caractéristiques générales de la canopée (Cohen et al.2001).

Cependant, Les bandes TM3(rouge), TM4(proche infrarouge), et TM5(moyen infrarouge) de Landsat ou leur équivalents XS2(rouge) et XS3(proche infrarouge) de spot sont les plus utiles pour une discrimination générale de types de couverts forestiers (Horler & Ahern., 1986 ; Durrieux.S.,1994). La distinction entre feuillus et conifères est possible à cause d'une différence fondamentale dans le proche infrarouge PRI. : les houppiers des feuillus peuvent réfléchir 50% de plus dans le PIR que les houppiers des pins, dû aux structures différentes des deux canopées. Autrement dit, les feuillus ont un couvert dense de leur cimes avec une expansion horizontale à l'inverse des pins qui ont un couvert faible de la cime avec une distribution conique verticale (Zheng.D et al.2004).

D'autre part, les images satellitaires telles Landsat et spot sont intéressantes à la fois à l'amont et à l'aval d'une étude d'aménagement forestier et dans ce cas l'approche à différentes échelles est nécessaire, en particulier à petite et grande échelle. Pour la première, l'imagerie satellitaire peut être utilisée efficacement en s'appuyant sur des observations sur le terrain.

Généralement, le projet d'aménagement réalise ses propres cartes pour actualiser les cartes existantes et puis pour visualiser les données récoltées pendant l'inventaire.

Ces cartes dites de "traitement" ou "d'analyse" permettent de répondre aux questions relatives aux types de peuplements composant la forêt à aménager, aux contraintes à l'exploitation et à la pression humaine.

La représentation cartographique peut se concevoir de deux manières liées dans une certaine mesure à la récolte des données (Lecomte.H et Rondeux.J., 2002.) : la cartographie "réelle" et la cartographie "a posteriori".

La cartographie réelle est une représentation cartographique, sur fond topographique ou non, à petite ou à grande échelle, de la réalité physique des peuplements avec leurs contours, identifiés par un code symbolisant les caractéristiques des massifs (essence principale, volume à l'hectare, ...). La cartographie "a posteriori", très bien adaptée aux inventaires systématiques n'est réalisable que si les résultats de l'inventaire sont connus. La carte des types physionomiques de la végétation par télédétection reflète l'image réelle d'un espace forestier à l'instant T, correspondant à la date de prise de vue. L'importance de ce document cartographique pour l'aménagement forestier est très grande : les aménagements forestiers durables exigent des données fiables, objectives et régulièrement mises à jour, et dans ce cadre, les proportions respectives des différents types physionomiques permettent d'identifier et de localiser les cibles de restauration des conditions paysagères et de les incorporer à la stratégie d'aménagement. Elles jouent le rôle d'indicateurs qui aident les décideurs à concentrer leurs actions dans l'espace et le temps.

### 3. Classification des images satellitaires

Les principales phases dans l'analyse de données de télédétection sont les mêmes que, celles suivies lors de l'observation et l'interprétation des paysages depuis des points d'observation et se résument dans la définition des besoins en information, la collecte des données et l'analyse des données.

Parmi toutes les méthodes de la télédétection, celles les plus en vue et les plus usitées sont les classifications ; cependant et en dépit des progrès récents constatés dans ces méthodes, la vérité terrain est toujours demandée pour vérifier la précision de la classification par n'importe quelle méthode (Estiva.S et Puech.C., 1998).

Le but de la classification est d'affecter une classe d'appartenance à chaque pixel. La méthode consiste en une partition de l'espace radiométrique, associant chaque portion d'espace à une classe d'appartenance (selon des critères statistiques ou de distance en fonction du type d'algorithme) et une affectation de chaque pixel à la classe dans laquelle sa radiométrie le positionne (Estiva.S et Puech.C., 1998).

La faiblesse de la résolution des images est paradoxalement un avantage et est une condition nécessaire pour la réussite de l'analyse spectrale puisque une meilleure résolution augmente la variance du signal et par suite rend très aléatoire une telle analyse (Blumer.C et Golay.F. 1997).

Cette remarque est partagée par d'autres auteurs dont les études ont porté sur les zones méditerranéennes (Chirici et al.2001). En effet, il a été démontré que la résolution spatiale optimale pour la majorité des classes forestières se situe entre 5 et 20 mètres et intègre dans des proportions variables des couronnes d'arbres, de l'ombrage et du sous-bois (Louy et al. 2000).

Qu'elle soit visuelle ou automatique, l'interprétation doit être assurée par l'organisme responsable de l'aménagement forestier dont la connaissance intime des conditions de terrain garantirait, de toute évidence, la pertinence de l'analyse des données fournies par la télédétection (Malingreau.J.P., 1993). Plusieurs suggèrent maintenant qu'une combinaison quelconque de connaissances locales et d'autres reliées à la discipline (foresterie, agriculture, etc.) combinées avec des aptitudes de photo-interprétation seront plus importantes que de la formation sur les algorithmes et systèmes d'analyse d'images (Batterham.R.J., 2000).

La reconnaissance de la couverture du sol à partir des classifications automatiques est l'une des recherches méthodologiques importantes en télédétection : la classification automatique a l'avantage de réduire la subjectivité inhérente à chaque tentative de représentation simplifiée de la réalité. En plus elle est rapide et les coûts opérationnels sont réduits (Griguolo.S et al.1996).

L'interprétation automatique s'appuie essentiellement sur les algorithmes de classification (Leckie.D. G, 2002). Deux grands types de classification d'images satellitaires par pixel se distinguent par leurs avantages et leurs inconvénients : la classification non dirigée et la classification dirigée.

#### - La classification non dirigée :

Le degré de succès de cette classification est déterminé par la séparation spectrale des différents groupes. La classification non-dirigée est un processus automatique qui fondamentalement reconnaît les classes spectrales définies sur une base purement statistique. Il existe plusieurs algorithmes, parmi lesquels celui des nuées dynamiques ou ISODATA ( Iterative Self Organizing Data Analysis) est le plus utilisé. La première itération détermine les moyennes du nombre maximum de classes arbitrairement définies.

La distance spectrale entre tous les pixels et les classes moyennes est calculée et le pixel candidat est assigné à la classe spectrale la plus proche. Quand tous les pixels sont assignés à une classe, les moyennes sont recalculées et utilisées pour définir des classes dans la nouvelle itération.

Le processus continue jusqu'à ce que une partie des pixels ne change pas d'une classe à une autre entre deux itérations. Ce nombre est défini par le seuil de convergence. L'utilisateur définit aussi le nombre maximum d'itérations et les classes à obtenir (Andesen.G.L., 1998).

**- La classification dirigée**

La classification du reste de l'image (après avoir déterminé les zones d'entraînements) sera basée sur les valeurs trouvées dans les zones d'entraînements. Les méthodes de classification généralement utilisées pour assigner des pixels aux classes établies sont : Minimum distance Classification par parallélépipède et par maximum de vraisemblance (classification gaussienne). Ces classifications conventionnelles appelées communément "classifications par pixels" ignorent souvent une information utile de réflectance dans les pixels voisins d'où l'utilisation des classificateurs contextuels qui sont des méthodes de classification captant l'information des pixels voisins. C'est ainsi que Steven.M et al. (2001) ont proposé pour la classification précise des espaces boisés méditerranéens, une méthode basée sur l'information spatiale et spectrale; elle combine les avantages des deux méthodes précédentes. Elle est basée sur le fait (hypothèse) que de meilleurs résultats peuvent être obtenus quand les algorithmes de classifications spectrales sont appliquées à des sections d'images spectralement homogènes et quand un algorithme combiné spatial/spectral est utilisé pour les parties hétérogènes de l'image. La méthode passe par trois étapes :

- La stratification : c'est l'extraction des régions homogènes sur la base de l'information spatiale et spectrale.
- Classification des régions homogènes.
- Classification des autres parties (hétérogènes) de l'image.

Généralement, les classifications résultant des deux méthodes dirigée et non dirigée ne sont pas toujours précises à 100%, puisque les pixels individuels peuvent ne pas avoir les mêmes propriétés de réflectance que la majorité des pixels autour d'eux. Ceci est une caractéristique intéressante et représentative de l'hétérogénéité des propriétés de réflectance mais souvent un filtre est utilisé après les classifications pour atténuer cet effet. Cependant, et afin d'atteindre une précision satisfaisante, un regroupement de classes est souvent nécessaire. D'autre part, et quelque soit la classification utilisée, les résultats de la classification doivent être confrontés aux données ramenées du terrain.

**4. Présentation de la zone d'étude**

**4.1 Situation générale**

De forme anticlinale allongée, la forêt domaniale de "Moulay Smaïl de Mascara" sépare deux synclinaux qui forment à l'ouest la plaine de Oued Tlélat et à l'ouest la plaine de l'habra. Elle s'étend de la route nationale n°4 au sud jusqu'aux salines d'Arzew et la zone humide de la Macta au nord-est. Elle est située à environ 63 Km de la ville de Mascara et à 40 Km de la ville d'Ora. C'est une forêt de plaine qui constitue avec la zone humide de la "Macta" un ensemble écologique de très grande valeur environnementale. A cette grande valeur naturelle, vient s'ajouter une autre grande valeur, cette fois historique, puisque la zone a abrité la célèbre bataille de la "Macta" entre les troupes de l'Emir AbdelKader et l'armée coloniale française.

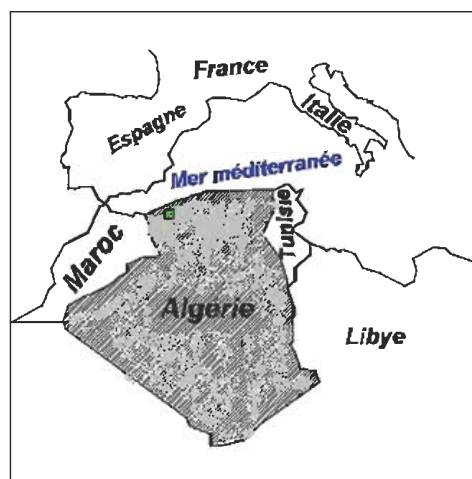


Fig.1 Localisation de la région d'étude.

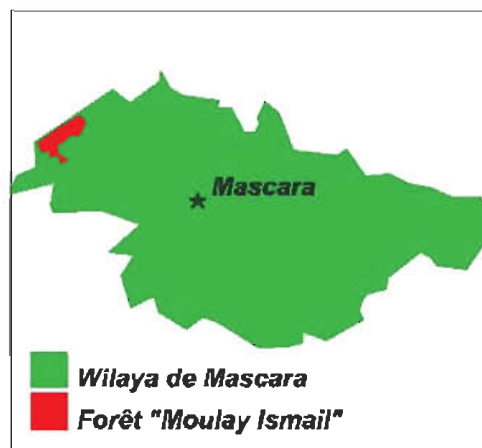


Fig. 2 Localisation de la zone d'étude.

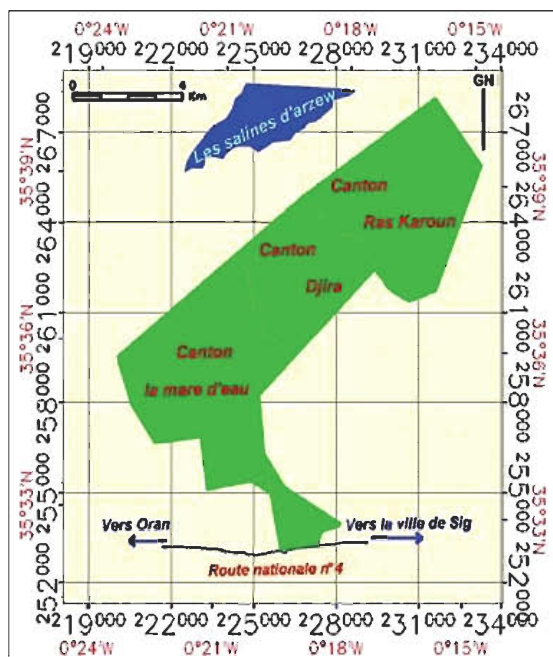


Fig.3 Carte de situation de la zone d'étude.

Au début de l'époque coloniale, sa superficie était de 12000 hectares, mais suite aux distractions effectuées par l'administration coloniale au profit des colons et les riverains parfois, elle a régressé pour se stabiliser en 1846 sur 6530 hectares. Cette superficie est répartie en trois cantons: Canton "la mare d'eau" ; Canton "Djira" ; Canton "Ras Karoun".

Le premier canton est occupé essentiellement par deux formations végétales:

- Peuplement artificiel de pin D'Alep (*Pinus halepensis*).
- Groupement végétal à base d'olivier sauvage (*Oléa europaea sp sylvestris*) et de lentisque (*Pistacia lentiscum*).

Le second renferme principalement trois formations végétales:

- Peuplement d'Eucalyptus très dégradé, en état de fragmentation en bosquets.
- Matorral à base de lentisque.
- Matorral à base d'armoise.

Alors que le troisième est constitué de quatre types de peuplements:

- Peuplement naturel de Thuya.
- Peuplement artificiel de pin d'Alep.
- Peuplement artificiel d'eucalyptus
- Matorral dégradé à base de lentisque et d'armoise.

Généralement, les formations rencontrées dans notre zone d'étude font parties des formations d'arbustes thermo et méso-méditerranéen.

Nous croyons qu'il est utile d'en donner certaines définitions :

1. Les fruticées à Oliviers et Lentisques: Habituellement fruticées pluri-spécifiques dans lesquelles *oléa europaea subsp accompagnés de Pistacia lentiscus* joue un rôle physiognomique déterminant. Quand les espèces caractéristiques s'accroissent en hauteur, elles s'intègrent au matorral arborescent.

2. Fruticée à lentisques : Formations riches ou dominées par *Pistacia lentiscus*, répandues et abondantes dans les zones thermo-méditerranéennes et côtières méso-méditerranéennes du bassin méditerranéen entier. Souvent basse et parfois très ouverte, la fruticée à lentisque peut en situations favorables, atteindre une hauteur de plusieurs mètres, s'intégrant ainsi au matorral arborescent.

3. Fruticée à calicotome Formations thermo-méditerranéennes physiognomiquement dominées par la brillante floraison de *Calicotome villosa* ou *C. spinosa*.

4. Matorral arborescent : Formations pré-ou post forestières avec un couvert arboré plus ou moins dense avec une strate buissonnante généralement dense hautement sempervirente.

4.1. Matorral à oliviers et lentisques : Matorral arborescent thermo-méditerranéen avec *Olea europaea subsp.sylvestris*, *ceratonia siliqua*, *pisatcia lentiscus*

4.2. Matorral arborescent à lentisques : formations dominées par les grands *pistacia lentiscus*.

5. Matorral à pin : Fruticées et buissons sclérophylles méditerranéens et sub-méditerranéen dotés de pins.

5.1. Matorral arborescent à *Pinus halepensis* : formations dominées par *Pinus halepensis*.

## 4.2. Approche méthodologique

### 4.2.1 Les données satellitaires

Une image SPOT-xs couvrant la région d'étude et acquise en mai 2001 a été utilisée pour la réalisation des classifications. L'image a été corrigée géométriquement par rapport au système de projection Lambert Nord Algérie et l'erreur résiduelle est de l'ordre de 0,12 pixel.

La notion de correction topographique ou normalisation topographique se rapporte à la compensation des différences d'illuminations solaires dues à la forme irrégulière du terrain (Riaño.D. et al.,2003). Cet effet cause de grandes variations dans la réponse spectrale de types similaires de végétation. Les zones d'ombre reflètent moins que les zones ensoleillées.

Cependant ces corrections ne sont pas toujours nécessaires en présence de forêts de plaines. Les corrections radiométriques n'ont pas été faites en raison de la faible superficie traitée d'une part, et de la méthode de traitement adoptée. C'est ce qu'ont vérifié et confirmé certains auteurs :

Les corrections atmosphériques et radiométriques ne sont pas nécessaires quand la zone d'étude est assez petite, ne contenant pas de variations visibles dans les conditions atmosphériques et aussi quand les méthodes appliquées telles les classifications n'exigent pas des mesures de réflectance absolues. [Wallerman, J. 2003 ; Louy et al. 2002 ; Chartier et al, 2000].

#### 4.2.2 Les classifications d'images

La classification non dirigée par nuées dynamiques partage l'espace forestier sur la base de la réflectance de chacune d'elle et cette dernière est fonction des caractéristiques du peuplement forestier notamment, sa densité, sa hauteur et son sous-bois. Si on considère notre espace forestier (la zone d'étude), celui-ci est une mosaïque de taches correspondant à plusieurs types de peuplements qui diffèrent par l'espèce dominante, par la hauteur et par la densité du couvert.

La méthodologie que nous avons adoptée consiste en une série de classifications non dirigées par parcelles appliquées à notre espace forestier. Ces parcelles ne sont pas des parcelles forestières mais des masquages (habillage) de différentes dimensions correspondant respectivement à la forêt toute entière, au premier canton, au deuxième puis au troisième canton. A l'intérieur de chaque parcelle (masque), une classification non dirigée par pixel a été réalisée puis un filtre passe bas a été appliqué sur une fenêtre de 3\*3. Tous les traitements d'images ont été réalisés grâce au logiciel ENVI 3.5.

La première classification concernait la totalité de la zone d'étude : disposant d'une couche vecteur sur les limites de la forêt, un habillage de la zone d'étude a été réalisé puis une classification avec un nombre prédéterminé de classes a été lancée. Dans notre cas, ce nombre de classes est égal au nombre de classes thématiques existantes.

Les résultats de cette classification sont une série de classes spectrales arrangées de 1 à 7. L'interprétation des résultats devrait permettre de définir ces classes spectrales.

L'exploitation des données terrains, et les documents cartographiques existants ont permis de dégager les premières observations suivantes (voir tableau n°1) :

Le tableau des correspondances entre classes spectrales et classes thématiques réelles met en évidence une relation très intéressante entre l'arrangement des classes spectrales et celui des classes thématiques correspondantes.

Il est connu que sur une image satellitaire, les forêts occupent un intervalle de faibles radiométries (Durrieu, S., 1994). Cependant, si on considère plusieurs types de peuplements forestiers, ces derniers occuperont dans cet intervalle, des radiométries qui augmenteront avec la diminution du taux de recouvrement du sol par la végétation.

La classification non dirigée de canaux simples, de compositions colorées ou du ratio R/IR arrange les classes spectrales par ordre croissant de la radiométrie et par conséquent, les classes thématiques correspondantes vont s'arranger de la même manière. Les formations végétales les plus denses occuperont la première classe alors que les vides occuperont la dernière classe. Les formations végétales de densité moyenne occuperont les classes intermédiaires. Cette hypothèse serait parfaitement vérifiée si les peuplements denses avaient occupé la même classe, or on constate les faits suivants :

- les taillis de thuya et le matorral arborescent à lentisque bien qu'ils soient denses, occupent la classe 2. L'élément hauteur paraît être la cause puisque la hauteur de ces formations (2 à 3m) est très petite par rapport à celle des formations de la première classe (7 à 16 m en moyenne). D'autre part, les taillis de thuya, les matorrals arborescents à lentisque, à lentisque et oléastre, ou à pin d'Alep lorsqu'ils sont clairs occupent la classe 3 bien qu'ils aient la même hauteur moyenne que ceux de la classe deux. Leur densité inférieure par rapport à celle de la classe deux fait la différence.

- Les garrigues à genets ou les fruticées à lentisques occupent deux classes différentes soit 4 et 5 bien qu'ils aient la même hauteur (0.5 à 1m) : la densité vient séparer les mêmes types de peuplements.

- Enfin, toutes les formations herbacées (à armoise le plus souvent) occupent l'avant dernière classe (classe 6) bien que leur densité est variable : leur hauteur très basse (moins de 0.5 m) en est encore une fois la cause. Pour cette première étape, les analyses qui viennent d'être faites peuvent être synthétisées et résumées de la manière suivante :

**Tableau 1.** Correspondances entre classes spectrales et classes thématiques.

Classe spectrale	Types d peuplements (classe thématique)	Hauteur	Densité
1	Perchis de pin d'Alep	5 à 10 m	Dense
	Reboisements d'Eucalyptus	12 à 20 m	Dense
2	Taillis de Thuya	2 à 3 m	Dense
	Matorral arborescent à base de lentisque	2 à 3 m	Dense
3	Taillis de Thuya	2 à 3 m	Clair
	Matorral arborescent à base de lentisque	-----	Clair
	Matorral arborescent à base de lentisque et d'oléastre	-----	Clair
	Matorral arborescent à base de pin d'Alep	-----	Clair
	Matorral arborescent à base d'eucalyptus	-----	Clair
4	Garrigues à genets	0.5 à 1 m	Dense
	Fruticées à lentisques	0.5 à 1 m	Dense
	Garrigues mixtes à lentisques et genets	0.5 à 1 m	Dense
5	Fruticées à lentisques	0.5 à 1m	Claire
	Garrigues à genets	0.5 à 1 m	Clair
6	Herbacées	Très basse	Densité variable mais toujours supérieure à 10%
7	Vides		Recouvrement <10%

Dans un espace forestier hétérogène, comportant plusieurs formations végétales de type forêt, matorral arborescent, matorral, herbacées et des vides, la classification non dirigée par nuées dynamiques a découpé l'espace spectral en strates spectrales se différenciant principalement par la hauteur et ordonnées par ordre décroissant de la hauteur des strates thématiques correspondantes et qui sont : forêts, matorral arboré, matorral, herbacées et les vides. A l'intérieur de chaque strate comportant deux ou plusieurs formations végétales, la classification partage la strate spectrale en classes spectrales ordonnées par ordre décroissant de la densité des classes thématiques correspondantes.

La première strate aurait due elle aussi être partagée en classes spectrales si elle avait comporté plusieurs peuplements se différenciant par leur densité.

C'est ce qui a été vérifié dans une autre étude similaire sur une zone forestière semi-aride de l'atlas saharien et dont les résultats sont résumés dans le tableau n° 2. Bien que ce procédé de classification a réussi à séparer de façon globale plusieurs types physiologiques de la végétation, le problème de l'hétérogénéité thématique des classes spectrales persiste toujours.

Ce sont les zones de transition qui généralement posent des problèmes d'interprétation.

**Tableau 2.** Relations entre strates spectrales, classes spectrales et classes thématiques.

Classe spectrale	Strate spectrale	Type de formation végétale (strate thématique)	Hauteur	Densité
1	I	Forêt	Haute	Dense
2	II	Matorral arborescent	Moins haute	Dense
3				Clair
4	III	Matorral	Basse	Dense
5				Clair
6	IV	Herbacées	Très basse	Densité variable
7	V	Vides		

En premier lieu, il s'agit des pistes forestières qui normalement devraient appartenir à la classe des vides ou le matorral clair au cas où elles sont envahies par une végétation herbacée ou arbustive. Or, lorsqu'elles traversent des peuplements denses et hauts, elles tombent dans la même classe que les futaies claires ou très claires. L'influence des pixels de l'environnement immédiat en est certainement la principale cause. Mais on peut expliquer autrement ce fait : les pistes forestières de largeur de 3 ou 4 mètres peuvent être assimilées à des couloirs séparant deux rangées d'arbres dont les cimes sont rapprochées ou éloignées les unes des autres. Dans le premier cas, elles se confondent avec le peuplement qu'elles traversent ; dans le second, elles occuperont les mêmes classes que les peuplements clairs ou très clairs.

Le fait d'admettre que la densité des arbres en est la cause serait justifiée puisque la densité moyenne des arbres le long et aux abords des pistes est réduite par rapport à celle des arbres avoisinants. La même remarque est faite pour les coupes forestières : ces dernières lorsqu'elles sont progressives font diminuer le degré de couvert et par la suite, le nombre d'arbres dans la parcelle ; le peuplement devient clair ou très clair. Généralement, la classification des pistes forestières et des coupes forestières ne poserait pas de problèmes pour le personnel forestier qui est appelé à connaître l'espace qu'il gère : les pistes ayant un caractère longiligne, il est aisé de les distinguer des autres couvertures du sol. Les coupes étant un type d'utilisation forestière, la télédétection ne peut les reconnaître comme telles quand elles ne sont pas rases.

Mais on pourrait les classer avec les peuplements clairs ou très clairs en fonction de leur physionomie au moment de la prise de vue. L'autre grand problème qu'on rencontre à l'issue des classifications non dirigées est ce passage de la carte des grands types physionomiques de la végétation à la carte des types de peuplements, le document le plus important pour l'aménagiste forestier.

L'une des solutions est de réaliser des classifications non dirigées sur les différents cantons (éventuellement les séries forestières). De cette manière, l'aménagiste forestier (supposé connaître le territoire qu'il gère), en s'appuyant sur les résultats cités auparavant, saura attribuer beaucoup plus facilement, l'espèce ou le groupe d'espèces qui composent le type physionomique.

**Tableau 3.** Correspondances entre classes spectrales et classes thématiques (Forêt Senalba - Djelfa, Atlas saharien).

Classes Spectrales	Classes thématiques	Paramètres dendrométriques				
		Age (années)	Hauteur (m)	Diètre (cm)	Degré de couvert (%)	Densité (n/ha)
1	Futaie de pin d'Alep	70 à 150	8 à 13	30 à 40	0.2 à 0.5	150
2	Futaie de Pin d'Alep	120 à 150	11 à 13	30 à 40	0.2 à 0.5	60
3	Futaie de Pin d'Alep	120 à 150	10 à 13	30 à 40	0.1 à 0.15	30
	Matorral arboré				< 0.1	
4 et 5	Matorral				< 0.1	
6 et 7	Vides				< 0.1	

Les figures n°4 et n° 5 traduisent les résultats des classifications en cartes des types physionomiques de la végétation de la zone d'étude.

Plusieurs reproches peuvent être faites aux classifications non-dirigées, et en premier lieu l'hétérogénéité thématique des classes. Néanmoins, cette étude vient de démontrer l'existence de relations étroites entre classes spectrales et les paramètres hauteur et densité des formations végétales d'un milieu semi-aride méditerranéen.

Ceci permettra en première étape de passer rapidement des classes spectrales indéterminées aux

classes physionomiques (thématiques) de la végétation telles que forêt, matorral arboré, matorral herbacées et les vides. Ces résultats vont permettre, en deuxième étape, de préciser davantage le contenu des classes physionomiques obtenues. Deux solutions peuvent être envisagées dans ce cas : la première consiste en l'exploitation des connaissances terrain de l'interprète pour affiner les résultats.

La seconde réalise une classification dirigée de l'image. Remarquons que dans les deux cas, la réalité terrain doit être disponible.



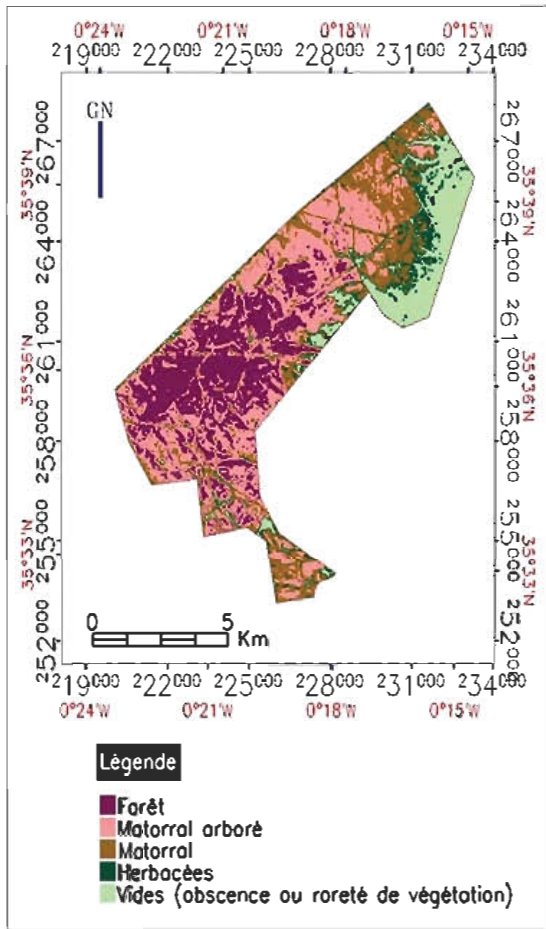


Fig. 4 Carte des grands types physiognomiques de la végétation.

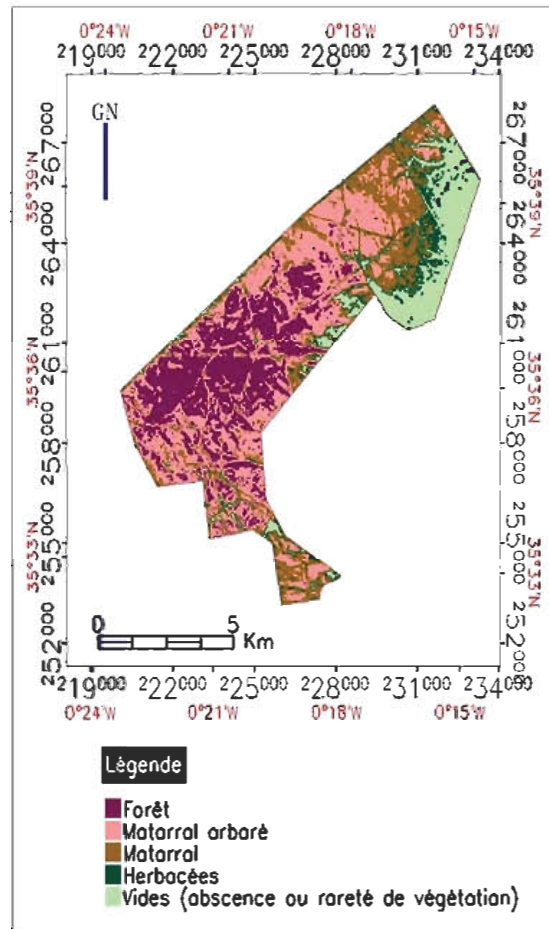


Fig. 5 Carte des types physiognomiques de la végétation, définis par l'essence dominante.

### 5. Conclusion

Les classifications non dirigées d'images satellitaires multispectrales de moyenne résolution couvrant les espaces boisés des zones semi-arides peuvent avoir un grand intérêt pour la distinction entre différents types physiognomiques de peuplements forestiers. En effet, les résultats de cette étude sont hautement révélateurs de la corrélation qui existe entre classes spectrales et la hauteur des formations végétales d'une part et leur densité d'autres part dans un milieu forestier semi-aride. Cette relation est très importante dans la mesure où elle permet de prédire une cartographie précise des peuplements forestiers sur une base physiognomique. Le volume ligneux et la biomasse qui en découle peuvent être ainsi cartographiés étant donné que ces deux paramètres sont hautement corrélés avec la densité du peuplement.

D'autre part, avec cette méthode on a l'avantage de disposer d'une couche classifiée, à mettre en correspondance avec des informations d'autres sources dans un SIG, ou bien à utiliser comme donnée de base dans la construction d'un modèle dynamique de l'environnement. Néanmoins, une classification complètement automatique paraît encore un objectif impossible à atteindre puisqu'il subsiste encore quelques contraintes, la plus importante étant l'hétérogénéité thématique des classes spectrales. Une des solutions possibles est que l'interprétation soit faite par un personnel forestier connaissant bien leur territoire d'étude et ayant un minimum de connaissances sur les techniques de la télédétection.

## Références

- Aplin.P. Atkinson.P.M and Curran.P.J1999. Fine spatial resolution simulated satellite sensor imagery for land cover mapping in the United Kingdom. *Remote sensing of environment*, 68, pp.206-216.
- Andersen.G.L., 1998. Classification and estimation of forest and vegetation variables in optical high resolution satellites: A review of methodologies. Interim report IR-98-085/october 1998. Ed. IIASA- Laxenburg-Austria. 20p.
- Bencherif.k., 2002, Etude diachronique par télédétection satellitaire des forêts des monts de Ouled Naïl - Djelfa- Algérie. Thèse de Magistère en sciences forestières. Dép. de foresterie. Université de Tlemcen, Algérie. 119p.
- Chartier.M., et Servain.S., 2000. Apports de la télédétection satellitaire à l'étude de l'environnement de sites archéologiques en milieu tempéré. le cas de la vallée de l'Aisne. *cybergeo* N°. 176. avril 2000. www.cybergeo.fr. 7p.
- Claudin.J et Lignon.G.1995. Essai de définition et de caractérisation d'unités spatiales fonctionnelles pour la gestion d'un espace parc : cas du parc national du Mercantour in "la cartographie pour la gestion des espaces naturels, actes des rencontres internationales, Saint-Etienne, du 13 au 17 Novembre 1995. Ed. Cemagref-DISCOVA, ATEN, CRENAM, pp.315-319
- CHIRICI ET AL.2001 Testing Ikonos and Landsat 7 ETM+ images for stand-level forest type mapping: a case study under Mediterranean conditions In proceedings " Collecting and analyzing information for sustainable forest management and biodiversity monitoring with special reference to medioterranean ecosystems", Palermo, Sicily (Italy) 4-7 December 2001.19 pages.
- Cihlar.X , Chen.J, Fung.B and Latifovic.1998 Classification by progressive generalization: a new automated methodology for remote sensing multichannel data. *int. j. remote sensing*, 1998, vol. 19, no. 14, 2685-2704.
- Durrieu.S.1994. Utilisation de la télédétection satellitaire pour la mise à jour de la carte de types de peuplements de l'inventaire forestier national. Application à une région forestière diversifiée de moyenne montagne. Thèse de doctorat-CEMAGREF-INGREF.Montpellier, France. 201.p
- Estiva.S et Puech.C. 1998: Régénération forestière après incendies. Travaux pratiques. Espaces et environnement méditerranéen. Université d'été international. Tunis du 12 au 25 Juillet 1998. Ed. CNES - France et ministère de l'éducation de Tunisie.22 p.
- GRIM.S, 1989. Le préaménagement forestier. Volume 1.Ed.CEE et ministère d l'hydraulique d'Algérie. 369 p.
- Groeve.T (de), Lowell.K et Thierry.B.1998., La super réalité de terrain : une nouvelle approche pour étudier l'incertitude spatiale sur des cartes forestières. In la réalité de terrain en télédétection: pratiques et méthodes. Ed. AUPELF-UREF.pp. 233-240.
- Hillion.A. Boucher.J.M et Roux.C., 1989, Le traitement des images de télédétection : aperçus et perspectives. Télédétection en francophonie. Éd. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris 0 1989. pp. 97-110
- Horler, D.N.H. & Ahern, F.J. 1986. Forestry information content of Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing* 7, 405-428.
- IFREMER PMSE.2002. Projet "Littoral de Provence occidentale". Apport des données du satellite SPOT-5 aux études environnementales de la zone du Delta du Rhône et de l'étang de Bere. Ed.PMSE (pôle méditerranéen des sciences de l'environnement).Aix en Provence. 37 p.
- Kleinn.C.2002 Nouvelles technologies et méthodologies pour les inventaires forestiers nationaux Unasyva - No. 210 - Evaluation et surveillance des forêts Vol. 53 2002/3 FAO - www.fao.com
- Lecompte.H et Rondeux.J., 2002. Les inventaires forestiers nationaux en Europe : Tentative de synthèse. Cahier n°5. Collection, les cahiers forestiers de Gembloux.. Ed. faculté de Gembloux . 29p
- KAYITAKIRE.F, FARCY.C and DEFOURNY.P, 2002. IKONOS-2 imagery potential for forest stands mapping. Presented at ForestSAT Symposium Heriot Watt University, Edinburgh, August 5th-9th , 2002.11p.
- LECKIE.D.J, WALSWORTH.N, DECHKA.J ET WULDER.M.2002. An Investigation of Two Date Unsupervised Classification in the Context of a National Program for Landsat Based Forest Change Lapping. Remote Sensing Symposium. Toronto, Juin du 24-28 Geoscience and Remote Sensing Society's International Geoscience (IGARSS). 15p.

- Louy.O., Borne.F. et Marceau.D. J. (2000). "Etude de la variabilité spatiale de couverts forestiers en fonction de l'échelle d'observation". *Géomatique Expert*, n° 9, pp. 20-30.
- Maire.A 1989. Analyse et classification de la végétation, document technique n°15. *Bulletin de l'entomofaune*. NUMÉRO 5 JUIN 1989; pp3-
- Malingreau.J.M. 1993 Le point sur la surveillance par satellite des forêts mondiales. *Unasylva* n°174 Ed. FAO Revue internationale des forêts et des industries forestières - Vol. 44 - 1993/3. [www.fao.com](http://www.fao.com)
- Olmann.J.L and Gregory.M.J., 2002. Predictive mapping of forests composition and structure with direct gradient analysis and nearest-neighbor imputation in coastal Oregon,USA. *Canadian Journal for natural resources*.Vol 32, pp725-741.
- Pain-OrceT.M, Lo.Seen.D, Fauvet.N, Trebuchon.J-F et Dipapoundji.B 1998. Les cartes, la télédétection et les SIG, des outils pour la gestion et l'aménagement des forêts tropicales d'Afrique Centrale . rapport.CIRAD-Forêt.31p
- PNUE/PAM/PAP.2000 : Directives pour la gestion de programmes de contrôle d'érosion et de désertification plus particulièrement destinées aux zones côtières méditerranéennes. Split, Croatie. Programme d'actions prioritaires, 2000.116 pages.
- Riaño.D, Chuvieco.E, Salas.J, and Aguado.I, 2003 Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping-Vegetation Types. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 41, n°. 5, May 2003, pp1056-1060.
- Shoshany M, 2000. Satellite remote sensing of natural Mediterranean vegetation: a review within an ecological context. *Progress in Physical Geography*, June 2000, vol. 24, no. 2.).Ed. Hodder Arnold Journals, pp. 153-178.
- Smith.G.M and Fuller.R.M.2001. An integrated approach to land cover classification: An exemple in the island of Jersey. *International Journal Of Remote Sensing*, 22, pp3123-3142.
- Steven. M. (de Jong), Hornstra.T and Maas.H.G., 2001. An integrated spatial and spectral approach to the classification of Mediterranean land cover types:the SSC method. *JAG • Volume 3 - Issue 2 - 2001*, pp176-183.
- Totté.M 1998 : La géomatique : intérêt et conditions d'appropriation pour les projets de développement. Un outil d'aide à la capitalisation et au suivi-évaluation des microréalisations. Exemples au Yatenga (Burkina Faso). Point de vue. *Cahiers Sécheresse, volume 9, Numéro 4, pages 299-307*.
- Wallerman, J. 2003. Remote Sensing Aided Spatial Prediction of Forest Stem Volume. Doctoral dissertation. ISSN 1401-6230. ISBN. Swedish University of Agricultural Sciences . Umeå 2003 .. Printed by: SLU Grafiska Enheten, Umeå, Sweden, 2003. 91-576-6505-2 . 42p
- Yanqiu.X.X, Lihai.W, Westinga.E.,2004. Assessment of degraded matorralland using remote sensing imagery in Guadalteba Area, Spain *Journal of Forestry Research*.2004,15(2):145-149 [www.jfr.nefu.edu.cn/ylist.asp?id=92](http://www.jfr.nefu.edu.cn/ylist.asp?id=92).
- Zhenga.D, Rademacherb.J, Chena.J, Crowc.T, Breseca.M, Moined.J(le) and Ryu.S.R.2004. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment* 93 (2004), 402– 411.

# La Contribution d'un SIG et l'Imagerie Spatiale dans la Présélection des Sites Adéquats pour le Stockage des Déchets Solides Urbains, Cas du Bassin de Oued El Maleh

N. BENTEKHICI

Centre National des Techniques Spatiales

BP 13- Arzew, Algérie

Email: nadjla\_b@yahoo.fr

**Résumé:** L'étude effectuée au niveau de la décharge actuelle d'Ain Témouchent a montré qu'elle est en état de difficultés pour faire face à la problématique de la gestion intégrée des déchets solides urbains, et ce du fait qu'elle génère beaucoup de problèmes :

- La pollution olfactive (flux d'émanation des odeurs).
- Absence des normes de sécurité et d'hygiène .
- Les chemins d'accès extérieurs et intérieurs sont très difficiles.
- Présence de la décharge dans le périmètre de culture annuelle .
- Le risque majeur de contamination des ressources hydriques superficielles et souterraines.
- La morphologie est inadaptée pour l'implantation d'une décharge.
- La décharge est non contrôlée et constitue un gîte de moustiques et oiseaux.
- La présence de la décharge à proximité d'un écosystème fragile.

Devant cet état, il est devenu impératif de réfléchir sur un mode de gestion des déchets qui pourrait satisfaire aux communes concernées, dont l'idée d'une décharge contrôlée intercommunale.

Le site recherché devrait avoir le moins impact en terme de protection de l'environnement, de la santé publique et des coûts à engager.

De ce fait les conditions fondamentales qui suivent ont été prises en compte dans le cadre de cette présélection, ces conditions sont les suivants :

- Minimalisation des coûts associés aux transports (transport par rapport au centre de production).
- Protection du milieu naturel (éviter les écosystèmes fragiles).
- Imperméabilité des sites.
- Conditions géomorphologiques acceptables.
- Stabilité géologique du site.

Dans le cadre de cette étude, une démarche intégrée de traitement numérique des données géographiques a été appliquée en vue d'une sélection des sites appropriés pour le stockage des déchets ménagers dans le bassin de oued El Maleh.

**Key word:** development durable, environnement, bassin versant, télédétection, SIG, décharges.

---

## 1. Introduction et problématique

L'Algérie est confrontée à des problèmes environnementaux parmi lesquels on peut citer comme exemple la dégradation des ressources naturelles, les pollutions engendrées par les sites contaminés et la gestion des déchets solides urbains. Leur mise en œuvre se heurte à plusieurs contraintes qui sont essentiellement d'ordre institutionnel, financiers, techniques, socio-économiques ainsi qu'un manque d'informations appropriées et des données actualisées.

Les pratiques appliquées actuellement en matière de gestion de l'environnement ne sont pas en conformité avec le concept de développement durable, qui vise à améliorer la vie des citoyens grâce au développement socio-économique et à la protection de l'environnement.

Ces pratiques ont des impacts néfastes, à court et à long terme, sur l'état sanitaire des populations, les sols, l'air et les ressources hydrauliques.

Il est primordial de souligner que le domaine de la gestion de l'environnement en tant que composante du système de gestion de l'aménagement du territoire, représente un défi majeur pour les prochaines années et un facteur prometteur pour la protection de l'environnement; il devrait en effet être intégré à tous les secteurs d'activités susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement.

Dans ce cadre, nous avons élaboré une étude sur l'apport d'un SIG pour la gestion des risques environnementaux ainsi que la gestion des déchets et plus précisément à la sélection des sites adéquats pour le stockage des déchets.

La production et l'élimination des déchets exercent une grande pression sur l'environnement, ainsi que presque tous les déchets sont déposés dans des décharges sauvages, ne répondant à aucune norme environnementale ou dans des décharges aménagées et autorisées officiellement mais non contrôlées.

Cette élimination sauvage des déchets solides entraîne à une pollution intolérable dans la région d'intérêt, ses effets nuisibles ont attiré l'attention de tous les acteurs, à reconsidérer la question de la gestion des déchets et celle liée à leur mise en décharge comme une préoccupation majeure.

## 2. Objectif du travail

Ce travail a pour objectif de concevoir une analyse des informations nécessaires pour la sélection des sites adéquats pour le stockage des déchets ménagers.

Il contribuera ainsi à la protection de l'environnement, à la santé publique et à la diminution des obligations imposées aux générations futures, tout en limitant la prolifération des décharges sauvages.

Il consiste à :

\* Réaliser une base de données cartographiques, c'est-à-dire d'analyser et d'évaluer d'une manière explicite les paramètres naturels et anthropiques (topographiques, géologiques, réseaux hydrographiques, infrastructures). Nous avons tenu compte des aspects environnementaux (adéquation de la couverture du sol, protection de la nature et du paysage, conservation de la forêt, protection des eaux, conservation des sols, proximité des fournisseurs de déchets), des aspects sociaux (sensibilité de la population, exposition visuelle) sans oublier d'autres facteurs économiques.

## 3. Choix du bassin versant de Oued El Maleh

Dans le but d'appliquer cette approche, nous avons choisi le bassin de Oued El Maleh, plusieurs points nous ont amené à choisir cette région et qui sont les suivants :

- 1) C'est une région touristique par son climat tempéré et son site balnéaire.
- 2) Zone à risque sismique.

- 3) Région à risque de crue.
- 4) Région industrielle et agricole.
- 5) Région à forte densité de population.

Le bassin versant étudié se situe dans le Nord-Ouest Algérien (figure 1), soit approximativement entre (1° 9 '24'' et 1°26'17'' W) de longitude et entre (35°17'22'' et 35°16'37'' N) de latitude.

Il est délimité par la mer méditerranéenne au Nord, les Montagnes de l'Atlas tellien (Monts des Berkeches) au sud, les montagnes de l'Atlas tellien (Monts de Sbaa el Cliokh) au Sud ouest, Monts de Tessala au Sud Est, la plaine de Mlata à l'Est et le bassin de ouled el kihel à l'Ouest.

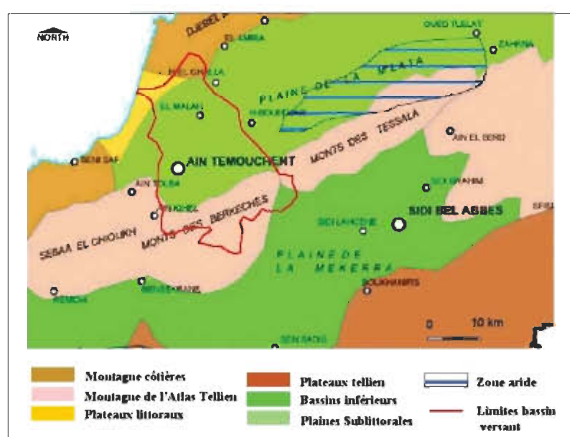


Fig. 1 Situation géographique du bassin d'oued el Maleh

Sur le plan administratif, le bassin d'Oued El Maleh s'étend principalement sur la région d'Ain Témouchent ; Il regroupe donc la moitié de la wilaya d'Ain Témouchent soit 14 communes sur 28.

## 4. Méthodologie

La démarche appliquée dans le cadre de cette étude, nécessite un assemblage des données géographiques relatives à plusieurs disciplines comme, la topographie, l'hydrologie, la télédétection, et la démographie. Dans chacune de celle-ci, nous avons utilisé des techniques variées de spatialisation.

Ces techniques ont permis l'élaboration des documents spatiaux (le modèle numérique de terrain et ses dérivés, l'occupation du sol, le réseau hydrographique, la carte de la perméabilité, les limites administratives et la carte de population).

Ces plans d'informations ont été par la suite combinés par des méthodes d'analyse multicritère pour produire une information synthétique sur les sites les plus appropriés au stockage de déchets.

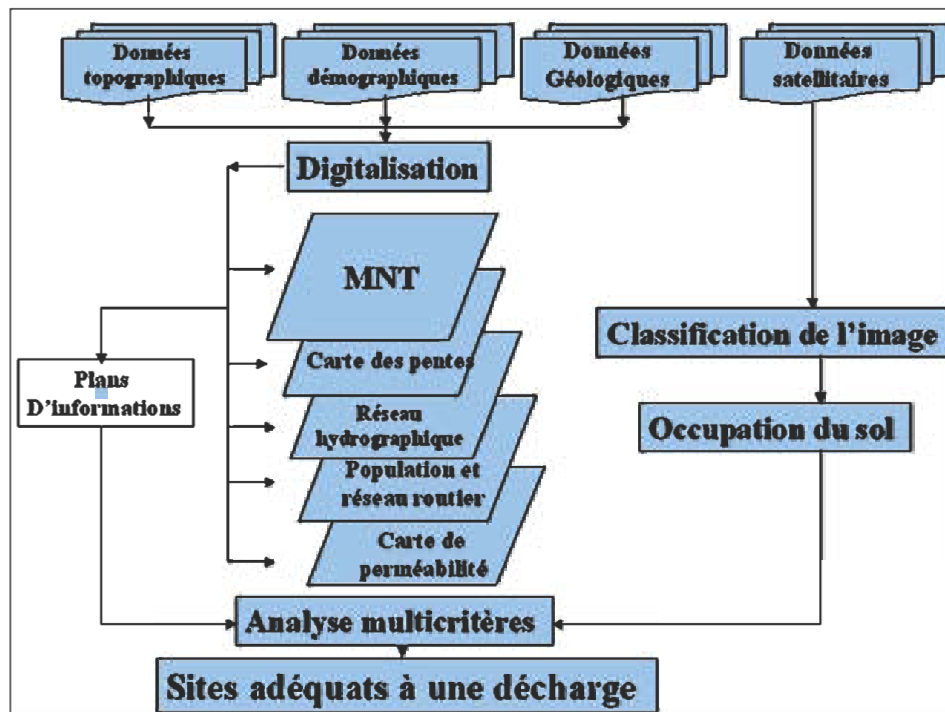


Fig. 2 Organigramme du plan de travail.

#### 4.1 Génération des plans d'informations

La génération des plans d'informations au cours de cette étude prend une grande importance, elle aboutira à une analyse multicritère, dont l'intérêt nous amène à une gestion efficace de l'environnement intégrant le concept du développement durable.

Ces plans d'information consistent à :

##### 4.1.1 La topographie

Le modèle numérique du terrain (MNT) est une représentation numérique en terme d'altitude, il permet de fournir des informations sur la surface topographique d'où son intérêt particulier est d'effectuer un modèle de terrain.

Le relief est l'un des premiers critères conditionnant l'emplacement d'une décharge.

##### 4.1.2 Le réseau hydrographique

La classification des cours d'eau à partir de l'image pose des difficultés, pour cela nous avons été amené à numériser le chevelu hydrographique à partir d'une carte topographique (1/25.000) qui nous servira d'ailleurs à son actualisation par l'imagerie spatiale. L'étude du réseau hydrographique est indispensable dans la présélection d'une décharge, et ce dans l'intérêt de protéger les eaux superficielles et les retenues collinaires contre la contamination.

##### 4.1.3 Occupation du sol

La carte thématique de l'occupation du sol est un paramètre déterminant de l'utilisation et de la gestion du territoire. Elle est susceptible d'éclairer toute prise de décision d'aménagement sur le territoire et d'élaborer les grandes orientations en matière de développement régional. Elle conditionne donc grandement l'emplacement optimal des sites des décharges.

Vu la superficie du bassin, nous avons choisi une méthode cartographique basée sur le traitement des images satellitaires pour produire une carte d'occupation du sol.

La démarche méthodologique adoptée comporte les étapes suivantes :

- Une étape de classification automatique de l'image satellitaire (Landsat ETM+ prise le 19-mai-2002, d'une résolution de 30m) par la méthode non supervisée sous le logiciel ENVI ;
- Une étape d'interprétation de l'image classifiée et identifier les différents objets ayant un rapport avec la problématique posée ;
- La superposition de l'image classifiée avec la carte d'occupation du sol ancienne ;
- Une étape de validation de la carte d'occupation du sol suivant l'analyse et l'appréciation de l'homogénéité des objets ;

#### 4.1.4 La carte géologique

L'étude géologique est un autre plan d'information nécessaire dans cette étude.

La démarche méthodologique adoptée pour élaborer un document de base qui servira comme outil d'aide à l'affectation adéquate des sols aux différents usagers.

Les formations géologiques influent sur l'écoulement superficiel. Le sol d'une décharge doit être suffisamment épais, ne présentant aucune fissure afin d'éviter toute pollution des eaux souterraines.

Suite au manque des données géologiques de la région d'intérêt, nous avons utilisé la carte géologique à 1/100.000 (G. Thomas 1985), le seul document existant.

#### 4.1.5 Facteurs démographiques

Le critère démographique est très utile dans la présente étude, il est utilisé comme outil d'aide à la décision dans la gestion de l'environnement et la sélection des sites appropriés pour le stockage des déchets solides urbains.

En effet, ce paramètre permet d'assurer d'une part la conformité hygiénique vis-à-vis des populations avoisinantes, en respectant et en protégeant aussi bien leur santé que leurs biens et d'autre part pour identifier les lieux de production des déchets.

Dans cette optique, nous avons élaboré une carte de distribution spatiale de la population avec une base de données sur les unités administratives, les centres urbains avec leurs bases de données de population selon le recensement de 1998, ainsi que les déchets réellement rejetés.

Et enfin une étape de distribution permettant d'utiliser le découpage administratif pour élaborer une carte de densité de la population.

### 5. Application de cette méthode au bassin versant d'Oued El Maleh

Cette démarche a été appliquée, d'une façon particulière, au bassin versant de Oued El Maleh pour déterminer des sites appropriés pour le stockage des déchets.

Il est nécessaire de rechercher des sites adéquats pour l'entreposage des déchets, conforme à la protection de l'environnement et à la santé publique.

### 6. Résultat et discussion

#### 6.1. Réalisation des plans d'informations

##### 6.1.1 La carte des pentes

Le MNT créé par la méthodologie décrite au 5-1-1, est représentée en figure n° 3.

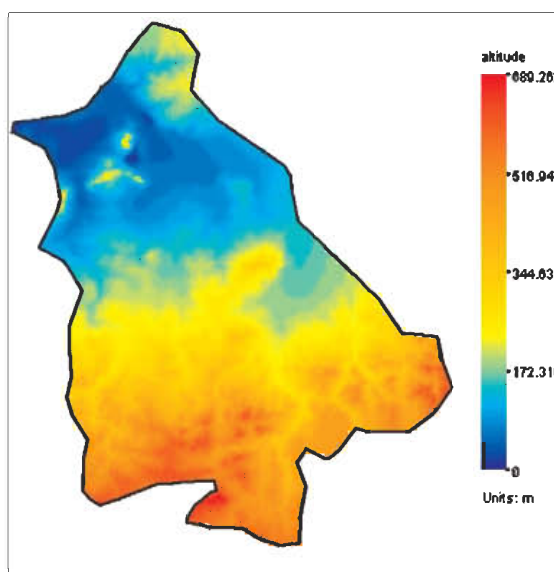


Fig. 3 MNT du bassin d'oued el Maleh .

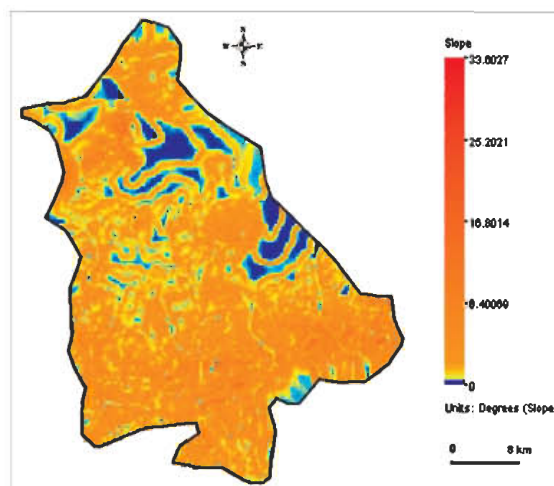


Fig. 4 Carte des pentes du bassin versant de Oued El Maleh.

Afin d'alourdir l'écoulement de lixiviat durant la saison pluvieuse et de faciliter le déchargement des ordures dans un dépotoir, la pente du terrain doit être de 3° au maximum.

##### 6.1.2 Occupation du sol

La carte d'occupation du sol est un outil indispensable pour l'aménagement du territoire, pour une utilisation optimale, cette carte devrait être présentée sous forme numérique.

L'utilisation de la méthode classification non supervisée s'agit d'un découpage entièrement mathématique de l'espace radiométrique en classes sans signification en terme d'occupation.

La carte finale consiste à identifier avec précision chaque type d'occupation, nous avons retiré 6 classes différentes de couverture du sol.

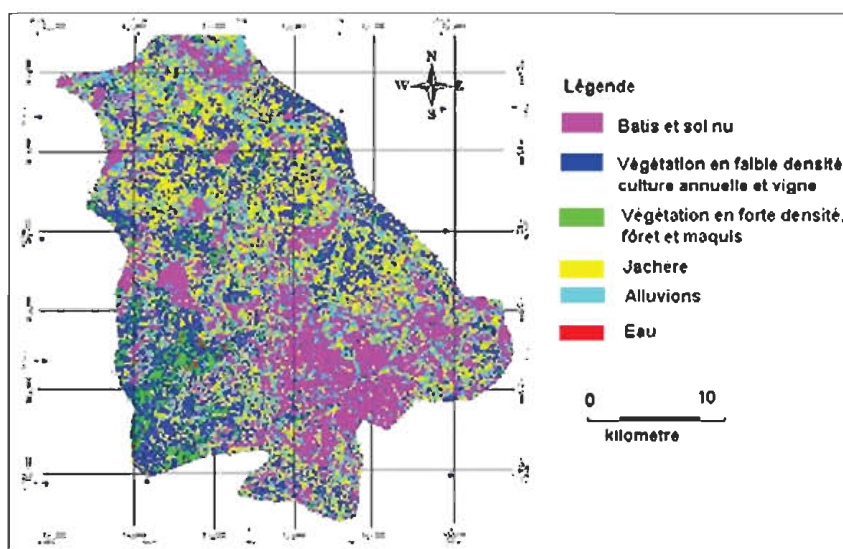
Les résultats statistiques obtenus de cette photo-interprétation sur l'ensemble de la zone étudiée sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 1.** Estimation de la superficie des différentes occupations du sol.

N° de classe	Occupation	Superficie ha	%
1	Végétation en forte densité , forêt et maquis	874,8	1.2
2	Alluvion	1275.75	1.75
3	Végétation en faible densité, culture annuelle et vigne	7348.32	10.08
4	Bâtis et Sol nu	9323.9	12.87
5	Jachère	5613.3	7.96
6	Eau et surface non classifiée	8099.19	11.11
Total		72900	100

- 1.2% de la superficie de la zone cartographiée sont partagées entre les catégories « Végétation naturelle à forte densité , forêt et maquis ». Ce constat témoigne de l'aridité, du surpâturage et de la dégradation forestière dont souffre le bassin de oued El maleh. Ce phénomène est lié directement à l'activité humaine et aux conditions climatiques.
- 10.08% de la surface sont réparties entre « Végétation naturelle à faible densité, culture annuelle et la vigne ». ceci exprime que cette zone se caractérise par une vocation céréalicultrice.

- 12.87% de la surface cartographiée sont réparties entre les surfaces bâties et sol nu, dont le sol nu présente la majorité de la superficie. Ce constat témoigne de la dégradation forestière et l'érosion, notamment dans les monts de Berkeches.
- 7.96% de la superficie totale du bassin présente les jachères.
- 11.11% de la superficie présente des surfaces non classifiées du bassin (hors l'image) dont 0.09 % couvre les eaux superficielles.



**Fig. 5** Carte d'occupation du sol de bassin du Oued el Maleh.



### 6.1.3 Le réseau hydrographique

Afin de protéger les surfaces aquatiques tel-que les rivières, les lacs et tout qui constitue un réseau hydrographique contre les l xivants produits par les déchets, il est nécessaire que la décharge soit éloignée d'un réseau hydrographique au minimum de 500 m, selon les normes de la protection de l'environnement.

La valeur de la densité de drainage est faible soit 1,59 km/km<sup>2</sup> (voir tableau n 2), cette densité augmente avec l'imperméabilité du sol et l'accusation du relief. Cette valeur faible traduit que l'ensemble du bassin versant ont une formation géologique perméable. Ceci favorise la contamination des nappes par les l xivants.

Dans ce cas, la sélection des sites appropriés pour le stockage devient difficile.

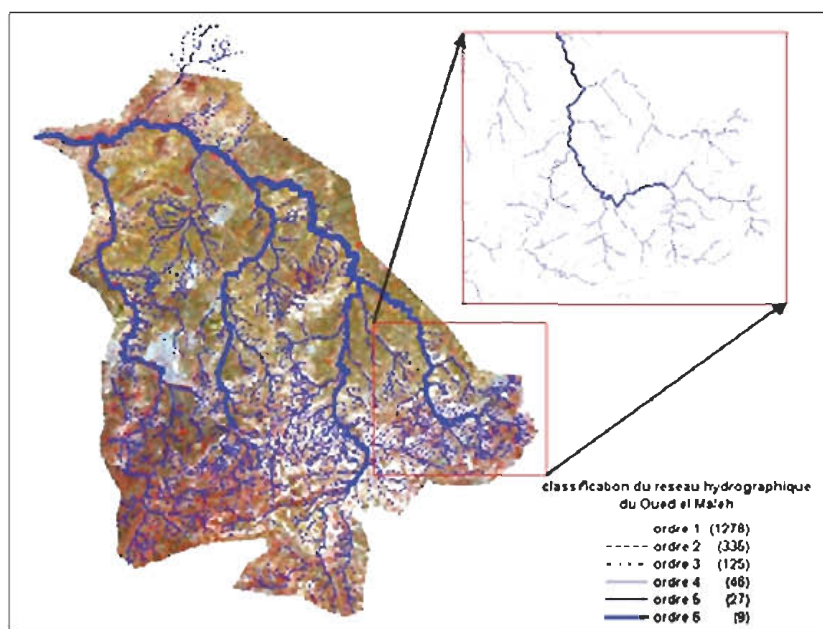


Fig. 6 Carte du réseau hydrographique classifié.

Tableau 2. Extraction automatique, à partir du langage SQL, de la densité de drainage.

densit�_drainage Données				
	Nom_bv	Long_km	S_km2	Dd
<input type="checkbox"/>	O.El Maleh	1 162	729	1,590000000

### 6.1.4 Le facteur démographique

La démarche suivie dans le cadre de ce travail nous a permis l'élaboration d'une carte de la distribution spatiale de la population selon les zones urbaines, ainsi qu'une carte de la densité de la population selon les limites administratives. L'analyse des données démographiques traduit les informations suivantes :

- Les principales concentrations de population sont situées dans les zones où les secteurs agricoles, industriels sont développés. Ainsi   elle seule, la ville d'Ain Témouchent avec ses quelque 5,4 km<sup>2</sup> de surface rassemble environ 57931 habitant. Il en résulte une densité moyenne de l'ordre de 10727 ha/km<sup>2</sup>, la plus élevée des municipalités dans le bassin de Oued El Maleh .

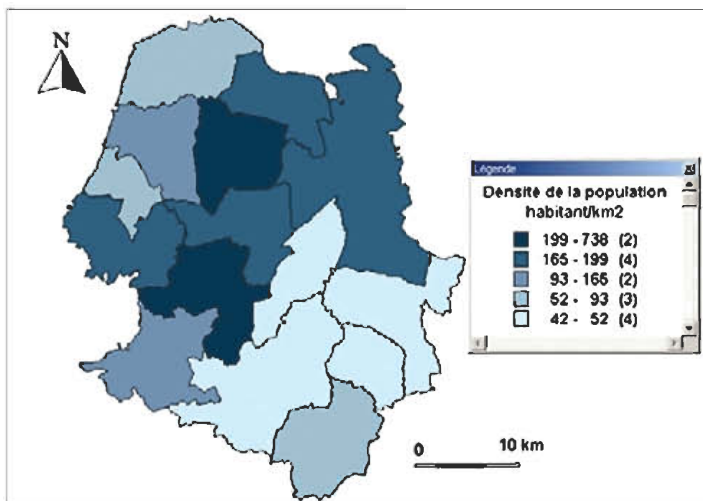


Fig. 7 Carte de la densité de la population dans le bassin de Oued El Maleh.

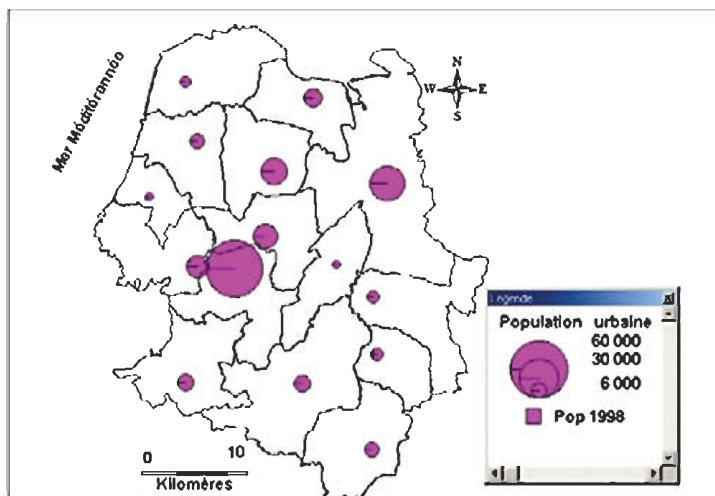


Fig. 8 Carte de la population des agglomérations principales urbaines dans le bassin D'oued El Maleh.

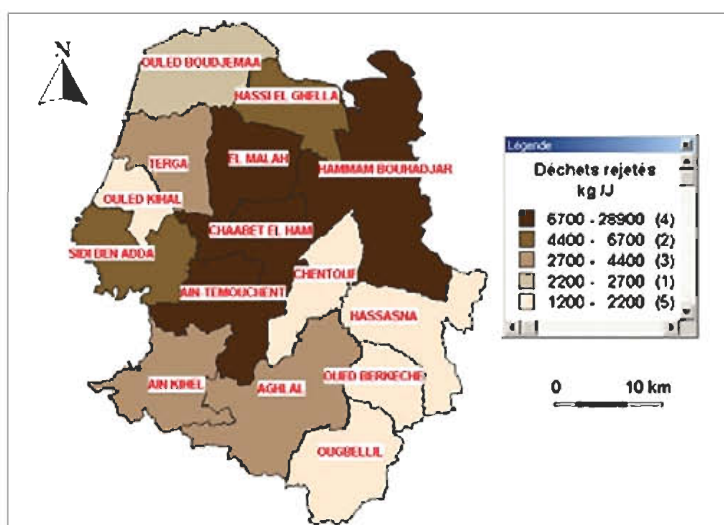


Fig. 9 Volume des déchets évacués chaque jour.

Certes, d'autres régions aux alentours de la route nationale n°2 qui relie Oran à Tlemcen, apparaissent relativement densément peuplées, mais le contraste est très marqué entre les noyaux et axes de forte densité et les grandes zones vides ou quasi-vides. Celles-ci se situent surtout sur les zones montagneuses et les surfaces de faibles ressources hydrauliques voir figure n° 7.

- La décharge d'Ain Témouchent reçoit les déchets solides rejetés par les populations de la commune d'Ain Témouchent, Sidi Ben Adda, Chaabet el ham et Ouled El Kihel, qui soit 83795 habitants. L'autre tranche de la population des communes d'Ain Kihel, Aghllal, Oued Berkeche et Hassasna évacuent leurs déchets en décharges sauvages, citant ainsi que les déchets rejetés par les habitants des villes Hammam Bouhadjar et Hassi El Ghella sont évacués à la décharge publique située au niveau de la sebkha d'Oran, il est à noter aussi que les déchets de la ville d'El Maleh, Terga et Ouled Boudjemaâ sont évacués au niveau d'une décharge publique d'El Maleh.

Ces cartes (Fig n° 7 et 8) pourraient être utilisées comme plan d'information pour l'élaboration des programmes d'alimentation en eau, et d'autres plans de gestion interne dans le bassin de Oued El Maleh. Dans le cadre de ce travail, les critères démographiques sont utilisés comme aide à la décision pour la recherche d'un emplacement optimal des sites de décharges ainsi qui identifie le taux des déchets évacués dans les décharges en question.

### 6.1.5 Etude géologique

La carte géologique peut être utilisée comme support pour la connaissance approfondie du sol du bassin d'Oued El Maleh.

L'analyse de ce document traduit que le bassin d'étude se caractérise par des sols à formation géologique perméable à semi-perméable.

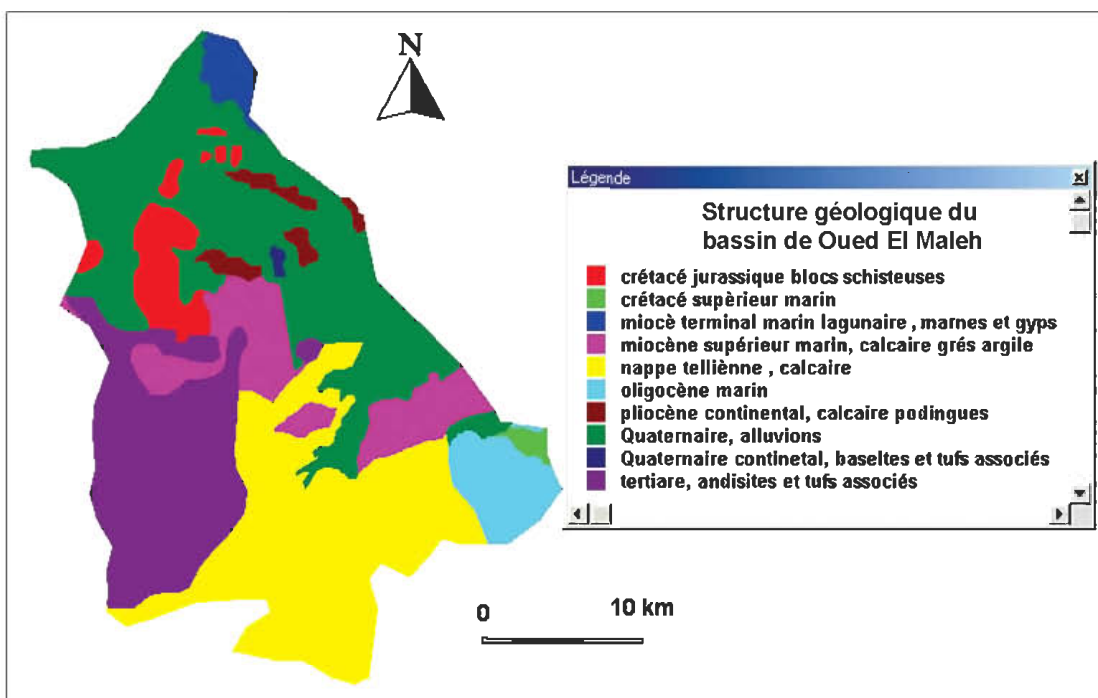


Fig. 10 Carte géologique du bassin de Oued El Malh.

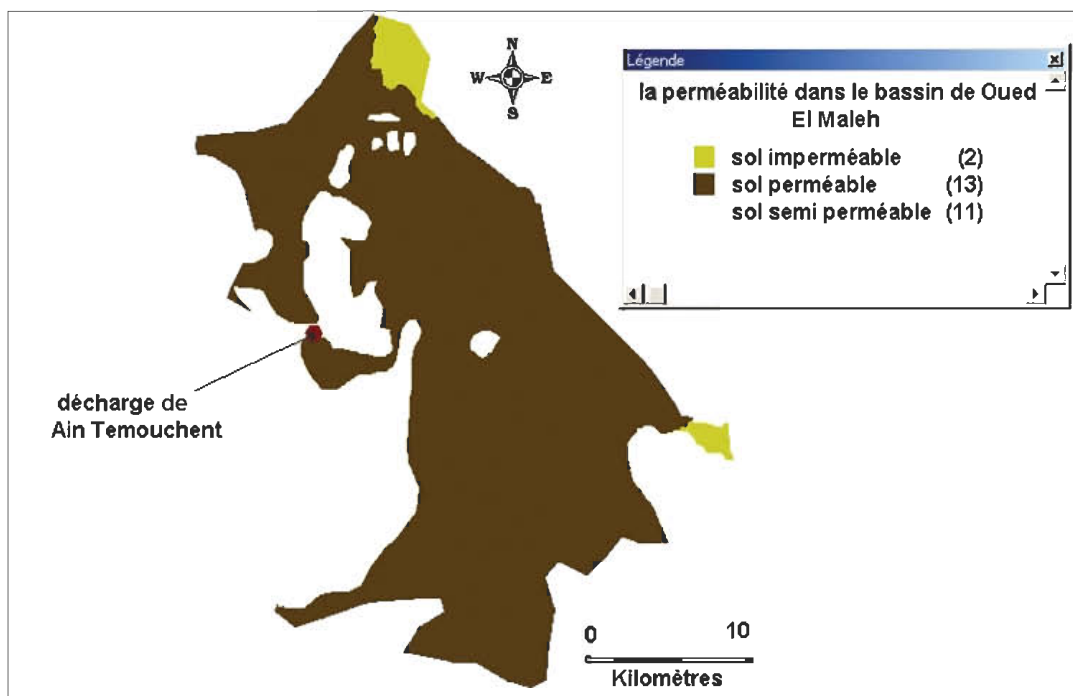


Fig. 11 Carte de la perméabilité du sol dans le bassin de Oued El Maleh.

### 6.1.6 Distance du réseau routier et des zones urbanisables

L'application des normes pour l'exploitation d'une décharge exige qu'elle soit proche d'une route principale de distance de 2 km (Voir tableau n° 02).

Tableau 2. Les normes utilisées pour implantation d'une décharge.

N°	Distance	Situation
1	< 2 Km	Situation la plus favorable
2	De 2 à 3 Km	Situation favorable
3	De 3 à 4 Km	Situation moyenne
4	De 4 à 5 Km	Situation moins favorable
5	> 5Km	Situation la plus moins favorable

### 6.2 Analyse multicritère

La présentation de toutes les données conceptuelles et thématiques, dont leurs aspects touchant directement et indirectement la présente étude, favorise un constat considérable dans la classification et le dégagement des sites adéquats pour le stockage des déchets.

Les éléments du milieu ont été classifiés en vu de dégager les valeurs essentielles et les enjeux inhérents à la mise en place d'une décharge.

La démarche consiste à identifier un bien à protéger et tracer un noyau autour de ces biens afin de choisir des sites adéquats, et ce pour éviter la pollution des biens à préserver.

#### Critères socio-économiques

- Agglomérations (Distance de 500 m)
- Route (Distance de 300m)
- Site d'intérêt historique (Distance de 500 m)
- Site d'intérêt touristique (Distance de 1000m)

#### Critères géologiques

- Zone de faille (Distance de 300m)
- Zone de perméabilité.

#### Critères en relation avec l'eau

- Captage pour eau potable (Distance de 2000m)
- Puits (Distance de 300m)
- Zones d'inondations ou de marais (Distance de 300m)
- Oueds principaux et leurs effluents en ordre n° 1 (Distance de 300m)
- Sources (Distance de 500 m)
- Conduites d'eau (Distance 300 m)
- Retenues et barrages.

#### Critères en relation avec l'agriculture

- Périmètre irrigué.
- Zone de culture annuelle.

#### Critères en relation avec la forêt et les réserves naturelles

- Réserves forestières.
- Parcs naturels (Distance de 1000 m)

### 6.3 Détermination des sites choisis

La superposition des différentes couches facteurs de décision, tout en excluant les noyaux à protéger, a permis de sélectionner des surfaces libres adéquates pour le stockage des ordures ménagères.

Il s'agit des surfaces libres qui ne présentent pas, sur la base des analyses multicritères, des contraintes à l'implantation d'une décharge.

Suite à un manque du plan cadastral de la région d'étude, nous n'avons pas pris en compte le statut foncier des surfaces libres.

Nous avons retenu deux secteurs appropriés pour le stockage qui sont les suivants :

1. Surface dont les coordonnées sont (X= 673900m, Y= 3926700m) UTM 30N, appropriée pour une décharge intercommunale (milieu de production: El Maleh, Hassi el Ghella, Terga, Ouled Boudjema).

2. Surface dont les coordonnées sont (X= 666300 m, Y= 3911400 m) UTM 30N, appropriée pour une décharge intercommunale (milieu de production : Ain Témouchent, Chaabet el ham, Sidi Ben adda, Ouled El kihel).

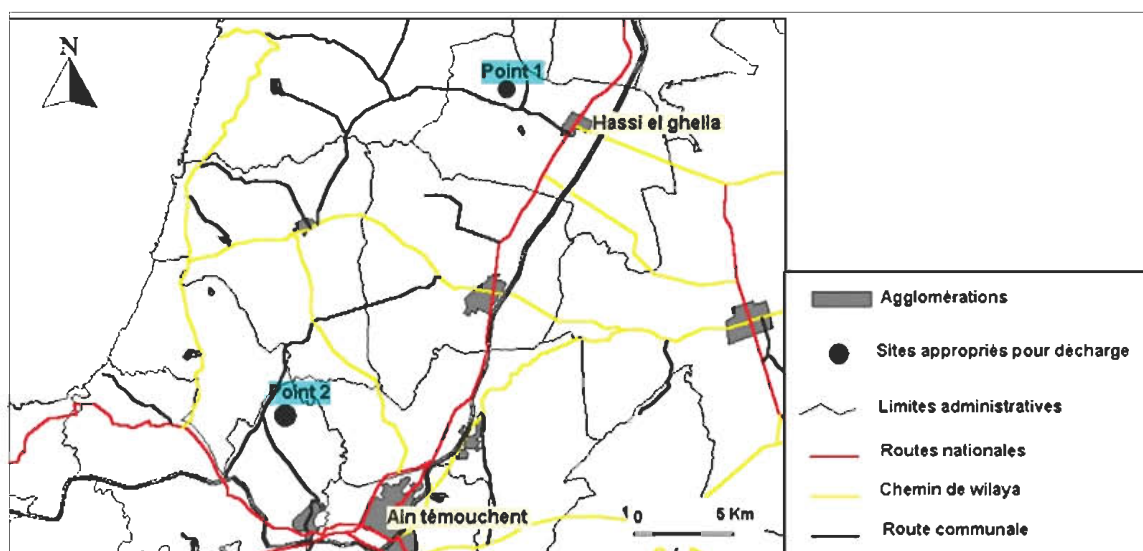


Fig. 12 Carte de localisation des sites choisis au stockage des déchets solides urbains.

Sur la base des plans d'informations cités ultérieurement, nous avons pu identifier deux sites potentiels et sélectionner parmi les quelques sites dégagés.

Les résultats de cette analyse multicritères sont reportés en figures n° 13 et 14.

Cette démarche a pour objectif de planifier sur l'ensemble du territoire de la région, et en fonction des besoins dans le cadre du découpage administratif, de l'économie et de la protection de la nature, les meilleurs sites pour l'élimination correcte des déchets.

Ceci permettra d'éviter la prolifération des décharges sauvages et de répartir adéquatement les décharges sur l'ensemble du territoire.

Nous sommes conscients que l'aspect sociologique doit être intégré dans ce processus de décision pour limiter au maximum le risque du blocage ou de refus de cette proposition.

Cet aspect n'a pas fait l'objet de cette étude préliminaire. Cependant, une étude « scientifique », basée sur des critères pertinents, constitue la base incontournable à la prise d'une bonne décision.

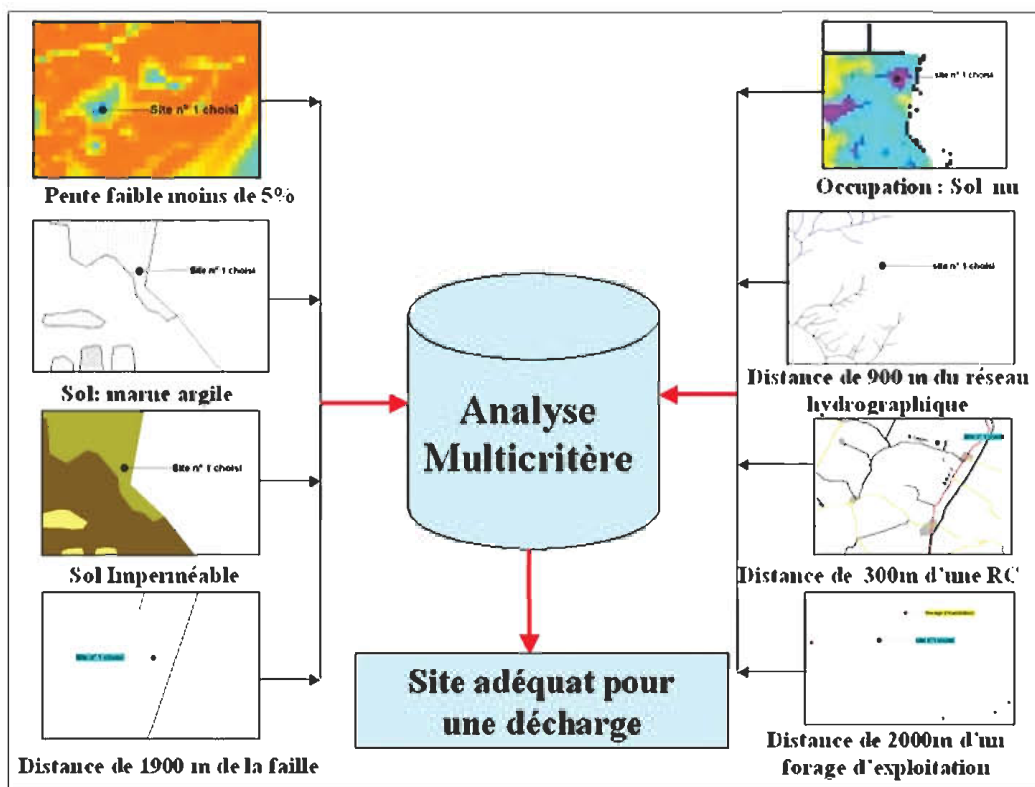


Fig. 13 Schéma d'appréciation du site n°1 évalué pour le stockage des déchets.

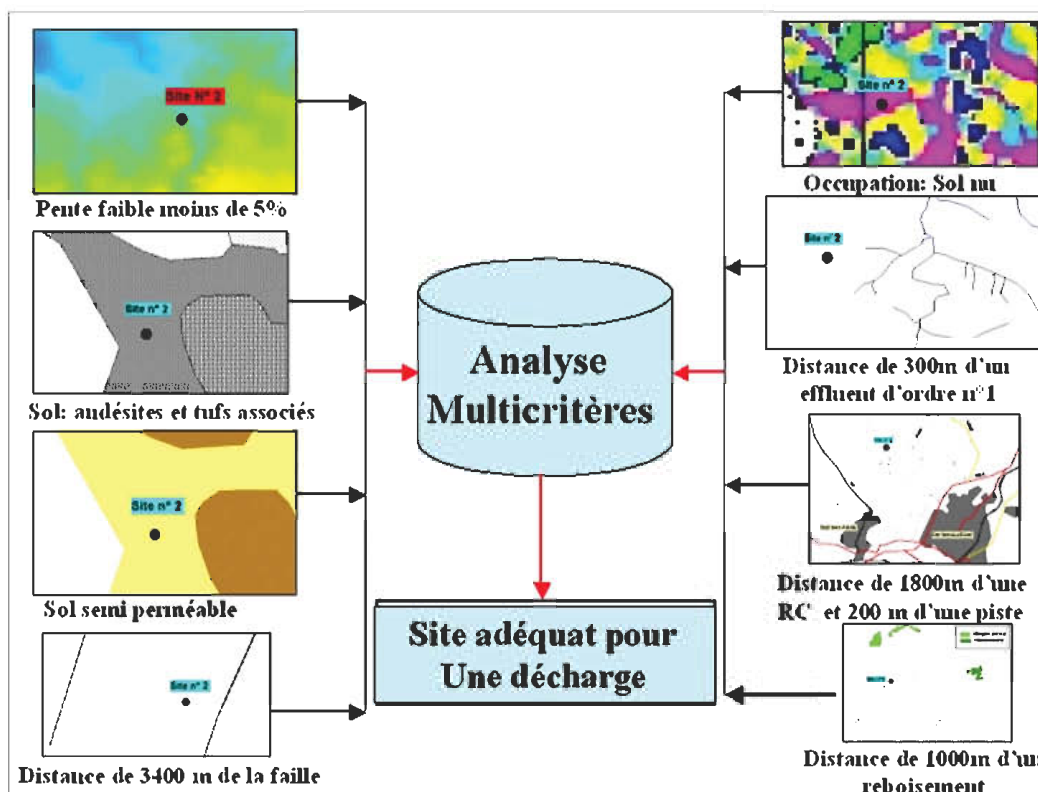


Fig. 14 Schéma d'appréciation du site n°2 évalué pour le stockage des déchets.

## 7. Conclusion

L'étude de la présélection des sites des décharges pour l'ensemble du bassin versant de Oued El Maleh a été établie par l'analyse cartographique des plans d'informations.

La superposition des cartes thématiques a permis de dégager deux sites pouvant servir à priori de décharge d'ordure ménagères.

Il est à souligner que cette étude est effectuée dans un bassin de formation géologique perméable à semi-perméable où l'accès souvent est difficile pour sélectionner des terrains appropriés à une décharge.

Ces sites peuvent être considérés comme dépôts mais avec des mesures de protection et de surveillances ainsi qu'aménagement permanent

## Références

Bentekhici Nadjla 2005 : pollution et protection de l'environnement dans la région d'Ain Témouchent Thèse de magistère Université d'Oran Algérie

Boualem chorfa 2002 : projet SIG : le choix d'un dépotoir application sur la commune de Ain el Aouda (Maroc) Centre Africain des sciences et technologies de l'espace langue française, affilié à l'ONU Crase LF.

CHAPONNIERE A., 2005: Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain) Thèse de Doctorat Centre d'étude spatiale de la Biosphère Paris-Grignon France.

CHARLEAUX J., 2001 :Qualité des modèles numériques de terrain pour l'hydrologie, application à la caractérisation du régime de crues des bassins versants. Thèse de Doctorat Université de Marne – La – Vallée France.

Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire 2003 : rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement Algérie.

Ministère de l'aménagement du territoire de l'eau et de l'environnement 2002 : programme de gestion et de protection de l'environnement. guide de présélection d'une décharge contrôlée des déchets ménagères , cas de LARACHE et CHEFCHAOUEN , Maroc.

Puech Christian 2000 : Utilisation de la télédétection et des modèles numériques de terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes Mémoire de recherche INPG Grenoble.

Zine El Abidine et Al ; 2003 : Contribution d'un système d'information à référence spatiale la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels, région semi-aride (Souss, Maroc) SIG 2003 conférence francophone ESPI Université de Genève.

# 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 sur Disquette ou CD ROM et écrits 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 RÉSUMÉ** : 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, s'il est jugé recevable par le rédacteur en chef, 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 fourni gratuitement, à chaque auteur; d'autres peuvent être fournis à la demande, dans la limite du stock.
- **DATES DE PARUTION** : Le Bulletin paraît deux fois par an, à la fin du mois d'octobre et du mois d'avril.
- **ENVOI DES MANUSCRITS** : Envoyer un courrier à [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.dz) ou par voie postale à l'adresse suivante: **Bulletin des Sciences Géographique, INCT, 123, rue de tripoli, Hussein-Dey 16040, BP 430, Alger, Algérie.**





**INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION**

Crée par ordonnance 211 67 du 17/10/1967 modifiée par les ordonnances 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 47 00 30 & 021 47 09 20 **Fax:** 213 021 47 00 29 & 021 23 43 81

**e-mail:** inct99@wissal.dz

## Bulletin d'abonnement

- Oui, je souhaite m'abonner au Bulletin des Sciences Géographiques pour une année.**

**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: 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 : .....

Date

Signature

**Retourner ce bulletin accompagné du règlement à  
Monsieur le Directeur Général de l'Institut National de Cartographie  
et de Télédétection, Bulletin des Sciences Géographiques**

123 rue de Tripoli, BP 430, Hussein Dey- 16040 Alger.

Tél: 213 021 47 00 30 & 021 47 09 20 Fax: 213 021 47 00 29 & 021 23 43 81

E-mail: inct99@wissal.dz,

ou ANT Vertriebs GmbH Fuerstenrieder Str. 166-81377 Munich R.F.A

Fax: 0049 89 71039 449



**Bulletin des Sciences Géographiques**

**Institut National de Cartographie et de Télédétection**

123 rue de Tripoli, BP 430, Hussein Dey - 16040 Alger.

**Tél:** (213) 021 47 09 20 & 021 47 00 30 - **Fax:** (213) 021 47 00 29 & 021 23 43 81

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