

xyz

Éditée par
l'Association
Française de
Topographie

n°91

- topographie
- géodésie
- photogrammétrie
- SIG
- géomatique
- métrologie
- hydrographie
- topométrie
- cartographie
- génie civil



***Les produits Spot 5,
l'alliance de la précision
et du champ large***

Directeur de la publication

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

Rédaction et administration XYZ
2 avenue Pasteur
94165 Saint Mandé cedex
Tél. : 01 43 98 84 80
Fax : 01 43 74 72 80
secrétariat : tous les jours
de 9 h à 17 h

Comité de Rédaction

Emmanuel Natchitz
Enseignant Chercheur ESTP
Pierre Grussenmeyer
Maître de Conférences - ENSAIS
Bertrand Ravez
Responsable de service Topographique
Bouygues TP

Responsable du site internet

Tania Neusch

Conseil d'orientation scientifique

Jean Bourgoin
Ingénieur Général Hydrographe ER
Robert Chevalier
Géomètre-Expert DPLG
Suzanne Débarbat
Astronome Observatoire de Paris
Raymond d'Hollander
Ingénieur Général Géographe - IGN
Jacques Riffault
Directeur Commercial
Robert Vincent
Ingénieur ECP
Dr Pascal Willis
Ingénieur en chef Géographe - IGN

Publicité

Maurice Maletas

Conception et maquette

Dorothée Picard

Abonnements

Evelyne Mesnis

Autre publication

L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

137 avenue de Conthe
BP 337 15003 Aurillac Cedex
Tél. : 04 71 63 44 60
Fax : 04 71 64 09 09

Dépôt légal

4^e trimestre 2002 ISSN 0290-9057
N° CPPAP : 093 g 80866

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

Abonnement annuel

France CEE : 73 €
Étranger (avion, frais compris) : 76 €
Les règlements payés par chèques
payables sur une banque située hors de
France doivent être majorés de 10 €
le numéro : 20 €

Le bulletin d'adhésion est en p. 63

Membre du SPCS Syndicat de la Presse
Culturelle et Scientifique

L'AFT n'est pas responsable des opinions
émises dans les conférences qu'elle
organise ou les articles qu'elle publie.
Tous droits de reproduction ou d'adaptation
strictement réservés.

COUVERTURE : Maroc/Algérie :
acquisition du 8 mai 2002 - résolution
5 m - Extrait d'une scène Spot 5
(60 x 60 km) sur la région Aïn Sefra.

© Cnes 2002 - Distribution Spot Image

Juin 2002 • 2^e trimestre

Sommaire

La revue XYZ est éditée par l'AFT Association Française de Topographie

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) 

2 avenue Pasteur - 94165 Saint Mandé cedex - Tél. : 01 43 98 84 80 - Fax : 01 43 74 72 80

E-mail : aftopo@club-internet.fr • Site internet : <http://perso.club-internet.fr/aftopo>

■ Editorial 5

■ Info-Topo

Les informations de la profession 6

■ Manifestations

- > Maquette numérique et patrimoine
Compte-Rendu de la journée scientifique
du 7 mars 2002 à l'Institut Image
Frédéric MÉRISSE 12
- > 14^e rencontres européennes
de la géomatique 14
- > MICAD 2002 tient bien la route ! 15

■ Techniques nouvelles

- > Les produits Spot 5, l'alliance
de la précision et du champ large 16

■ Photogrammétrie

- > Etude sur la reconstruction géométrique
et topologique d'un bâtiment par
photogrammétrie mono-image
Omar AL KHALIL
& Pierre GRUSSENMEYER 18



■ Géodésie

- > Conversion dans le système altimétrique
IGN69 de la base de données
topographiques de la Ville de Nice
Ludovic ANDRES 24
- > Les systèmes géodésiques de référence
dans l'exploration pétrolière



Bruno RAVANAS 30

■ Découverte

- > L'expédition Baudin en Australie 1800 - 1804
Jean BOURGOIN - Etienne TAILLEMITE 36

■ Foncier

- > Expertise française en matière foncière
en Amérique Centrale
Claire GALPIN 48

■ Cadastre

- > les bases de données cadastrales au
service de l'aménagement du territoire
Ouméria MISSOUMI 52

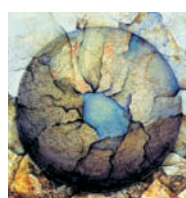


■ Géophysique



- > Le positionnement sur les équipes
sismiques de la compagnie générale de
géophysique
Frederic TERRAND 56

■ Art et Géométrie



Ghislaine Escande :
Peinture à la carte
Jean-Pierre MAILLARD... 60

■ GSF 62

■ Livres 64

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 65.

Pourquoi un prix de l'AFT pour les jeunes ingénieurs diplômés en topographie ?

La deuxième édition du Prix de l'AFT est lancée. Ce prix récompensera les meilleurs travaux de fin d'études réalisés par les Ingénieurs Géomètres Topographes diplômés en 2002.

L'objectif d'un tel prix est avant tout de promouvoir l'innovation et la diversité de nos métiers à travers la vision des nouvelles générations. Les étudiants travaillent sur des sujets à la fois techniques et novateurs. Les thèmes développés s'inscrivent dans les courants de recherches des entreprises et laboratoires qui ouvrent leurs portes pour associer à leurs travaux nos étudiants. L'esprit et la curiosité de ces jeunes ingénieurs sont des compléments intéressants aux savoirs et acquis des ingénieurs expérimentés.

Nos métiers ne reposent plus seulement sur la maîtrise de la mesure, ils combinent habilement les techniques traditionnelles avec le développement de nouveaux outils de calculs, de traitements et de gestion des données. C'est aussi l'esprit créateur qui permet de réaliser de nouvelles techniques aussi impressionnantes que le relevé par laser ou la réalité virtuelle.

Notre Association veut récompenser l'esprit d'innovation en saluant les qualités scientifiques des candidats.

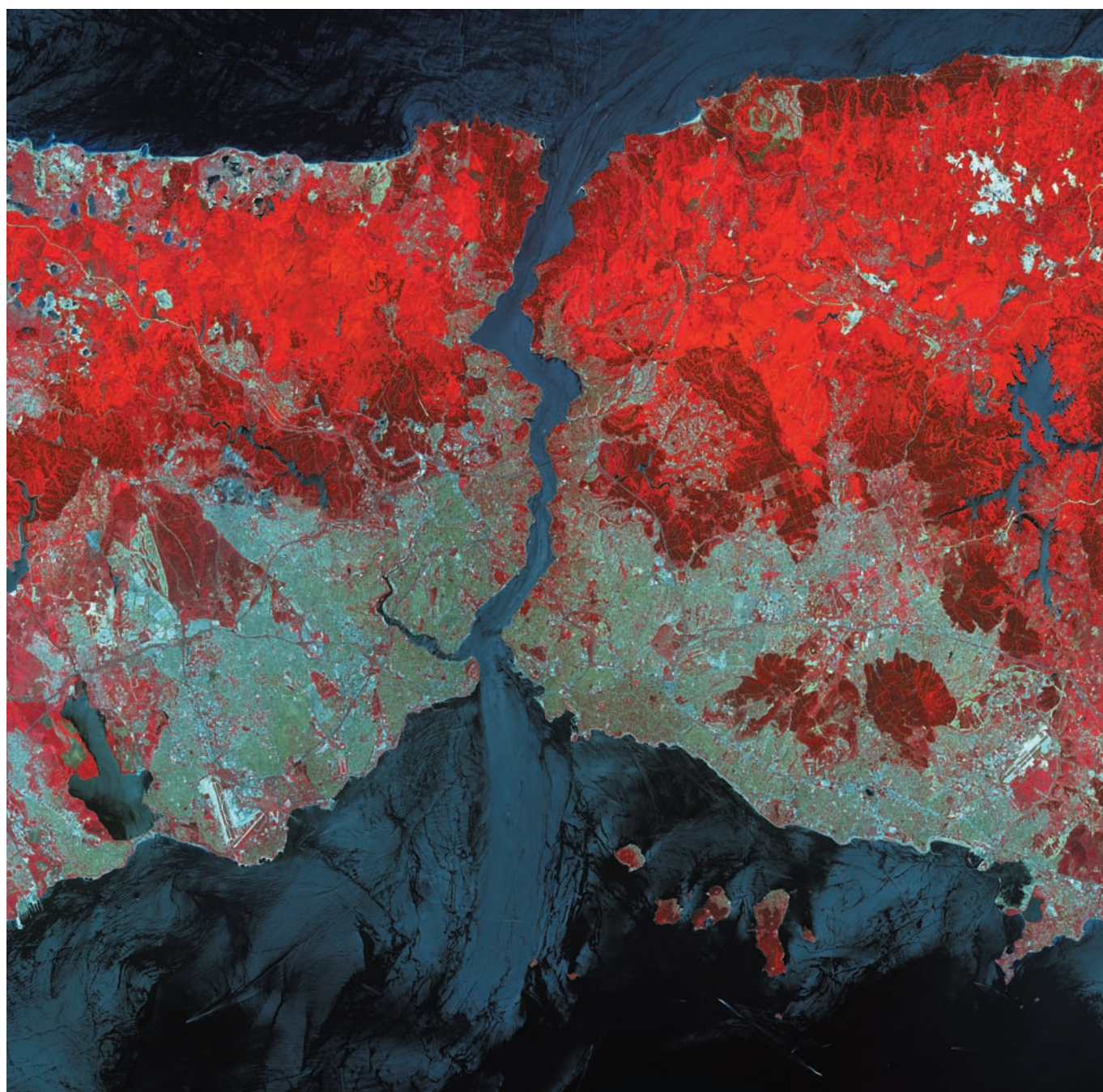
Vous êtes invités à diffuser l'information le plus largement auprès des jeunes diplômés et à les inciter à partager leurs premières expériences avant le 1^{er} mars 2003.

Les lauréats du premier prix de l'AFT 2001 seront primés et récompensés avant la fin de cette année. Leurs travaux seront publiés dans le numéro 93 de notre revue en décembre 2002.

Avis aux postulants pour la deuxième édition du prix de l'AFT !

Les produits Spot 5, l'alliance de la précision et du champ large

Les premières images de Spot 5 attestent des avantages majeurs procurés d'une part par l'amélioration de la résolution à 5 m et 2,5 m combinée à la grande capacité de couverture des données Spot (la dimension des scènes Spot est de 60 km par 60 km voire par 120 km), d'autre part par la capacité d'acquisition sans équivalent de l'instrument stéréoscopique HRS.



Istanbul, Turquie : scène entière (60 x 60 km) acquise le 20 mai 2002 - Résolution 2,5 m couleur

© Cnes 2002 - Distribution Spot Image

Cet instrument HRS va en effet permettre de produire automatiquement des MNT et des orthoimages très bien localisés, d'une précision de 15 m et donc de fabriquer massivement et à moindre coût des produits élaborés directement utilisables dans les systèmes d'information géographique. L'ensemble de la nouvelle offre optique répond à une demande de plus en plus forte des utilisateurs d'avoir des données directement utiles et rapidement mises à jour pour des applications réclamant précision et finesse de l'information géographique sur une grande surface.

Mettre à jour et cartographier des territoires dans des délais très courts

Moins de la moitié des terres émergées sont actuellement cartographiées à des échelles topographiques (ie :1:100 000) et bon nombre de ces cartes sont obsolètes, peu fiables ou inexactes. Pour mettre à jour ou cartographier un pays ou une région dans des délais et à des coûts acceptables, les images Spot 5 sont un progrès important par rapport à l'offre antérieure

C'est ainsi qu'avec une résolution de 2,5m, elles vont particulièrement servir à la fabrication de produits cartographiques à des échelles du 1:50 000 au 1:10 000 qui vont apporter à la fois une grande précision pour l'identification des territoires, et la couverture de vastes étendues.

Mieux déterminer le relief, un besoin commun pour les opérateurs de téléphonie

La mise en place des infrastructures de communications téléphoniques, depuis le dimensionnement d'un nouveau réseau jusqu'à la densification de réseaux existants, nécessite la réalisation de cartes de couvertures radio pour la simulation de propagation des ondes. Elles sont élaborées à partir d'informations géographiques de différents types dont les spatiocartes, les cartes d'occupation des sols, les modèles numériques de terrain ou d'élévation, ainsi que les voies de communication.

Avec Spot 5, les opérateurs de télépho-



© Cnes 2002 - Distribution Spot Image

Maroc/Algérie : acquisition du 8 mai 2002 - résolution 5 m - Extrait d'une scène Spot 5 (60 x 60 km) sur la région de Ain Sefra.

nie cellulaire, vont obtenir une meilleure connaissance du relief et une description précise des objets au sol nécessaire pour modéliser la propagation des ondes. Ils vont ainsi actualiser des bases de données pour les réseaux de télécommunication mobile.

Meilleure identification des surfaces cultivées

Le suivi des surfaces cultivées est essentiel tant du point de vue social qu'économique ou environnemental. L'imagerie satellitaire est devenue incontournable dans de nombreuses activités en favorisant un suivi objectif, global et précis des ressources :

- gestion des pratiques agricoles à la parcelle (agriculture de précision)
- gestion de filière de production agricole (organisation de récolte)
- prévision de récolte
- inventaire des surfaces agricoles
- instruction et suivi de mesures agro-environnementales
- contrôle et suivi des mesures d'aides agricoles

Les images Spot 5 offrent une meilleure détection des limites des parcelles et

une meilleure mesure de surface (notamment pour les petites parcelles). De plus, les images couleurs ajoutent une richesse thématique pour la description de l'hétérogénéité des surfaces observées et pour la reconnaissance du contenu de la parcelle.

Pour l'identification cadastrale des parcelles, par exemple, les images Spot 5 permettent de générer des documents au 1:10 000 et ce, sur de grandes surfaces.

Gérer le territoire à des échelles plus grandes

La résolution des images de Spot 5 permet de travailler à des échelles adaptées à l'aménagement du territoire telles que 1:10 000 et 1:25 000 ; de plus une seule acquisition couvre toute une agglomération. Le suivi des évolutions est facilité par une mise à jour annuelle des données basée sur des prises de vues régulières, mais aussi l'apport de la couleur dans la haute résolution qui améliore la discrimination des objets observés (différents types de bâti par exemple). ●

Contact : www.spotimage.com

Etude sur la reconstruction géométrique et topologique d'un bâtiment par photogrammétrie mono-image

■ Omar AL KHALIL & Pierre GRUSSENMEYER

De plus en plus de logiciels de photogrammétrie rapprochée proposent des méthodes de modélisation tridimensionnelle à partir d'une seule image. L'objectif est en général de reconstruire la géométrie d'un objet en partant d'hypothèses sur sa position et sa forme. D'autres informations non géométriques peuvent être prises en compte dans la modélisation. Dans cet article, nous proposons une méthode de modélisation mono-image basée sur la combinaison de concepts de géométrie projective et de topologie. Cette étude a permis d'élaborer un modèle 3D de l'ancien hôtel de Ville de Zurich dans le cadre d'un projet du Comité International de Photogrammétrie Architecturale.

La photogrammétrie rapprochée permet de reconstruire les modèles 3D de scènes architecturales à partir de photos. La géométrie tridimensionnelle requise pour l'élaboration de ces modèles est habituellement saisie à l'aide de stéréorestituteurs analytiques ou numériques ou de systèmes de photogrammétrie multi-images. L'application des principes de la stéréophotogrammétrie et de la photogrammétrie multi-image, nécessite une démarche particulière lors de la prise de vues (respect des conditions du cas normal pour la stéréorestitution, mise en correspondance des points homologues sur les différentes photos, relevé de points d'appui, connaissance préalable des caractéristiques des appareils photographiques). Ces données servent à déterminer les paramètres de différentes transformations géométriques décrivant la formation de l'image.

Par ailleurs, la photogrammétrie est souvent utilisée pour résoudre les problèmes de documentation ou de reconstruction du patrimoine culturel. Des illustrations, des cartes

postales ou des photos d'amateur peuvent quelquefois être la seule source d'information existante sur l'objet à documenter. En général, ces photos ne satisfont pas les conditions de la stéréophotogrammétrie ou de la photogrammétrie multi-image et l'établissement des données de contrôle nécessaires au traitement n'est pas toujours possible. La photogrammétrie doit permettre d'utiliser ces archives afin de reconstruire le modèle 3D de la scène concernée en considérant une seule image.

En théorie, une seule image ne fournit pas assez d'informations pour effectuer une reconstruction 3D d'une scène photographiée. En effet, le processus de formation de l'image représente la projection conique d'une scène tridimensionnelle sur un plan (le plan de l'image). Les différences de profondeur sont difficiles à évaluer sur une image (figure 1) car plusieurs points de l'espace objet peuvent correspondre à un point spécifique de l'image.

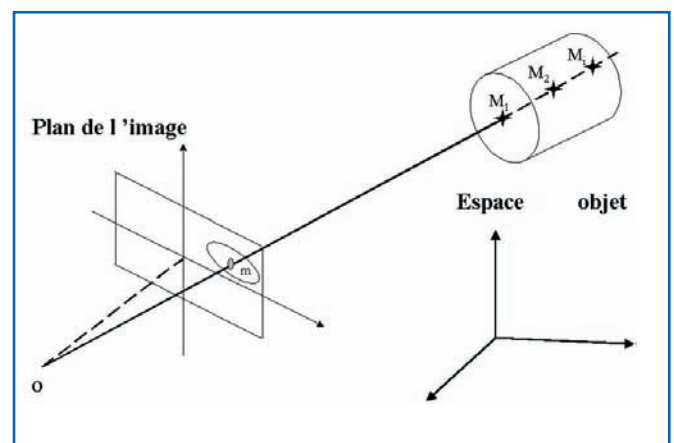


FIG. 1. Le point correspondant à (m) se trouve sur la droite (O, m, Mi)

Pour définir la géométrie 3D d'une scène à partir d'une seule image, on peut appliquer différentes méthodes basées sur la reconstruction de la forme à partir de :

1. l'ombre : il s'agit d'extraire la forme uniquement à partir des variations de la lumière observée sur les surfaces de l'objet photographié (Hom, 1981) ;

2. la combinaison de la focalisation et de la défocalisation :

quand une image est prise avec un appareil photographique, l'objectif est focalisé à une distance particulière. Les objets en dehors de la zone de netteté sont flous. La défocalisation relative entre deux photos est utilisée pour déterminer la structure 3D de l'objet (*Pentland, 1987*) ;

3. l'interprétation des textures : cette technique est basée sur le concept du gradient de texture qui correspond au changement systématique de la taille et de la forme des composantes des textures dû aux effets combinés de la géométrie de l'objet photographié et de la formation de l'image (*Clerc et Mallat, 1999*) ;

4. La géométrie

Les trois premières techniques ont des domaines d'application spécifiques, leur précision est limitée et les algorithmes sont complexes. En revanche, les techniques basées sur la connaissance préalable des caractéristiques géométriques de l'objet photographié sont précises et leurs applications sont variées. Lors de la reconstruction de la forme à partir de la géométrie, les approches sont les suivantes :

- l'utilisation des surfaces analytiques : l'objet à modéliser est décrit à l'aide de l'équation d'une surface analytique. Si cette description est possible, il faut déterminer les paramètres qui définissent cette équation et définir le processus à suivre pour combiner la surface analytique et l'image (*El-hakim, 2000*), (*Taylor, 2000*), (*Theodoropoulou, 1999*) ;
- la combinaison d'une image aérienne avec un MNT et des orthophotographies : l'idée de base consiste à orienter une seule image à l'aide d'une orthophotographie et d'un modèle numérique de terrain. À l'issue de cette orientation, les coordonnées-objets des nouveaux points mesurés sur l'image peuvent être calculées (*Shan, 2001*) ;
- l'utilisation de contraintes géométriques et topologiques : dans le contexte de la modélisation 3D le mot "contrainte" indique les relations géométriques (la perpendicularité, le parallélisme, la symétrie, etc.) et topologiques (les relations topologiques entre l'objet et sa projection dans la photo et les relations topologiques entre les composantes de l'objet lui-même) existantes entre les composantes des objets. Ces contraintes sont utilisées pour orienter les lignes et les plans de l'objet photographié et reconstruire son modèle 3D (*Van den Heuvel, 1998*) ;
- l'utilisation des concepts de la géométrie projective (coordonnées homogènes, points de fuite, homographie et coniques absolues). Ces approches sont intéressantes car elles donnent la possibilité d'effectuer une reconstruction 3D à partir d'une image non étalonnée (*Criminisi, 1999*).

Photogrammétrie mono-image et topologie

Notre recherche s'applique à la modélisation et à la représentation tridimensionnelle des objets de type "bâtiment". Cette approche est basée sur la représentation de l'information sous

forme hiérarchique et la structuration simultanée des données dans une base de données relationnelle (*Al Khalil et al., 2001*).

Les données géométriques sont principalement obtenues à l'aide de la photogrammétrie architecturale mono-image. La structuration des données inclut la géométrie, la topologie et les aspects sémantiques des différentes entités des scènes modélisées. Elle est effectuée à l'intérieur même du processus de modélisation.

L'idée de présenter l'information sous une forme hiérarchique est l'un des apports importants d'un système d'information. Le niveau géométrique est une représentation graphique qui rend uniquement compte de la position et de la forme des objets géométriques et des relations spatiales entre ces objets (voisinage, intersection, inclinaison, etc.). Le niveau topologique est quant à lui un niveau intermédiaire qui permet de définir les relations entre les primitives géométriques (points, lignes et surfaces) présentées dans le niveau précédent. En ce qui concerne le niveau sémantique, il permet de définir les objets à modéliser ainsi que les attributs de ces objets, en réponse aux besoins de la modélisation et en concordance avec les données géométriques disponibles.

Lors de l'application de notre prototype, l'acquisition de données possède les deux formes suivantes :

- Acquisition des données géométriques : il s'agit des positions des points saisis sur l'image et donc décrits à l'aide de leurs coordonnées cartésiennes 3D dans un référentiel donné. Cette acquisition se fait par un module de photogrammétrie mono-image. Cette application est basée en partie sur des travaux antérieurs (Criminisi, 1999). Ici, les concepts de la géométrie projective comme les coordonnées homogènes, les points de fuite et l'homographie, constituent les éléments de base de la modélisation.
- Acquisition des données sémantiques et topologiques : il s'agit de la définition des entités que l'on cherche à modéliser. Cela suppose que l'opérateur ait une bonne connaissance de l'objet. La précision de la nature sémantique est facilement réalisable à l'aide des outils intégrés dans l'interface de l'acquisition géométrique elle-même.

Les données géométriques, topologiques et sémantiques sont enregistrées à la fin de la saisie dans une base de données relationnelle. Cette base sera utilisée avec une interface graphique intégrée dans un logiciel de DAO pour reconstruire et visualiser le modèle 3D de la scène photographiée.

Application du prototype de Modélisation Mono-Image

Le prototype de Modélisation Mono-Image (MMI) a été validé à l'aide d'une application développée au sein de l'Equipe Photogrammétrie et Géomatique à l'ENSAIS. Pour calculer la géométrie 3D à partir d'une seule image, l'application MMI utilise des concepts de géométrie projective : points de fuite, coordonnées homogènes, homographie, coniques absolues, etc. ■■■

- ■ ■ La reconstruction du modèle 3D est quant à elle basée sur des relations topologiques enregistrées dans une base de données relationnelle de type Access.

Pour bien montrer le fonctionnement de cette application, nous avons reconstruit le modèle 3D de l'ancien hôtel de Ville de Zurich (*figure 2*) à l'aide de données d'un projet du Comité International de Photogrammétrie Architecturale (*Grussenmeyer, 2000*).

■ Introduction

L'ancien Hôtel de Ville de Zurich (Suisse) datant de 1694-98 a été relevé en mai 1999. Les dimensions approximatives de ce bâtiment sont de $(35 \times 12 \times 18) \text{m}^3$. Il est constitué de quatre façades planes et d'un toit composé d'un groupe de plans.



FIG 2 : Ancien hôtel de Ville de Zurich

Les prises de vues de l'ancien Hôtel de Ville de Zurich ont été réalisées en 1999 avec deux appareils photographiques numériques standards : Fuji DS 300 (1280 x 1000 pixels) et Olympus D1400L (1280 x 1024 pixels). Ces photos couvrent les façades du bâtiment, avec des obstacles autour de l'objet (plan d'eau ou faible recul) rendant le relevé difficile.

FIG. 3. Images utilisées pour la modélisation mono-image de l'ancien hôtel de ville de Zurich



Image des façades Nord et Ouest

Aucun objectif de précision n'était fixé pour la modélisation. Il s'agissait plutôt d'étudier les capacités des logiciels de photogrammétrie rapprochée à traiter des configurations de prises de vues peu conventionnelles (*Streilein et al., 1999*).

■ Etapes de la modélisation mono-image

Données

Deux images prises avec l'appareil Fuji DS 300 ont été utilisées (*figure 3*). La première couvre les façades Nord et Est tandis que la deuxième couvre les façades Nord et Ouest. En ce qui concerne la façade Sud, elle a été modélisée à l'aide de points mesurés sur les façades Est et Ouest.

Sur les deux images sélectionnées, le calcul des points de fuite associés aux différents axes du système local de coordonnées mis en place est réalisé par la mesure de lignes parallèles de l'objet.

Afin de configurer la scène pour une modélisation mono-image, un système local de coordonnées ainsi que 4 points d'appui ont été définis (*figure 4*) sur la façade Nord du bâtiment.

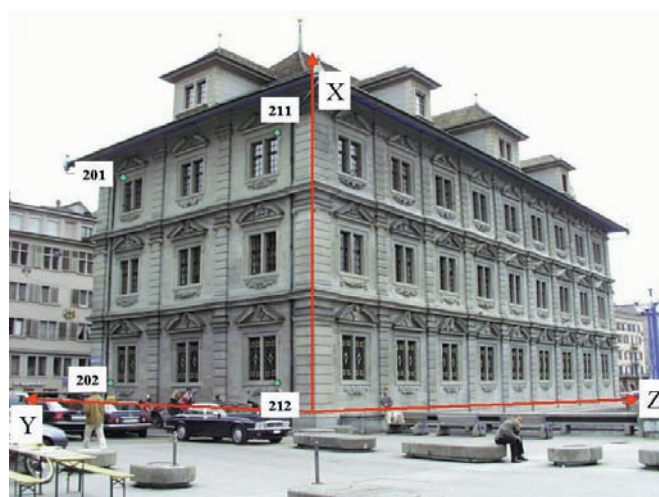


FIG.4 : Système de coordonnées local et points d'appui



Image des façades Nord et Est

Les points d'appui sont donnés dans le tableau suivant :

N°	X	Y	Z
201	11.91	12.154	0
202	1.30	12.154	0
211	11.91	1.5	0
212	1.30	1.5	0

Tableau 1 : Coordonnées des points d'appui (façade Nord)

Modélisation avec MMI

L'application MMI a été utilisée pour extraire la géométrie 3D. On considère les étapes suivantes :

1. Définition des projets mono-images : cela nécessite pour chaque projet, une image, un fichier de points d'appui et un fichier avec les caractéristiques de l'appareil photographique (ce dernier est optionnel car la modélisation fonctionne avec des images non-étalonnées) ;

2. Calcul des points de fuite associés aux axes du système de coordonnées mis en place : on mesure une série de lignes parallèles à chaque axe du système de coordonnées locales (figure 5) et on calcule l'intersection de ces lignes. La qualité des mesures et des calculs est évaluée en appliquant une régression linéaire.

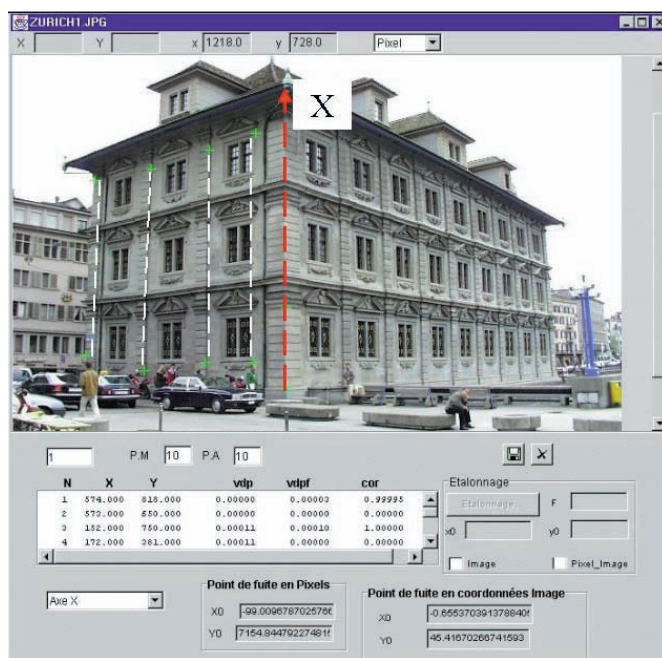


FIG. 5. Calcul des points de fuite (axe X)

3. Etalonnage de l'appareil photographique à l'aide des points de fuite issus de l'étape précédente : le point principal de l'image est l'orthocentre du triangle formé par ces points dans le plan de l'image. La distance principale est aussi calculée à l'aide des trois points de fuite. Pour calculer ces paramètres, nous avons appliqué l'algorithme proposé dans *Caprile et Torre, (1990)* basé sur les coniques absolues. La conique absolue est une entité située dans le plan 3D à l'infini et l'image de cette conique est définie par la relation suivante : $\omega = K^{-T} K^{-1}$. La matrice ω (3,3) est symétrique et possède cinq degrés de



FIG. 6. Points mesurés sur la façade ouest

liberté. La matrice d'étalonnage de l'appareil photographique (K) peut être calculée à partir de (ω) en appliquant la décomposition de Cholesky.

4. Calcul des paramètres de l'homographie de la façade Nord : ce calcul a été fait à l'aide des quatre points d'appui de la figure 4 ;

5. Calcul des coordonnées 3D des points mesurés sur les différentes façades (figure 6) : afin de pouvoir effectuer une reconstruction 3D complète, l'espace de l'objet doit être présenté sous forme d'une combinaison de trois plans (figure 7). Le plan qui contient les axes (X,Y) est appelé le plan de référence tandis que la direction qui correspond à l'axe (Z) est appelée la direction de référence (*Criminisi, 1999*). La détermination des coordonnées 3D d'un point nécessite la connaissance de l'un de ses projetés dans l'un des trois plans constitutifs de la scène

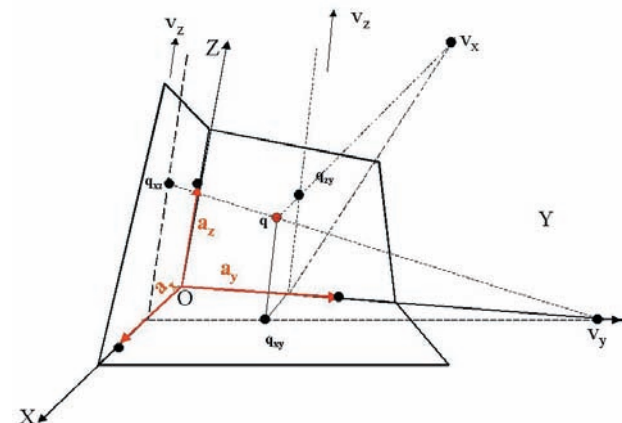


FIG. 7. Configuration de l'espace à l'aide de 3 plans

- à modéliser. On peut déterminer automatiquement les projetés dans le plan de référence de points situés dans les plans (XZ), (YZ) ou dans un plan libre qui coupe le plan de référence à l'aide du point et de son projeté. La détermination des coordonnées 3D de ce point (figure 8) est directe en appliquant l'algorithme suivant : les coordonnées-objets (X,Y) du point sont calculées à l'aide de l'homographie du plan de référence et du point correspondant dans le plan de référence. La coordonnée (Z) est calculée à l'aide du facteur d'échelle de l'axe (Z), ce facteur étant calculé à l'aide d'une distance de référence le long de (Z).

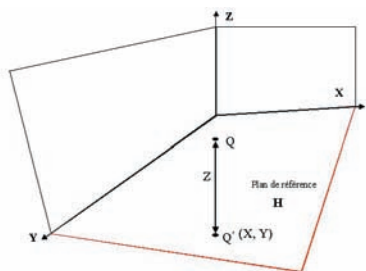


FIG. 8. Détermination des coordonnées 3D d'un point en deux étapes

6. Etablissement d'une base de données à l'aide d'une interface intégrée dans l'application MMI : cette base de données contient les données topologiques concernant le bâtiment à modéliser et issues des deux projets définis dans la première étape. La face constitue l'élément de base de la modélisation. Pour une surface donnée, l'opérateur saisit les points des limites et précise ensuite le type sémantique de cette surface (type MUR, SOL, PLAFOND (ou TOIT), PORTE ou FENETRE). La dernière étape consiste à préciser les numéros des points qui constituent les limites des faces. A la fin de la saisie, une base de données relationnelle est générée.

Génération du modèle 3D

A l'aide des données géométriques, des relations topologiques (enregistrées dans la base de données relationnelle issue de l'étape précédente) et d'une interface intégrée dans un logiciel de DAO, la reconstruction et la visualisation du modèle surfacique 3D se fait automatiquement.

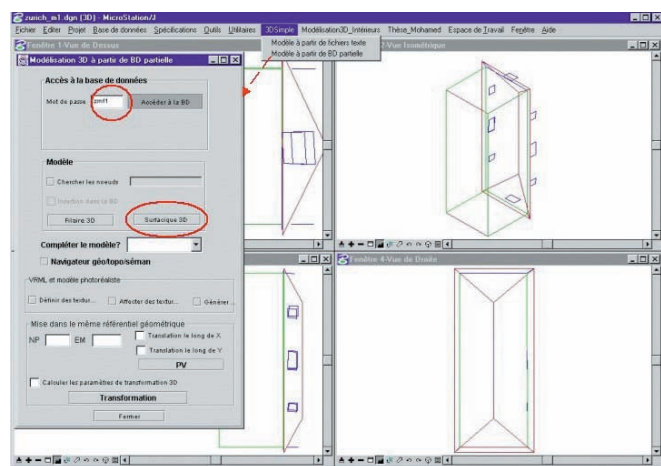


FIG. 9. Génération du modèle surfacique 3D à l'aide de l'interface intégrée dans un logiciel de DAO

Les textures ont été attachées aux différentes faces pour obtenir un modèle photoréaliste. On peut constater les défauts du modèle à certains endroits et particulièrement au niveau des angles des façades avec des problèmes de raccordement. En ce qui concerne le toit, des textures artificielles ont été utilisées. Il est à noter que les textures des différentes faces ont été calculées à l'aide des points 3D mesurés sur ces faces lors de l'étape 5. Il est à noter que les textures des différentes faces ont été calculées à l'aide des points 3D mesurés sur ces faces lors de l'étape 5 de la modélisation mono-image.

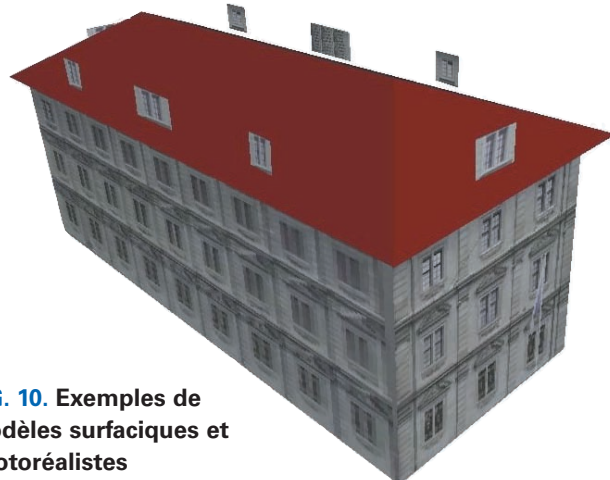
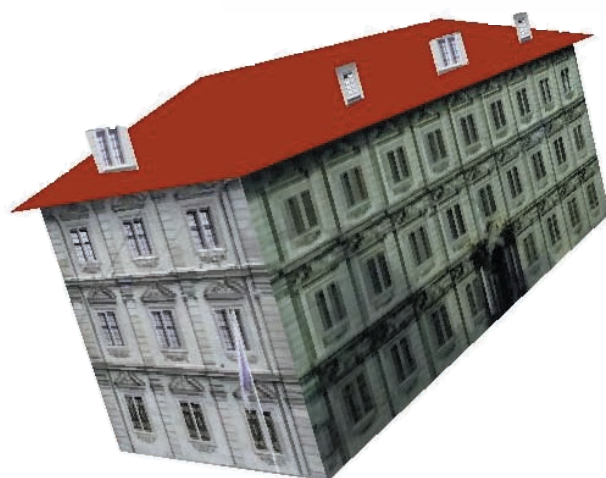
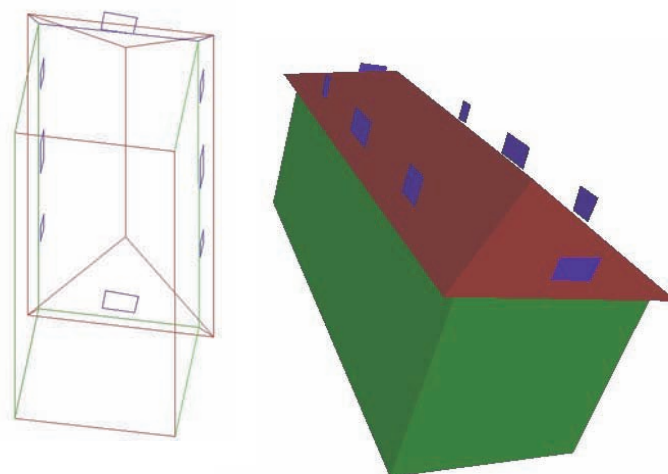


FIG. 10. Exemples de modèles surfaciques et photoréalistes

Conclusion

Pour la reconstruction virtuelle en 3D d'un bâtiment, la configuration photogrammétrique mono-image constitue une solution intéressante. Nous avons développé une approche basée sur la pré-connaissance des caractéristiques géométriques de l'objet à modéliser et sur les concepts de la géométrie projective. Le calcul de l'orientation externe des images n'est pas nécessaire. La reconstruction de l'objet se fait à l'aide des relations topologiques enregistrées dans une base de données relationnelle. La méthode a été validée sur différents types d'objets constitués de faces planes et de lignes remarquables. Elle peut être appliquée pour la modélisation des parties internes et externes d'un bâtiment. ●

Contacts

Omar AL KHALIL
alkhalil@ensais2.u-strasbg.fr

Pierre GRUSSENMEYER
pierre.grussenmeyer@ensais.u-strasbg.fr
ENSAIS, Equipe Photogrammétrie et Géomatique, Strasbourg, France
UMR MAP CNRS/MCC 694

Références

- Al khalil O., Grussenmeyer P & Nour el Din M., 2001.** *3D indoor modeling of buildings based on photogrammetry and topologic approaches.* CIPA, International Symposium 18-21 sept. 2001, Potsdam University, Germany, 7 pages.
- Caprile, B., Torre, V. 1990.** *Using Vanishing Points for Camera Calibration.* International Journal of Computer Vision, 1990, 4, pp. 127-140.
- Clerc, M., Mallat S.** *Shape from Texture through Deformations* <http://www-stat.stanford.edu/~maureen/ShapeFromTexture.html> (12/02/2002).
- Criminisi, A., 1999.** *Accurate visual metrology from single and multiple uncalibrated images.* University of Oxford, Department of Engineering Science, Visual Geometry Group, Publications.
- El-Hakim, S., 2000.** *A practical approach to creating precise and detailed 3D models from single and multiple views.* ISPRS Congress, Amsterdam, 2000, Vol. 33(5), pp. 203-211.
- Grussenmeyer, P., 2000.** *Enquête : les performances des logiciels de photogrammétrie à courte distance.* Revue de l'Association Française de Topographie, 1^{er} trim. 2000 N°82, p. 40-42.
- Horn, B.K.P., 1981.** *Hill-Shading and the Reflectance Map.* Proceedings of the IEEE, 1981, Vol. 69(1), pp. 14-47.
- Pentland, A. P. 1987.** *A New Sense for Depth of Field.* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, Vol. 9(4), pp. 523-531.

Shan, J. 2001. *An approach to single image automatic orientation and point determination using ortho-images and DTM.* Photogrammetric record, 2001, vol.17(98), pp.343-353.

Streilein, A., Grussenmeyer, P., Hanke, K., 1999. *Zurich city hall- a reference data set for digital close-range photogrammetry.* XVII CIPA International Symposium, October 3-6, 1999. Onlinda, Brazil, CIPA Archives.

Taylor, C. J., Jelinek, D. 1999. *Model-based Reconstruction.* <http://www.cis.upenn.edu/~davidj2/summ/wpage/wpage.html> (08/2001).

Theodoropoulou, I. 1999. *Single Image Photogrammetry with Analytical Surfaces.* A review prepared for the CIPA Task Group 2 : Single Images in Conservation. <http://www.fpk.tu-berlin.de/~iliana/cipa.htm> (02/2002).

Van Den Heuvel, F.A., 1998. *3D Reconstruction from single Image using Geometric Constraints.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 53(6), pp. 354-368.

ABSTRACT

More and more close range photogrammetry software packages include three-dimensional modeling methods based on single images. The objective is in general to rebuild the geometry of an object on the basis of assumptions on its position and its form. Other nongeometrical information can be taken into account in the modeling process. In this paper, we propose a single image modeling method based on the combination of concepts of projective geometry and topology. This study made it possible to work out a 3D model of the old city hall of Zurich within the framework of a project of the International Committee of Architectural Photogrammetry.

Conversion dans le système altimétrique IGN69 de la base de données topographiques de la Ville de Nice

■ Ludovic ANDRES

L'intérêt de disposer de levés topographiques rattachés au système altimétrique IGN 69 en vigueur en France est présenté après un court récapitulatif des différents systèmes altimétriques ayant eu cours dans ce pays. Une méthodologie de conversion en IGN69 (basée sur une interpolation par la méthode de Delauney) d'un très important volume de données topographiques numériques conservées dans un ancien système altimétrique, le système Lallemand, est proposée. Cette technique vise à préserver au maximum la précision des données. Elle peut être aisément transposable à d'autres bases de données topographiques et doit inciter ce type de migration dans le système altimétrique en vigueur.

La base de données topographiques de la Ville de Nice à la précision du 1/200e comporte en 2002 plus de 1 100 000 points de semis et 12 300 stations levés en x, y et z sur environ 65% du corps de rue des 7200 hectares de la commune. La figure 1 illustre la couverture de la base de données topographiques sur le territoire de la commune.

Les altitudes associées à ces points sont dans un système altimétrique établi par l'IGN (Institut Géographique National) aujourd'hui caduque et doivent être converties dans le système IGN69 (Levallois J.J. et Maillard J., 1970) actuellement en vigueur en France. Ce document énonce rapidement les différents types d'altitudes ayant existé en France ainsi que les raisons justifiant le passage dans le nouveau système altimétrique. Ensuite la méthode employée pour la conversion ainsi que sa mise en œuvre pratique sur la base de données numériques sont présentées.

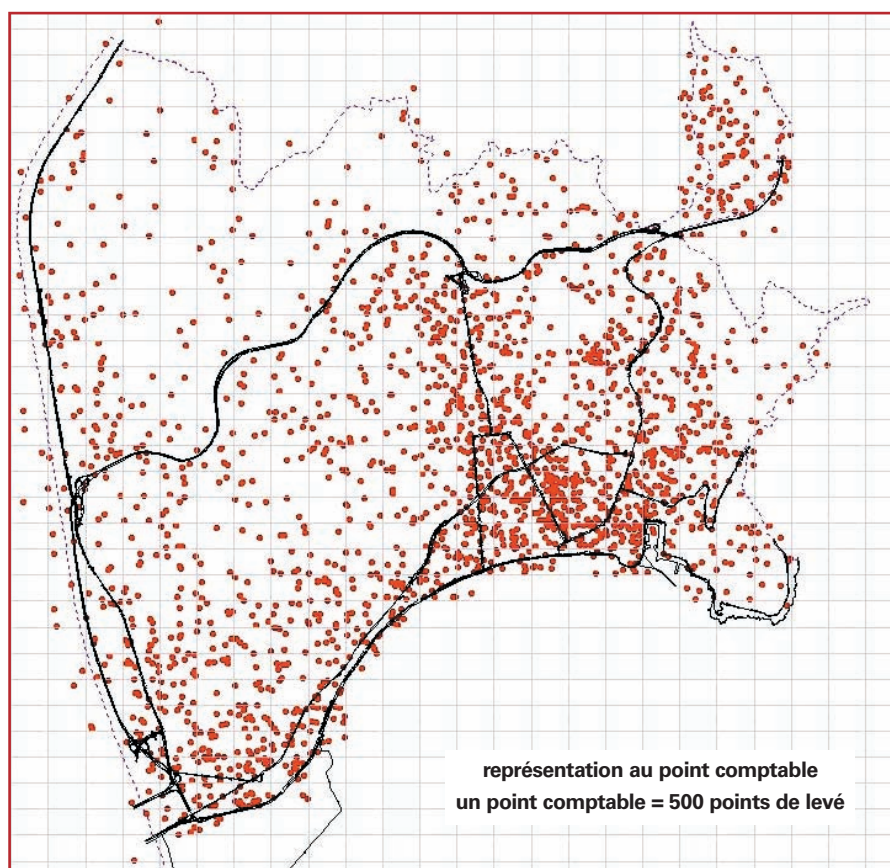


Figure 1 : distribution spatiale des points de semis de la base de données topographiques de la Ville de Nice

Les réseaux de nivellement créés en France

En France, depuis 1857, trois réseaux de nivellement de la France ont eu cours : celui de M Bourdaloue, à partir de 1857, celui de M Lallemand, à partir de 1884, appelé le NGF (Nivellement Général de la France), et enfin celui qui l'a remplacé en 1969, le nivellement IGN69 (*Kasser, 1984*).

Seul les deux derniers tiennent compte de la pesanteur mais pas de la même manière (*J-M Noquet et al., 2000*) : alors qu'une valeur théorique de pesanteur est prise en compte dans le réseau Lallemand, ce sont des mesures de pesanteur sur le terrain qui ont été effectuées pour le réseau IGN69. Celui de M. Lallemand est constitué d'altitudes orthométriques alors que les altitudes IGN69 sont des altitudes normales.

Les tables 1 et 2 (*Paul Bonnetain, 1996*) donnent quelques caractéristiques de ces réseaux Lallemand et IGN69. Sur la commune de Nice, les différences entre les altitudes NGF-Lallemand (orthométriques) et les altitudes NGF-IGN69 (normales) s'échelonnent de 2 à 8 cm environ selon les lieux.

Dans le nord de la France cet écart peut être de l'ordre de 60 cm ou plus, rendant plus aisée la mise en évidence de systèmes d'altitudes différents lorsque l'on utilise plusieurs plans provenant de différentes sources.

Historique à la Ville de Nice

En 1922, la Ville de Nice met en place un canevas local, nommé Triangulation Danger, du nom de l'Ingénieur Géomètre ayant dirigé les travaux. Ce canevas est uniquement planimétrique : l'altimétrie n'est introduite qu'au début des années 50. Elle est basée sur le système alors en vigueur, le NGF Lallemand. Une grande quantité de levés topographiques est ensuite réalisée jusqu'à l'apparition du Système IGN69. Au début des années 70, la planimétrie est manuellement transformée dans le système NTF (Nouvelle Triangulation de la France), mais il a été décidé de continuer à travailler dans le système Lallemand car les mailles de 2^e, 3^e et 4^e ordre n'étaient pas encore achevées.

Dans les années 80, l'informatisation des méthodes de dessin a permis de mettre en place une base de donnée graphique de plans topographiques. De nombreux plans ont donc été numérisés sur un applicatif de Topographie fonctionnant sur un système central IBM. Seuls les plans considérés comme les plus anciens ou n'étant plus à jour n'ont pas été saisis. A cette époque il aurait été judicieux de migrer dans le système IGN69, puisque la base informatique était naissante, et le nouveau canevas altimétrique de l'IGN (Institut Géographique National) quasiment achevé. Cette problématique a proba-

blement été occultée par les nombreuses difficultés rencontrées et tous les efforts liés à cette informatisation du plan.

La conversion en IGN69

Aujourd'hui, plusieurs points rendent nécessaire la mise en œuvre du réseau de nivellement IGN69 :

- La référence nationale en terme de nivellement est depuis 1969 l'IGN69 : il est temps de l'appliquer, notamment dans un contexte d'intercommunalité, où la Ville de Nice se doit de se comporter comme un élément moteur.

- L'IGN ne fournit plus aucun repère de nivellement dans le système NGF Lallemand, mais uniquement en IGN69.

- Le décret n°2000-1276 du 26 décembre 2000 portant application de l'article 89 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 définit comme système national de référence le système RGF93 et sa projection associée le Lambert93 ainsi que le système altimétrique IGN69 (déjà en vigueur).

- Le système mondial de positionnement par satellite GPS, permet d'obtenir simplement une grande précision de positionnement lorsqu'il est notamment mis en œuvre dans le système RGF93. Les GPS ne mesurent pas des altitudes mais des hauteurs ellipsoïdales dont la conversion en altitudes peut être assurée à l'aide de grilles de conversion. Le modèle RAF98 (Duquenne, ESGT) est la grille de conversion recommandée par le CNIG (Conseil National de l'Information Géographique) qui permet d'obtenir des altitudes IGN69 à partir de mesures GPS de hauteurs ellipsoïdales.

- Les outils informatiques graphiques et la puissance des ordinateurs actuels permettent de traiter rapidement de grandes quantités de données une fois le modèle de transformation réalisé.

■ Méthodologie générale

La ville de Nice dispose d'un répertoire de repères de nivellement (RN) acquis auprès de l'IGN dans les années 60,

Nom du réseau	Longueur (km)	Date de réalisation	Précision (écart type)
Lallemand	11723	1884-1892	2,6 mm/km
IGN69	13754	1962-1969	2 mm/km

Table 1 : Les deux derniers réseaux de nivellement de 1^{er} ordre qui se sont succédés en métropole

Nom du réseau	Nom du ZERO	Origine
Lallemand	Zéro Lallemand dit Zéro normal	Niveau moyen de la mer au Marégraphe de Marseille entre 1885 et 1897. Le zéro correspond à la cote 0,329 m de l'échelle de marée du fort Saint-Jean
IGN69	Zéro normal conservé	

Table 2 : Le ZERO ORIGINE des différents réseaux

- ■ ■ dont les altitudes sont exprimées dans le système NGF Lallemand. Les altitudes de ces repères ont été calculées par l'IGN en valeurs IGN69, de sorte que l'on dispose pour un même repère d'un couple de valeurs altitude normale / altitude orthométrique, tel qu'illustré sur les figures 2 et 3.

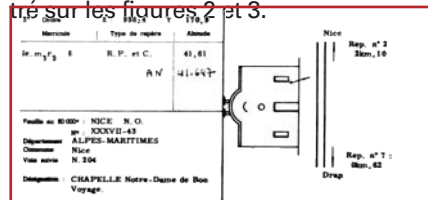


Figure 2 : fiche IGN (système NGF-Lallemand)



d'un repère de nivellement

Figure 3 : fiche IGN (système NGF-IGN69) d'un repère de nivellement

On a pour chaque repère de nivellement la différence:

$$\Delta_{\text{OrthoNormal}} = Z_{\text{normal}} - Z_{\text{Orthométrique}}$$

Après analyse de ces écarts sur la commune (le long des mailles de 1^{er}, 2^e et 3^e ordre), il apparaît qu'aucune formule simple ne peut être appliquée pour les modéliser : en effet le long d'une même maille, à des altitudes quasi identiques, certaines disparités apparaissent parfois, et les comportements Est/Ouest, Nord/Sud sont difficilement interprétables, mais traduisent l'intégration par l'IGN de mesures gravimétriques dans l'établissement des altitudes normales. Ces $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ varient globalement de 3 à 8 cm, mais bien que la variation maximale entre deux repères voisins atteigne 2.8cm à 2 reprises seulement, elle reste inférieure à 0.5 cm dans 75% des cas. La figure 6 illustre la bonne répartition géographique des repères de nivellement sur le territoire de la commune. La distance moyenne entre un point de levé et son RN le plus proche est de 700 m, la distance maxi-

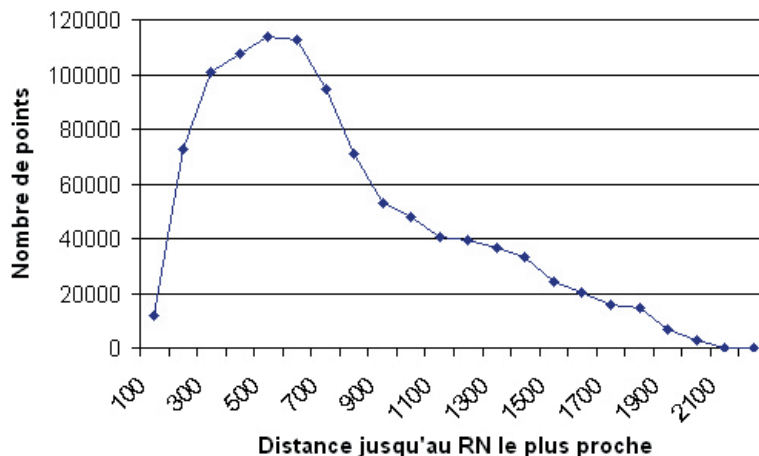


Figure 4 : répartition des points de la Bd Topo en fonction de leur éloignement à un Repère de Nivellement

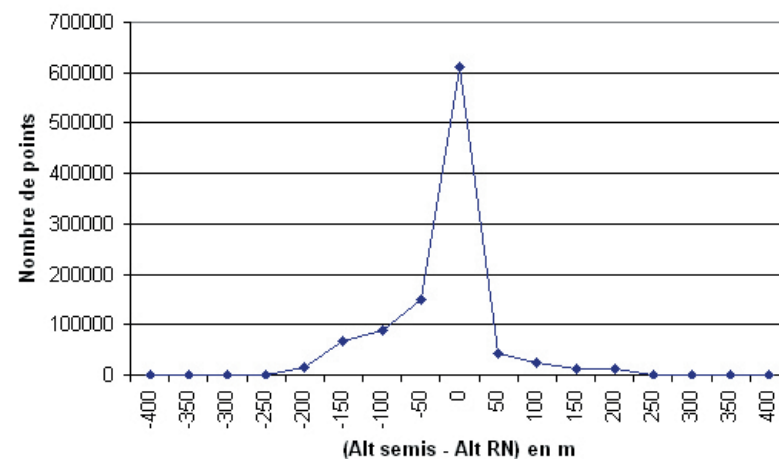


Figure 5 : différences d'altitudes entre les points de levé et un Repère de Nivellement le plus proche

male de 2200 m environ (figure 4).

Ainsi malgré le nombre relativement limité de repères de nivellement, les distances entre repères voisins restent faibles. On remarque également (figure 5) que l'écart maximal entre l'altitude d'un point de levé et l'altitude de son repère de nivellement le plus proche est de seulement 250 m. Compte tenu de ces facteurs, une interpolation spatiale des $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ dans le but d'affecter les écarts interpolés aux points topographiques (points de semis et stations) de la commune paraît appropriée. Pour chaque point topographique M(x, y, z) on appliquera donc la formule suivante :

$$Z_{\text{Normal}} = Z_{\text{Ortho}} + \Delta_{\text{OrthoNormal}}^{\text{Interpolé}}$$

Les repères de nivellement n'étant pas répartis de manière uniforme, il n'est

pas possible d'utiliser un interpolateur simple (type interpolation bilinéaire).

Quatre méthodes d'interpolation ont été testées en collaboration avec l'ESGT (Ecole Supérieure de Géomètres Topographes) à l'aide du logiciel Surfer de la société Golden Software : voisin naturel (Sibson, 1981, Watson 1984), triangulation de Delauney (Lee et Schachter, 1980), krigage (Cressie, 1991) et spline bicubique (Draper et Smith, 1981). Une interpolation de nos $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ a été effectuée sur une grille de 10 m par 10 m, puis on a effectué la différence entre les grilles obtenues.

On s'aperçoit (table 3) que ces quatre techniques d'interpolation donnent des résultats comparables et que les différences obtenues demeurent majoritairement largement inférieures à la préci-

Résultats en mm	Delauney - Sp bicubique	Delauney - Voisins nat.	Delauney - Krigeage	Voisins nat. - Sp bicubique	Voisins nat. - Krigeage	Sp bicubique - Krigeage
Moyenne	-0.7	-0.2	0.1	-0.5	0.01	-0.01
Ecart type	3	1	1	2	1	3
Max	+8	5	7	8	6	17
Min	-18	-9	-13	-17	-5	-8
%des écarts < à 4 mm	91 %	98 %	95 %	90 %	98 %	91 %

Table 3 : différences entre des interpolations par les méthodes de Delauney, spline bicubique, voisins naturels et krigeage.

sion altimétrique de notre base de données topographiques (estimée de 2 à 5 cm selon la nature des points).

Aussi, nous avons choisi la méthode d'interpolation basée sur la triangulation de Delauney, communément utilisée, notamment dans la création de MNT (modèles numériques de terrains). Le fait que cette méthode n'assure pas une continuité de la dérivée première sur les frontières entre les facettes issues de la triangulation a ici une incidence très négligeable car les variations entre les $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ voisins sont très faibles.

■ Mise en œuvre détaillée de la conversion

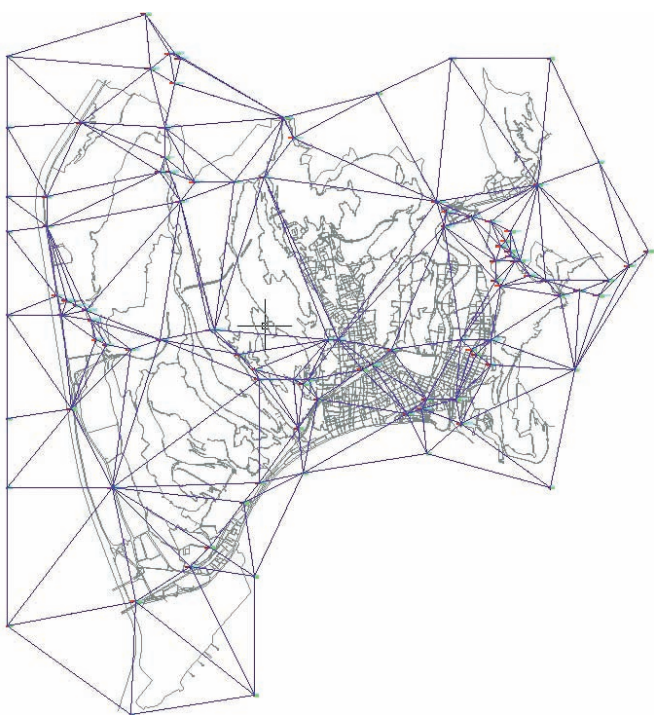


Figure 6 : résultat de la triangulation sur les repères de nivellement de l'IGN

Chaque étape nécessaire à la conversion a été étudiée et est présentée ci dessous.

Triangulation et export des coordonnées des facettes

Un fichier alphanumérique répertoriant les repères de nivellement IGN avec leurs écarts $\Delta_{\text{OrthoNormal}}$ et leur localisation géographique a été créé. Ce fichier a permis de générer (figure 6) avec le logiciel de topographie Covadis de la société Géomédia une triangulation par la méthode de Delauney (figure 6).

Recherche de la facette correspondant au point de semis considéré

Afin d'interpoler les écarts à l'intérieur d'une facette pour un point de levé quelconque, il faut préalablement identifier la facette qui contient ce point. Pour cela on procède de la façon suivante :

soit $M(x, y)$ le point de semis considéré et $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$, $C(x_C, y_C)$ les projections orthogonales sur le plan xy des trois points définissant une facette. Le point $M(x, y)$ est à l'intérieur du triangle ABC si et seulement si la somme des angles géométrique

(aigus) \widehat{AMB} , \widehat{BMC} et \widehat{CMA} est égale à 2π . Le point est à l'extérieur si et seulement si cette somme est strictement inférieure à 2π .

Détermination de l'angle \widehat{AMB} :

C'est l'angle entre les vecteurs \vec{MA} et \vec{MB} .

En notation complexe, on peut écrire :

$$\vec{MA} = x_{MA} \vec{MA} + iy_{MA} \vec{MA} = ||\vec{MA}|| e^{i\theta_{MA}}$$

$$\text{avec } \theta_{MA} = \text{Arc tan} \left(\frac{y_{MA}}{x_{MA}} \right) + k\pi$$

où $k=0$ si $x \geq 0$, $k=1$ si $x < 0$

et varie entre $-\pi/2$ et $3\pi/2$

On a de même

$$\text{avec } \theta_{MB} = \text{Arc tan} \left(\frac{y_{MB}}{x_{MB}} \right) + k\pi$$

où $k=0$ si $x \geq 0$, $k=1$ si $x < 0$

et varie entre $-\pi/2$ et $3\pi/2$

L'angle \widehat{AMB} est donc égal à $(\theta_{MB} - \theta_{MA})$ et peut varier entre -2π et $+2\pi$

On cherche un angle \widehat{AMB} aigu, et compris entre 0 et π . On ramène donc d'abord l'angle \widehat{AMB} trouvé à un angle compris entre 0 et 2π , et on prendra ensuite son complémentaire s'il est supérieur à π .

De la même manière, on peut calculer les angles aigus \widehat{BMC} et \widehat{CMA} et in fine la somme des trois angles \widehat{AMB} , \widehat{BMC} et \widehat{CMA} pour déterminer si le point M est à l'intérieur de la facette ABC.

En répétant ce calcul sur toutes les facettes, on trouvera la facette correspondant à notre point de semis considéré.

Calcul de la valeur z du point de la facette correspondant à notre point de semis.

Une fois la facette identifiée, il convient maintenant d'interpoler notre écart. Cette facette s'appuie sur trois valeurs d'écarts correspondants à trois repères de nivellement. Elle définit donc un plan de l'espace XYZ représentant une interpolation de ces trois écarts.

La facette est définie par ses trois points $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $C(x_C, y_C, z_C)$ et nous devons calculer la valeur z sur notre facette aux coordonnées x,y de notre point de semis. D'une façon plus générale, il s'agit de calculer la valeur z d'un point appartenant à un plan de l'espace, connaissant les coordonnées

■ ■ ■ x et y de ce point.

Un plan de l'espace peut être défini par un point et deux vecteurs. En ce qui nous concerne, nous disposons de 3 points distincts et non alignés. Notre plan P peut donc être défini par $(A, \overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC})$

Un point $M(x, y, z)$ est élément de P si M vérifie $\overrightarrow{AM} = k \overrightarrow{AB} + k' \overrightarrow{AC}$ avec k et k' réels.

On peut écrire les trois équations suivantes :

$$(a) \quad x - x_A = k(x_B - x_A) + k'(x_C - x_A)$$

$$(b) \quad y - y_A = k(y_B - y_A) + k'(y_C - y_A)$$

$$(c) \quad z - z_A = k(z_B - z_A) + k'(z_C - z_A)$$

et en déduire la valeur de z :

Si $x_B \neq x_A$

$$z = f(x, y) = \frac{(z_B - z_A)(x - x_A)}{(x_B - x_A)}$$

$$+ k' \left[\frac{(z_C - z_A) - \frac{(z_B - z_A)(x_C - x_A)}{(x_B - x_A)}}{(x_B - x_A)} \right] + z_A$$

avec

$$k' = \frac{(y - y_A)(x_B - x_A) - (x - x_A)(y_B - y_A)}{(y_C - y_A)(x_B - x_A) - (x_C - x_A)(y_B - y_A)}$$

Si $x_B = x_A$

$$z = (z_B - z_A) \frac{(y - y_A)(x - x_A)(y_C - y_A)/(x_C - x_A)}{(y_B - y_A)}$$

$$+ (z_C - z_A) \frac{(x - x_A)}{(x_C - x_A)} + z_A$$

Ainsi, pour chaque point de semis ou station de la base de données, on aura la correction $\Delta_{\text{OrthoNormal_INTERPOLE}}$ égale à la valeur z renvoyée par les équations ci-dessus.

La mise en œuvre de ces calculs (recherche de la facette et calcul de l'écart à appliquer au point x,y) est assurée par un programme développé en Visual Basic sous Autocad traitant l'ensemble de la base de données topographiques (volume au format DWG2000 de 740 Mo de données) en quatre

heures environ sur un ordinateur de type Pentium III Xéon 800Mhz avec 512Mo de Ram et toutes les données en local sur le poste.

Procédures de contrôle

Différents contrôles sont intervenus à différents niveaux de la chaîne de traitement afin d'assurer une qualité optimale sur la transformation réalisée.

- Dans un premier temps l'examen des écarts sur chaque repère de nivellement a permis d'éliminer après vérification auprès de l'IGN, ceux pour lesquels les altitudes normales et orthométriques ne semblaient plus en concordance : un écart trop important traduisant un mouvement probable du repère entre l'observation ancienne (orthométrique) et la détermination plus récente (normale).

- un deuxième contrôle a consisté à comparer les écarts de repères voisins pour déterminer si ces valeurs étaient compatibles avec la distance les séparant. Pour cela on a raisonné directement sur les facettes résultant de la triangulation de Delauney, la pente maximale sur une facette traduisant ce phénomène. Il s'agit de trouver la plus grande pente d'un plan P de l'espace (ou d'une facette) défini par trois points. On a vu précédemment que l'équation de P est $z=f(x,y)$

le gradient de cette fonction est

$$\overrightarrow{\text{grad } f} = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \vec{x} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \vec{y}$$

Dans le cas $x_B \neq x_A$ en posant

$$\alpha = \left[\frac{(z_C - z_A) - \frac{(z_B - z_A)(x_C - x_A)}{(x_B - x_A)}}{(x_B - x_A)} \right] \text{ on trouve :}$$

$$\overrightarrow{\text{grad } f} = \frac{z_B - z_A}{x_B - x_A} \vec{x} + \frac{y_B - y_A}{(y_C - y_A)(x_B - x_A) - (x_C - x_A)(y_B - y_A)} \vec{y}$$

et dans le cas où $x_B = x_A$ on trouve

$$\overrightarrow{\text{grad } f} = \frac{z_C - z_A}{x_C - x_A} \vec{x} + \frac{(y_C - y_A)(z_B - z_A)}{(x_C - x_A)(y_B - y_A)} \vec{y}$$

Les composantes $(\overrightarrow{\text{grad } f})_x$ et $(\overrightarrow{\text{grad } f})_y$ sont des constantes, puisqu'il s'agit d'une surface plane.

De la définition même du gradient d'une fonction, on peut écrire $dz = \overrightarrow{\text{grad } f} \cdot d\vec{M}$ où $d\vec{M}$ représente un vecteur déplacement en x, y

Avec $d\vec{M}$ un vecteur unitaire du plan xy tel que $d\vec{M} = \cos\theta \vec{x} + \sin\theta \vec{y}$

$$\frac{d(d_z)}{d\theta} = 0 \quad \text{on obtient} \quad d_z = (\overrightarrow{\text{grad } f})_x \cos\theta + (\overrightarrow{\text{grad } f})_y \sin\theta$$

La valeur d_z la plus grande s'obtiendra donc dans les directions de θ telle que

et on trouve la pente maximale égale à

$$\pm \left\{ (\overrightarrow{\text{grad } f})_x \cos(\text{Arc tan} \left[\frac{(\overrightarrow{\text{grad } f})_y}{(\overrightarrow{\text{grad } f})_x} \right]) + (\overrightarrow{\text{grad } f})_y \sin(\text{Arc tan} \left[\frac{(\overrightarrow{\text{grad } f})_y}{(\overrightarrow{\text{grad } f})_x} \right]) \right\}$$

Pour chacune des facettes ce calcul a mis en évidence celles présentant une pente trop importante et a permis de retirer trois nouveaux repères de nivellements.

- enfin, l'examen manuel du résultat de la conversion sur de nombreux points de semis et stations choisis

Après une large campagne d'information auprès des utilisateurs de ces données (internes et externes à la Mairie de Nice) sur ce changement de système altimétrique, la base a été mise en service. Aucun problème n'a depuis été rencontré et seules les altitudes normales sont enfin utilisées. Cette transformation, nous a permis de conserver un capital de données important sans dégradation significative de sa qualité. Elle nous ouvre de nouvelles perspectives en terme de précision et de productivité par la mise en œuvre de méthodes de travail modernes comme les techniques GPS appliquées au nivellement.

aléatoirement dans la base de données a permis de contrôler le bon fonctionnement du programme de conversion et de valider la cohérence des résultats obtenus.

Conclusion

Après une large campagne d'information auprès des utilisateurs de ces données (internes et externes à la Mairie de Nice) sur ce changement de système altimétrique, la base a été mise en service. Aucun problème n'a depuis été rencontré et seules les altitudes normales sont enfin utilisées. Cette transformation, nous a permis de conserver un capital de données important sans dégradation significative de sa qualité. Elle nous ouvre de nouvelles perspectives en terme de précision et de productivité par la mise en œuvre de méthodes de travail modernes comme les techniques GPS appliquées au nivellement.

Peu de témoignages sur ce type d'expériences existent en France. Aussi la conversion réalisée ici doit inciter les gestionnaires de bases de données topographiques demeurés dans des systèmes altimétriques anciens tels des collectivités territoriales, des services de l'Etat, des opérateurs de réseaux, ou des cabinets de géomètres à migrer dans le système IGN69 en vigueur. ●

Contacts

Ludovic ANDRES, Ingénieur en Chef,
Service Information Géographique -
Mairie de Nice,
3 rue de la Terrasse, 06364 NICE CEDEX 4
ludovic.andres@ville-nice.fr

Bernard Laugier :
bernard.laugier@ville-nice.fr

Denis Delerba :
denis.delerba@ville-nice.fr

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Henri Duquenne (ESGT) pour l'attention continue qu'il a porté à ce travail et les conseils et critiques qu'il m'a promulgué. Un grand merci également à mon collègue et ami Bernard Laugier ainsi qu'à son équipe pour la qualité de l'important travail réalisé

sur ce projet, et leur motivation permanente. Enfin je remercie M. Paul Bonnetain (IGN/SGN) qui a fait preuve d'une grande disponibilité et m'a communiqué d'importantes informations techniques ainsi que M. Michel Kasser (IGN) pour son soutien personnel.

Références

BONNETAIN, P., 1996, Le Réseau de Nivellement, Publication IGN Echanger - Zoom n°15

CRESSIE, N. A. C., 1991, Statistics for Spatial Data, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900 pp.

DRAPER, N., AND SMITH, H., 1981, Applied Regression Analysis, second edition, Wiley-Interscience, 709 pp.

DUQUENNE H., QGF98 - a new solution for the quasigeoid in France, Proceedings of the Second Continental Workshop on the Geoid in Europe. - Reports of the Finnish Geodetic Institute, M. Vermeer and J. Adam, editors, Masala, Finland.

IGN, 1993, Spécifications du Réseau Français de Nivellement de Précision, Document IGN - Annexe 2 - version 2.1

KASSER, M., 1984, Le Nivellement Général de France - Evolution d'un grand réseau de repères d'altitudes, Géomètre n°12

LEVALLOIS J.J. AND MAILLARD J., 1970, Le nouveau réseau de nivellement de 1^{er} ordre du territoire français, conséquences pratiques et scientifiques, IGN

MAILLARD, J., 1973, Note sur le nouveau système des altitudes Françaises IGN1969, Géomètre

NOCQUET, J.-M., DUQUENNE, H., BOUCHER, C., HARMEL, A., WILLIS, P., 2000, Conversion altimétrique RGF93-IGN69, CNIG- Groupe de Travail Permanent Positionnement Statique et Dynamique

LEE, D. T., AND SCHACHTER, B. J., 1980, Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation, International Journal of Computer and Information Sciences, v. 9, n. 3, p. 219-242

SIBSON, R., 1981, A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, Interpreting Multivariate Data, V. Barnett editor, John Wiley and Sons,

ABSTRACT

After a quick presentation of the different altimetric systems which have taken place in France, the use of the up to date IGN69 one is preconised. A methodology designed to preserve the data precision and involving the use of the Delaunay interpolation technique is proposed to convert a large land survey database from the former Lallemand altimetric system to the IGN69 system. Finally, extensive use of such processing strategies is encouraged in order to support the IGN69 system since this conversion process can easily be adapted to other land survey datasets.

Les systèmes géodésiques de référence dans l'exploration pétrolière

■ Bruno RAVANAS

Les activités de recherche et de production d'hydrocarbures font appel à un grand nombre de métiers au sein d'une compagnie pétrolière, parmi lesquels la topographie et la géodésie ne sont pas absentes. Les travaux de géodésie et topographie sont généralement sous-traités à des sociétés de services spécialisées, et l'auteur de cet article est en charge d'expertises géodésiques au sein de la "Direction Générale Exploration Production" du groupe TotalFinaElf. La localisation des études géophysiques et des travaux sur le terrain doit s'appuyer sur les réseaux géodésiques disponibles dans les divers pays du monde, lesquels peuvent être multiples dans une même région avec des précisions variables. Les problèmes de transformation de coordonnées entre référentiels géodésiques sont devenus majeurs avec l'utilisation des techniques de positionnement par satellites, d'abord avec le système TRANSIT utilisé dès les années 70, puis avec le GPS que les pétroliers utilisent depuis une quinzaine d'années. Cet article fait part de la constitution d'une base de données géodésiques mondiale par une collaboration des services topographiques des principaux pétroliers européens, laquelle peut être utilisée gratuitement par toute entreprise privée ou tout particulier intéressé.

■ MOTS CLES

Géodésie, Système d'information géographique, Exploration pétrolière, Positionnement satellite

Quel rapport y a-t-il entre la géodésie et le pétrole ?

Les travaux d'exploration pétrolière et de développement de champs de production font appel à des études géologiques, géophysiques, géotechniques à terre ou en mer, des travaux de forage et de génie civil, ainsi que des travaux d'implantation des infrastructures : plates-formes de production marines ou terrestres, pipelines etc... Tous ces travaux doivent être localisés et cartographiés de façon cohérente dans le temps, en s'appuyant dès le début de la chaîne sur des réseaux géodésiques homogènes et de précision bien identifiée.

Les pétroliers n'ont pas pour mission de se substituer aux services géographiques nationaux pour mettre en place ces réseaux ; ce n'est pas leur

métier et les services compétents nationaux des pays dans lesquels ils travaillent ont normalement pour mission de mettre à disposition l'infrastructure géodésique nécessaire. Cependant, il arrive souvent que les pétroliers prennent l'initiative de la constitution de réseaux géodésiques locaux dans les régions du monde qui en sont dépourvues, où dans lesquels la triangulation est trop ancienne, avec un grand nombre de bornes détruites. Pour cela, les pétroliers s'appuient si possible sur les compétences disponibles des services géographiques des pays explorés, ou bien sur des prestataires de service en géodésie capables de mobiliser des équipes très rapidement à l'étranger, comme c'est le cas en France avec la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) ou la société GEOÏD du groupe FUGRO.

Même lorsqu'un réseau géodésique national ou local existe déjà, l'opérateur pétrolier doit souvent faire exécuter, dès l'attribution d'un permis d'exploration par un état, des travaux de géodésie complémentaire pour tester la précision de l'infrastructure existante en planimétrie et altimétrie, et densifier cette infrastructure pour ses propres besoins.

Si les réseaux locaux de triangulation et de nivellement mis en place sur l'initiative des pétroliers n'ont pas toujours la même qualité que ceux établis par les services géographiques nationaux durant ces cinquante dernières années, l'activité pétrolière a parfois été le moteur de la mise en place de réseaux d'envergure nationale, comme le système "Nord Sahara 1959" établi par l'IGN en Algérie.



Topographie pétrolière au Sahara en 1960

On peut également citer le réseau de triangulation établi à partir de 1930 par les Britanniques, qui a donné naissance au "NAHRWAN Datum" ; ce réseau couvre l'ensemble du golfe persique et a son point origine sur la base irakienne de NAHRWAN, près de Bagdad ; il a été réajusté à diverses époques suivant les pays, et a ainsi donné naissance à plusieurs "Datums" locaux qui ont des dates spécifiques.

La réalisation de ces travaux peut également être le fruit d'une collaboration très étroite entre les pétroliers et les services nationaux ; ce fut le cas entre ELF, le Service Hydrographique de la Marine (SHOM) et l'IGN lors de la campagne tellurométrique effectuée dans les années 60 le long des côtes du Gabon et du Congo ; ce réseau s'appuie sur des points astronomiques de l'IGN, avec son origine à "Pointe Noire" observée en 1948.

Dans certains pays de la CEI, les données géodésiques et les cartes aux grandes échelles restent encore du domaine du secret militaire ; il n'est pas toujours possible aux pétroliers de

s'appuyer sur l'infrastructure existante, malgré les droits d'exploration attribués par ces états ; les pétroliers doivent alors refaire eux-mêmes les travaux géodésiques et cartographiques détaillés.

Toute personne sait à la sortie de l'école ce qu'est un système de coordonnées...

Le monde de l'exploration pétrolière regroupant une multitude de métiers bien éloignés de la topographie, il faut sans cesse combattre l'idée fausse, largement répandue chez les géologues, géophysiciens, foreurs, constructeurs, producteurs d'hydrocarbures et un grand nombre de fournisseurs de documents cartographiques, idée selon laquelle "les coordonnées géographiques (Longitude, Latitude) sont universelles, et les coordonnées rectangulaires (X, Y) sont propres à chaque région" ; c'est l'un des combats permanents du service topographique et cartographique de la direction "Géosciences"

Dans certains pays de la CEI, les données géodésiques et les cartes aux grandes échelles restent encore du domaine du secret militaire ; il n'est pas toujours possible aux pétroliers de s'appuyer sur l'infrastructure existante, malgré les droits d'exploration attribués par ces états ; les pétroliers doivent alors refaire eux-mêmes les travaux géodésiques et cartographiques détaillés.

du groupe TotalFinaElf (TFE)

Les marins en font d'ailleurs tous les jours l'expérience en constatant que les coordonnées géographiques obtenues avec leur récepteur GPS ne correspondent pas avec les coordonnées de leurs cartes détaillées des chenaux d'accès, lesquelles n'ont généralement pas encore été ré-éditées dans le système géodésique mondial WGS-84 (World Geodetic System 1984) attaché au système de localisation par satellites GPS.

En dehors de ses activités principales de maître d'ouvrage des travaux de géodésie, de topographie, d'hydrographie et de localisation marine, le service Topo-Carto de TFE a pour mission de qualifier la précision relative des coordonnées chargées dans les diverses bases de données propres aux études de sol et à tous les travaux "géoréférencés". Les nouveaux logiciels d'interprétation géophysique utilisent maintenant des bases de données dans lesquelles toutes les coordonnées planimétriques locales sont converties dans le système de référence mondial WGS-84 (ITRFxx pour les connaisseurs...) Ce référentiel mondial est généralement adopté pour les études régionales à cheval sur plusieurs pays ou plusieurs régions, lesquelles ont été initialement cartographiées dans des géodésies différentes.

A la jonction entre des régions ayant des géodésies locales différentes, il est alors nécessaire d'évaluer également la précision absolue des coordonnées planimétriques stockées en base de données dans le datum WGS-84. Les



mission géodésique pour TOTALFINAELF-RUSSIE dans le cercle arctique en 2001

Systèmes d'Information Géographique (SIG) utilisés dans l'amont pétrolier doivent permettre des conversions de coordonnées rectangulaires ou géographiques exprimées dans des systèmes de référence différents, et une évolution est actuellement en cours chez les grands producteurs de SIG à vocation plus générale pour répondre à ces mêmes besoins chez d'autres utilisateurs.

Quant à l'altimétrie et à la définition des diverses surfaces de références utilisées dans les études géophysiques, bathymétriques, ou dans les mesures de profondeur de forages, ce sujet mériterait un développement trop long qui sort du cadre de cet article ; Il ne sera donc pratiquement pas abordé dans ce papier.

Le lecteur de XYZ que vous êtes a probablement des notions de base en géodésie, a peut-être consulté l'histoire des 300 ans géodésie française écrite par J.J. Levallois dans son remarquable ouvrage intitulé : "Mesurer la Terre", lequel a été publié sous l'impulsion de l'AFT en 1988. Dans ce cas, il a connaissance des grands travaux exécutés par les géodésiens français, depuis la Méridienne de Picard en 1669 -1671 jusqu'à l'établissement du RGF93 par l'IGN à la fin du 20^e siècle ; il n'ignore pas les triangulations des générations de Cassini, les épopées héroïques au Pérou et en Laponie au 18^e siècle pour démontrer l'aplatissement de la terre, la Méridienne de Delambre et Méchain pour définir le système métrique, la triangulation des Ingénieurs Géographes établie pour la carte "d'Etat Major", puis la constitution de la NTF et des réseaux de nivellement Lallemand et IGN-69 établis par le SGA et l'IGN au



Topographes en action pour ELF GABON en 1992

cours du siècle dernier.

Cependant, malgré ces connaissances pour les initiés, il est nécessaire de rappeler et de préciser pour les autres que, à tout jeu de coordonnées géographiques ou rectangulaires d'un point à la surface de la terre est attaché un ensemble de références géodésiques, à savoir :

1 - Un système géodésique de référence (dit Datum ou Référentiel), qui correspondait, avant la constitution des référentiels mondiaux, à l'origine (point fondamental) où sont fixées les coordonnées géographiques observées par l'astronomie ; ce point est par définition le seul lieu où la direction de la verticale est confondue avec la normale à l'ellipsoïde sélectionné. Ce point est par exemple la croix du Panthéon pour la NTF française, Potsdam pour le Datum européen ED-50 et l'observatoire de PULKOVO près

de Saint Petersburg pour le datum PULKOVO 1942 (triangulation couvrant la Russie et l'ensemble de l'ex-URSS).

Par extension, un Datum est un ensemble de points géodésiques appartenant à un réseau homogène. La position d'un point peut donc être exprimée par divers jeux de coordonnées géographiques (Lat., Long.), dont les valeurs précises en degrés peuvent diverger jusqu'à une minute, c'est-à-dire de plus d'un kilomètre en coordonnées rectangulaires, en fonction du Datum auquel elles se rapportent. L'exploration pétrolière utilise environ 300 Datums de couverture nationale ou régionale, et de nombreux référentiels locaux non officiels qui reposent sur une origine définie par un point astronomique "expédié". Chaque fois que des travaux d'exploration ont été exécutés sans rattachement à un référentiel

En 1978, le lancement du premier satellite GPS ouvre une ère nouvelle dans le domaine de la radiolocalisation ; les pétroliers s'investissent alors dès le début des années 80 dans l'utilisation de ce nouveau système promis à un brillant avenir. Le GPS est largement utilisé pour tous les travaux d'exploration bien avant sa déclaration de mise en service officielle initiale par le Département de la Défense américaine (DOD) en 1993, puis sa mise en service complète avec 24 satellites en 1995. Il faut alors "jongler" avec un nouveau système géodésique mondial, le WGS-84, qui est associé au système GPS ; le WGS-84 a été également utilisé par les satellites TRANSIT à partir de 1989.

Exemples de différents systèmes de référence sur un même champ pétrolier

- **BONGKOT** (Thaïlande)
datums: INDIAN 1954 - WGS 72 - INDIAN 1975 (SALA PIER) - WGS84
INDIAN 1975 (RTSD 181) - ITRF
- **TIERRA DEL FUEGO** (Argentine)
datums: HITO 18 - INCHAUSPE - PUNTA QUILLA - TAPI AIKE - WGS 72 - WGS 84 - ITRF
- **NEUQUEN** (Argentine)
datums: CHOS MALAL 1914 - INCHAUSPE 1969 - WGS 72 - WGS 84 ITRF
- **NORTH FIELD** (Qatar) et **SOUTH PARS** (Iran)
datums: NAHRWAN QATAR – Q.N.G. - Final Datum 1958 - ED 50 et 77 WGS 72 - WGS 84 - ITRF
- **SIRRI** (Iran)
datums: NAHRWAN (FATEH) - SOFIRAN 1966 - ED 50 et 77 - WGS 84

officiel (pour des causes variées...) un Datum local a été créé par le topographe de chantier.

2 - Un ellipsoïde, qui est une surface mathématique sur laquelle sont effectués les calculs des coordonnées géographiques à partir du point fondamental. Un Datum fait généralement référence à un ellipsoïde. Plusieurs Datums d'un même pays peuvent utiliser le même ellipsoïde ; c'est souvent le cas en Amérique du Sud où un grand nombre de datums utilisent le même ellipsoïde International 1924 défini par HAYFORD en 1909. Il existe une quarantaine d'ellipsoïdes utilisés dans le monde, dont 8 définitions différentes de l'ellipsoïde de CLARKE, et 5 versions différentes du "CLARKE-1880" qui sont utilisées dans les divers pays.

3 - Un système de projection, qui est une transformation mathématique permettant de convertir des coordonnées géographiques sur un ellipsoïde donné en coordonnées rectangulaires sur un plan. Il existe une dizaine de grands types de projection, et une grande variété à l'intérieur des types. On trouve dans l'exploration pétrolière une multitude de systèmes de projection, les paramètres utilisés pour chacun des types ayant souvent été sélectionnés sur une étude particulière par le topographe de chantier pour des raisons particulières : système national non

adapté aux besoins ou à l'échelle d'une étude locale, méconnaissance ou inexistence d'un système officiel dans la région, confidentialité des coordonnées, etc...

4 - Une définition d'un système altimétrique avec son point fondamental, et le type d'altitude utilisé : orthométrique ou normale.

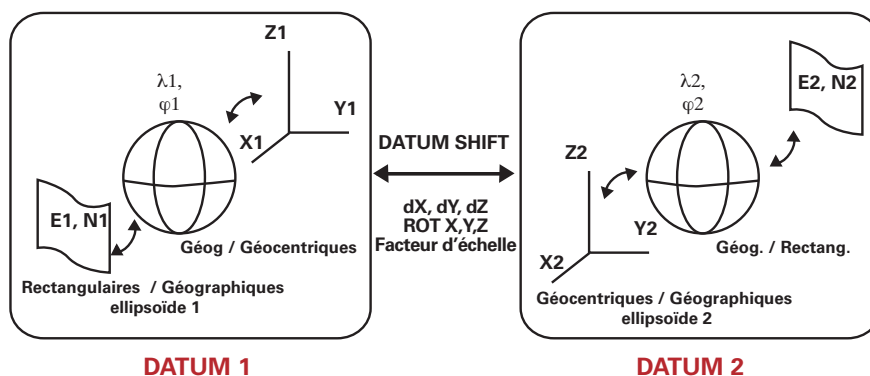
A l'exception des pays de l'ex-URSS où les paramètres des systèmes de projection utilisés aux grandes échelles font souvent parti du secret militaire, 80% des problèmes de coordonnées rencontrés dans l'exploration pétrolière sont des problèmes d'identification de référentiel et de transformation de Datums entre eux, et non pas des problèmes de projections.

Les problèmes de référentiels sont

devenus majeurs avec l'utilisation des nouvelles techniques de positionnement par satellites, dont l'industrie pétrolière a été l'une des premières utilisatrices. Le système Doppler NNSS (Navy Navigation Satellite System), plus connu sous le nom de "TRANSIT", fut développé dès 1958 pour le compte de la marine américaine afin d'offrir un soutien aux sous-marins Polaris ; il devient opérationnel militairement en 1964, et un code est mis à la disposition des civils en 1967 ; le système TRANSIT est largement utilisé dans l'exploration pétrolière dans les années 70 et 80, aussi bien pour des travaux de localisation marine que pour des travaux de géodésie. Le besoin est alors apparu de convertir dans les référentiels géodésiques régionaux les positions TRANSIT exprimées dans les premiers référentiels mondiaux WGS-66, NWL-9D, WGS-72, WGS72 Broadcast Ephemeris.

En 1978, le lancement du premier satellite GPS ouvre une ère nouvelle dans le domaine de la radiolocalisation ; les pétroliers s'investissent alors dès le début des années 80 dans l'utilisation de ce nouveau système promis à un brillant avenir. Le GPS est largement utilisé pour tous les travaux d'exploration bien avant sa déclaration de mise en service officielle initiale par le Département de la Défense américaine (DOD) en 1993, puis sa mise en service complète avec 24 satellites en 1995. Il faut alors "jongler" avec un nouveau système géodésique mondial, le WGS-84, qui est associé au système GPS ; le WGS-84 a été également utilisé par les satellites TRANSIT à partir de janvier 1989.

Datum, Ellipsoïde et Projection



Les Datums régionaux diffèrent généralement de plusieurs centaines de mètres des Datums globaux WGS-72 et WGS-84 ; ils peuvent également différer entre eux de plusieurs centaines de mètres. Les réseaux locaux établis jadis par les pétroliers sur des zones isolées sont souvent difficiles à identifier et à convertir en WGS-84, car cette étude se fait souvent vingt, trente ou cinquante ans après leur établissement sur le terrain. Les anciens points géodésiques ont souvent été détruits, ce qui empêche tout rattachement précis de l'ancien réseau local au réseau international ITRF (International Terrestrial Reference Frame), lequel est la réalisation civile précise du réseau militaire américain original ayant donné naissance au système WGS84.

Une base géodésique mondiale sur Microsoft ACCESS disponible sur le Web

Des bases de données géodésiques sont entretenues depuis de nombreuses années chez les "majors" pétroliers, qui inventorient à travers le monde toutes les références géodésiques dont ils disposent. Mais les nombreux échanges entre compagnies de documents cartographiques et de coordonnées rectangulaires ou géographiques s'accompagnent très souvent de difficultés rela-

tives à l'identification des systèmes géodésiques attachés à ces données, qui est trop souvent absente.

En 1986, sur l'initiative des services topographiques de ELF AQUITAINE et TOTAL, les services topo. de huit sociétés pétrolières européennes se sont réunis pour la première fois à Paris pour mettre en place une organisation permettant des échanges sur les expériences communes des ingénieurs topographes pétroliers, à commencer par le partage des références géodésiques utilisées par chacun sur les divers théâtres d'opération. Il est alors décidé que les informations géodésiques disponibles, et parfois particulières à chaque société, ne doivent pas faire parti du domaine concurrentiel ou confidentiel, et qu'il est dans l'intérêt de tous d'homogénéiser les références cartographiques utilisées par un opérateur avec celles des autres opérateurs dans un même pays.

Ce fut ainsi l'origine de l'European Petroleum Survey Group (EPSG), association informelle sans statut et sans budget de fonctionnement spécifique, qui comprend maintenant 11 "Pétroliers" européens se réunissant 2 fois par an. Diverses expériences sont échangées au cours de ces réunions, comme l'utilisation des nouvelles techniques satellites, acoustiques ou inertielles pour le positionnement des acquisitions sismiques terrestres ou marines, des levés topographiques ou hydrographiques, l'évolution des spécifications techniques des contrats, les qualifications des prestataires de services, etc...

Une organisation sœur a été créée en 1997 sous le nom de APSG (American Petroleum Survey Group) avec les mêmes objectifs. Ces deux associations ont des liens par les biais des "majors" qui sont représentés dans chacune d'entre elles, et l'"Américaine" bénéficie de l'expérience et des travaux passés de l'"Européenne" ; comme quoi les Européens peuvent devancer les Américains !

Des tables Excel ont été élaborées par certains membres de l'EPSG dès le début des années 90, qui regroupent les données de chaque société sur l'identification des référentiels géodésiques,

les ellipsoïdes et les systèmes de projection utilisés dans le monde.

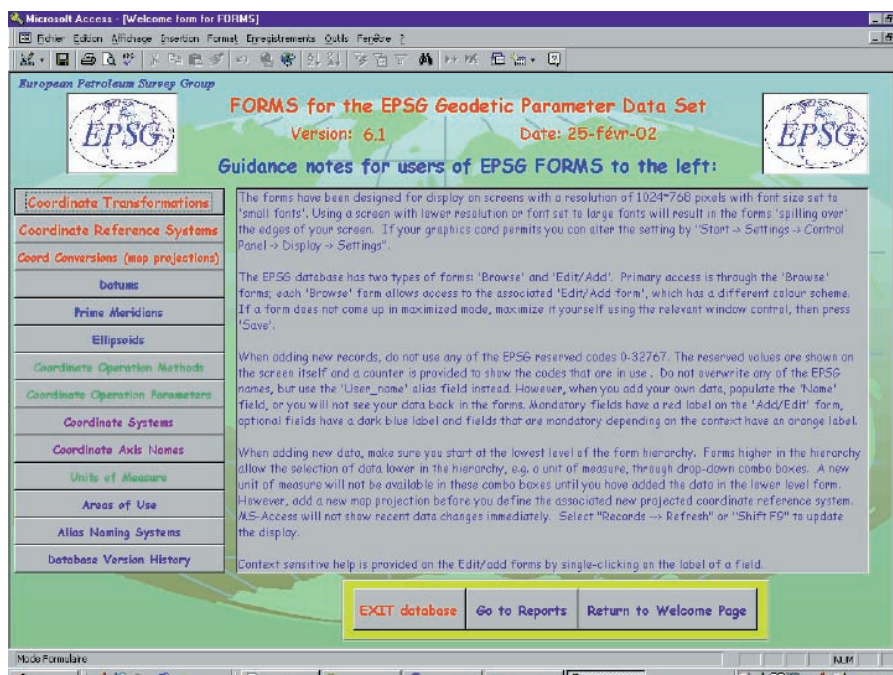
Un groupe de travail de l'EPSG appelé "EPSG Geodetic Working Group", qui est composé de 6 personnes de nationalités diverses et dont je fais actuellement partie, a pour mission de développer et maintenir une base de données géodésiques sur le logiciel Microsoft ACCESS, en collectant régulièrement tous les systèmes de coordonnées ayant un intérêt national ou régional susceptible d'intéresser l'industrie pétrolière. Naturellement, il ne nous est pas possible d'inventorier les innombrables systèmes d'intérêt régional ou local existant dans tous les pays du monde, mais cette base s'enrichit en permanence de nouvelles données que nous récupérons auprès des services cartographiques nationaux, et des enquêtes que nous effectuons dans les pays où nous avons la possibilité d'opérer.

L'EPSG a décidé de mettre cette base de données privée à la disposition de tous les professionnels de la topographie, des fournisseurs de logiciels cartographiques et SIG divers (Systèmes d'Informations Géographiques), ainsi qu'à tous ceux qui sont amenés à exercer des activités à l'étranger dans ce domaine. Cette base n'est pas commercialisée ; elle n'a aucun caractère de service public comme les informations fournies directement par les services géographiques nationaux. La responsabilité de l'EPSG ne saurait être engagée par d'éventuelles données erronées que sa base pourrait contenir. Vous pouvez la télécharger gratuitement sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.epsg.org/>

Pour alimenter régulièrement cette base, L'"EPSG Geodetic Working Group" est relation avec l'ensemble des sociétés pétrolières mondiales et avec des organismes tels que la NASA ou la DMA américaine (Defense Mapping Agency), qui a été rebaptisée NIMA (National Imagery & Mapping Agency) ces dernières années. Cette base est utilisée par des fabricants de logiciels spécialisés dans l'exploration pétrolière, mais aussi par des producteurs de SIG à vocation plus générale tel que ESRI, qui l'utilisera dans sa prochaine version de ARCVIEW 8.



Campagne sismique dans les marigots



La version 6.1 de la base EPSG actuellement disponible sur le Web comprend :

- 303 référentiels géodésiques (Datums) avec leur origine, leur ellipsoïde associé, la date probable d'établissement du réseau géodésique associé, et le pays et/ou la zone d'utilisation. La recherche des Datums peut se faire par nom de Datum, par synonyme de Datum, par pays ou région (nom anglais)
- 785 jeux de paramètres de transformations entre systèmes de référence (Datum Shift ou Coordinates Transformations), qui peuvent être des jeux à 3, 7 ou 10 paramètres suivant qu'il s'agit d'une transformation de Molodenski, de Helmert (Bursa Wolf) ou de Badekas Molodenski. Les transformations polynomiales publiées par les services géographiques nationaux sont également inventoriées. Il peut exister plusieurs jeux de paramètres de transformation différents entre 2 Datums, en fonction de la précision, liée à la date à laquelle ont été réalisés les travaux géodésiques qui ont permis le calcul de ces paramètres ; ces divers jeux de transformation sont conservés en mémoire pour permettre des analyses sur les travaux passés. La recherche peut se faire par pays, par nom de datum ou synonyme.
- 898 systèmes de projection (map projections) ; recherche par types de projections.
- 1836 systèmes de coordonnées (Coordinates Reference Systems ou CRS), qui sont des associations de Datums et de projections, lesquelles

sont utilisées dans les divers pays inventoriés dans la base. La recherche de ces systèmes peut se faire par pays/régions ou par datum.

- 38 définitions d'ellipsoïdes avec leurs paramètres.
- 13 méridiens origines (prime Meridians) avec leur écart en longitude par rapport à Greenwich
- 62 unités de mesures linéaires ou angulaires avec leur conversion dans le S.I.
- 57 méthodes de transformations de coordonnées (Coordinates Operation Methods), qui décrivent les algorithmes de transformations de Datums, de projection, et de certains systèmes de coordonnées spécifiques (grilles des concessions pétrolières)
- 1546 pays ou régions d'utilisation (Areas of Use) d'un système de coordonnées.

Cette base de données géodésiques constitue à ma connaissance la plus importante base géodésique civile de couverture mondiale qui soit disponible gratuitement en quelques clics de souris sur Internet. Les utilisateurs sont invités à fournir des commentaires et à proposer des demandes de modifications ou ajouts de données manquantes en utilisant le formulaire (Information Request) prévu à cet effet sur le site internet : <http://www.epsg.org>

Toute demande de modification ou d'ajout de données est contrôlée par recouplement avec d'autres sources d'information, avant d'être incluse dans la base.

Le lecteur français que vous êtes peut également s'adresser à moi-même pour toute requête, en m'envoyant un courrier électronique à l'adresse suivante : bruno.ravanas@totalfinaelf.com ●

Contact

par Bruno Ravanais,
ingénieur géomètre ESTP (IG71)
bruno.ravanas@totalfinaelf.com

ABSTRACT

The activity of hydrocarbon exploration & production within an oil company require a large number of specialised jobs including geodesy and topography. This topographic activity is usually sub-contracted out to dedicated service companies, and the author of this paper belongs to the Exploration and Production division of TotalFinaElf, the french oil company. The localization of geophysical studies and field work must be referenced to the geodetic networks available in the various countries of the world. There can be various geodetic systems in the same area with some variable accuracy. Problems of geographical coordinates transformation between reference geodetic frameworks became important with the use of satellite positioning techniques, first using the TRANSIT satellite system during the 1970's and 1980's, then with GPS, used now for about fifteen years in the oil industry. This paper announces the constitution of a world geodetic database by an association of the main European oil companies, which can be used free of charge by any private company or any interested private individual.

KEY WORDS

Geodesy, Geographic information system, Oil exploration, Satellite positioning

L'expédition Baudin en Australie 1800 - 1804

■ Jean BOURGOIN - Etienne TAILLEMITE

Nicolas Baudin est chargé par Bonaparte, en 1800, de diriger une expédition scientifique de découvertes en Australie, avec un état-major d'une vingtaine de savants de toutes disciplines. Au prix de grands risques et de grands efforts, de nombreux morts et malades, de nombreuses désertions, la moisson des résultats est exceptionnelle. Pour ce qui concerne l'hydrographie et la cartographie, la mission Baudin a couvert l'énorme périmètre des côtes inhospitalières de l'ouest et du sud de l'Australie, jusqu'à Sydney, en mettant scrupuleusement en œuvre la doctrine de Beautemps-Beaupré. Baudin est mort de phtisie et d'épuisement, à l'Ile de France, le 16 septembre 1803, lors du voyage de retour.

"Je n'ai pas appris la mer dans les écoles, ni la science naturelle dans les laboratoires. J'ai traversé les océans sur des navires marchands, et je suis allé ramasser moi-même des plantes aux Amériques et en Nouvelle-Hollande". Nicolas Baudin

Regard sur la vie d'un navigateur méconnu

■ Un contexte politique délicat.

Le 19 octobre 1800, deux navires de la marine de l'Etat, le *Géographe* et le *Naturaliste* quittent le Havre pour un long voyage scientifique qui va les conduire à explorer une grande partie des côtes de l'Australie. Curieusement, le chef de cette expédition n'est aujourd'hui connu en France que de quelques spécialistes alors qu'il est fort célèbre en Australie où plusieurs travaux historiques lui ont été consacrés. La toute récente publication de son journal de voyage, inédit en France jusqu'à ce jour, et l'anniversaire de son départ, constituent de bonnes occasions de rappeler les multiples épisodes d'un périple marqué par de nombreuses difficultés et véritables drames, mais qui apporta néanmoins un bilan scientifique considérable dans divers domaines.

La seconde moitié du XVIII^e siècle avait donné lieu à l'organisation de nombreux voyages de découverte, en France et en Angleterre, dont les plus connus furent ceux de Cook, de Bougainville, Lapérouse, et D'Entrecasteaux. Ce dernier avait reconnu à la fin de 1792 et au début de 1793 la partie occidentale de la côte sud de l'Australie, du cap Leeuwin au cap des Adieux, et le canal qui porte son nom au sud de Van Diemen (Tasmanie). Ils avaient fait faire d'énormes progrès à la géographie de l'océan Pacifique, encore peu exploré. En France, les troubles révolutionnaires et les guerres extérieures avaient évidemment interrompu ce genre d'expédition et il fallut attendre 1798 pour qu'un navigateur, Nicolas Baudin, récemment intégré dans la marine de la République (5 août 1798), avec le grade de capitaine de vaisseau, présente au ministre un ambitieux projet de voyage de circumnavigation dans le

Pacifique, malgré une conjoncture défavorable. Le Directoire avait d'autres soucis et, bien qu'appuyé par les naturalistes Jussieu et Lacépède, le projet n'aboutit pas faute de crédit. L'avènement de Bonaparte créait des conditions nouvelles et Baudin, le 7 mars 1800, présentait un autre programme encore plus ambitieux, axé sur la recherche en sciences naturelles. Accompagné d'une délégation de membres de l'Institut, il est reçu par le Premier consul Napoléon Bonaparte, au palais des Tuileries, en présence du ministre de la marine, Forfait. Fort de son expérience acquise en Extrême-Orient, dans les mers du sud et aux Antilles, il lui explique l'intérêt qu'il y aurait à rattraper l'énorme retard pris par la France dans le domaine scientifique, notamment dans celui des sciences naturelles, à la suite des événements de la Révolution. Bonaparte accepte le principe de l'expédition projetée en Nouvelle-Hollande (Australie), mais en réduit considérablement l'ampleur.

Le ministre de la marine Forfait, en s'appuyant sur les connaissances déjà acquises par les Anglais et d'Entrecasteaux, fixe comme objectif au commandant Baudin une reconnaissance détaillée des côtes du sud-ouest, de l'ouest et du nord de la Nouvelle-Hollande. Compte tenu des conditions météorologiques, il lui recommande de commencer ses travaux cartographiques par le sud et de ne pas s'y attarder au-delà de la fin du mois de juin. Après les échecs de Cook et Vancouver pour gagner l'Extrême-Orient par le passage du nord-ouest, et les difficultés opposées aux navigateurs par la route à contre-mousson pour atteindre la Chine, l'intérêt s'est porté sur le contournement par le sud de l'Australie pour se rendre à Canton. C'est dire l'importance des parages sud de l'Australie, et de la Tasmanie, où Baudin est chargé de s'informer minutieusement des implantations anglaises dans la région. C'est

aussi pourquoi, dès l'arrivée du *Géographe* à Port Jackson (Sydney) (20 juin 1802), François Péron, géologue de l'expédition, écrit au ministre de la marine pour l'informer de l'état de la colonie britannique et des défenses naturelles de Port Jackson, le "plus beau port du monde".

■ Qui était Nicolas Baudin ?

Qui était Nicolas Baudin ? Né à Saint-Martin de Ré dans l'île de Ré le 19 février 1754, dans une famille de négociants, il avait parcouru une carrière en zigzag. D'abord volontaire sur un vaisseau du roi en 1775, il fait une campagne dans l'océan Indien qui le mène jusqu'à Pondichery où il prend du service à terre et est nommé lieutenant. Rentré en France l'année suivante, il sert comme officier auxiliaire dans la marine royale au début de la guerre d'Amérique mais ne réussit à se faire intégrer dans le corps des officiers de vaisseau qu'en 1786 pour donner aussitôt sa démission et aller en Louisiane où il affrète un navire à destination de l'Île de France. Lors d'une escale au Cap, au début de 1787, Baudin rencontre le jardinier en chef de l'empereur Joseph II, Franz Boos, qui recherche des plantes exotiques pour les jardins de Schönbrunn et l'em-mène à l'Île de France où ils se lient avec le botaniste Céré. Désormais, Baudin va donner libre cours à son goût pour cette discipline. Après un court voyage de traite négrière au Mozambique, il quitte Port Louis en décembre 1787 pour aller porter à Trieste le produit des collectes de Boos et passe alors au service de l'Autriche. En 1789, il reçoit le commandement de la Jardinière qui, comme son nom l'indique, doit aller chercher des plantes, en Extrême-Orient.

Naufragé aux îles Mariannes, dans le Pacifique, il regagne l'Europe sur un navire espagnol et est nommé en 1791, capitaine de vaisseau dans la marine autrichienne. Il repart alors sur une nouvelle Jardinière pour chercher des végétaux dans l'océan Indien. Après avoir touché les côtes occidentales de l'Australie, il revient vers le golfe Persique et fait à nouveau naufrage près du cap de Bonne Espérance. Rentré en France en 1795, il prend contact avec le Museum d'histoire naturelle et propose à l'amiral Truguet, ministre de la marine, divers projets d'expéditions scientifiques. En septembre 1795, il part pour un voyage botanique aux Antilles, fait encore naufrage aux Canaries, mais revient en 1797, rapportant une collection importante de végétaux qui lui vaut les félicitations des savants du Museum.

■ La Nouvelle-Hollande (Australie) en 1800.

Que connaissait-on de l'Australie en 1800 ?

Les Hollandais, dans la première moitié du XVII^e siècle, avaient aperçu, de loin en général, les côtes nord-ouest, ouest et sud-ouest de l'Australie, en leur donnant les noms des découvreurs : Arnheim, Witt, Endracht, Edels, Leeuwin, Nuyts. Nuyts, qui s'était engagé loin dans l'est de la côte sud, avait fait de l'Australie une avancée du continent austral. En 1642, le gouverneur général des Indes hollandaises, Van Diemen, envoie son agent Abel Tasman en reconnaissance. Débordant la Terre de Van Diemen (Tasmanie) et la Nouvelle-Zélande par le sud, il apporte la confirmation de l'insularité de l'Australie. L'espagnol Torres avait déjà, en 1606, montré la séparation de l'Australie de la Nouvelle-Guinée par le détroit qui porte son nom. James Cook reconnaît en 1770 la côte orientale, avant que soit fondée la colonie pénitentiaire de Port Jackson (Sydney) en 1788. D'Entrecasteaux, à la fin de 1792, reconnaît la partie occidentale de l'Australie, du cap Leeuwin au cap des Adieux (Terre de Nuyts). La première circumnavigation de la Terre de Van Diemen est effectuée par M. Flinders et Bass entre le 7 octobre 1798 et le 12 janvier 1799, à partir de Port Jackson.

■ Une expédition soigneusement préparée.

Une telle expédition avait besoin d'être soigneusement préparée et ce fut le cas. L'Institut de France, récemment créé pour remplacer les anciennes académies supprimées par la Convention, joua un rôle déterminant en créant à cet effet une commission comprenant la fleur des savants de l'époque : Lacépède, Jussieu, Laplace, Cuvier, Bougainville, Fleurieu, Bernardin de Saint-Pierre, et quelques personnalités moins célèbres. C'était la première fois, dans l'histoire des voyages de découvertes, qu'était mis à contribution un tel nombre de sommités scientifiques, chargées de préparer les instructions qui seraient données au chef de l'expédition. Une autre originalité fut l'importance nouvelle accordée aux ■■■

Une telle expédition avait besoin d'être soigneusement préparée et ce fut le cas. L'Institut de France, récemment créé pour remplacer les anciennes académies supprimées par la Convention, joua un rôle déterminant en créant à cet effet une commission comprenant la fleur des savants de l'époque : Lacépède, Jussieu, Laplace, Cuvier, Bougainville, Fleurieu, Bernardin de Saint-Pierre, et quelques personnalités moins célèbres. C'était la première fois, dans l'histoire des voyages de découvertes, qu'était mis à contribution un tel nombre de sommités scientifiques, chargées de préparer les instructions qui seraient données au chef de l'expédition.

préoccupations anthropologiques. Dans le mouvement qui se développait alors de reconstitution des sociétés savantes, était née une "Société des observateurs de l'Homme", qui confia au baron Joseph-Marie de Gérando le soin d'établir un programme à l'usage des jeunes ethnographes pour l'observation des populations rencontrées au cours de leurs campagnes et leur représentation picturale.

Pour mener à bien un programme complexe englobant des disciplines scientifiques variées, il importait de prévoir des navires robustes et une équipe aussi étoffée que judicieusement choisie. En ce qui concernait les navires, le choix se porta sur deux corvettes, la *Galathée* et la *Menaçante*, que l'on s'empessa de rebaptiser respectivement le *Géographe* et le *Naturaliste* pour bien mettre en évidence le but purement scientifique de la mission.

De construction récente, avec une coque doublée en cuivre, déplaçant environ 1 000 tonnes, les deux navires avaient des performances différentes, le *Géographe* étant plus rapide que le *Naturaliste*, ce qui eut des conséquences fâcheuses, aussi bien dans les transits sur longue distance, qu'en hydrographie. Les deux navires reçurent, pour tenir compte des expériences acquises lors des grands voyages précédents, des aménagements spéciaux pour stocker dans les meilleures conditions possibles les collections d'histoire naturelle que l'on comptait rapporter.

L'une d'entre elles était d'ailleurs réservée à l'épouse du Premier Consul pour enrichir son parc de la Malmaison. On apporta également un soin particulier aux approvisionnements de tous genres, vivres et matériel, comme on peut s'en convaincre en lisant le journal du commandant Baudin. Les équipements étaient aussi complets que le permettaient les techniques de l'époque, et comprenaient notamment un alambic pour distiller l'eau de mer et la rendre potable.

Pour diriger une telle campagne qui devait durer de longs mois, le choix du capitaine de vaisseau Nicolas Baudin était-il judicieux ? Certes, il avait pris l'initiative de l'expédition et il était difficile de lui en contester le commandement, mais sa carrière antérieure constituait un sérieux handicap psychologique vis-à-vis de ses subordonnés. Autodidacte, naturaliste amateur, il avait beaucoup navigué mais, tout juste intégré

dans le corps de la marine, il ne pouvait manquer d'être considéré comme un "parachuté" et aucun grand corps de l'Etat n'apprécie en général ce genre de promotion qu'on qualifie pudiquement aujourd'hui de "tour extérieur". Baudin n'avait appartenu ni à la marine royale, ni à celle de la révolution et l'essentiel de ses services s'était accompli sous pavillon étranger, ennemi de surcroît. Il lui aurait donc fallu beaucoup de diplomatie pour se faire accepter de ses subordonnés. Malheureusement, le commandant du *Géographe* était tout à fait dépourvu de cette qualité. Tous les témoignages concordent sur la nature entière, autoritaire et glacée, rancunière, de son caractère. Les officiers, les équipages et les "savants" lui reprochèrent son entêtement, son absence de compassion aux souffrances de l'équipage, son indifférence aux précautions d'hygiène, la réalisation d'un grand programme scientifique sous une forte pression. Le jeune astronome Pierre Bernier, exemplaire dans sa conduite, écrivait de lui : "grave et solitaire, il repoussait tout le monde par ses manières brusques et malhonnêtes".

Le commandant du *Naturaliste*, le capitaine de frégate Emmanuel Hamelin, était heureusement d'un naturel plus agréable et sut faire régner à son bord une atmosphère d'ordre, de discipline, mais aussi de fraternité, qui contrastait avec l'aigreur qui ne cessa de s'exprimer sur le *Géographe*.

Les officiers, officiers marins et équipages avaient été choisis avec un soin extrême (on y remarquait notamment le jeune Bougainville, frais émoulu de l'école polytechnique). Il en allait de même des vingt-deux savants civils, dont deux astronomes, deux ingénieurs géographes, un ingénieur du génie maritime, cinq zoologistes (dont le zoologiste et médecin François Péron, élève de Cuvier), trois botanistes et trois dessinateurs chargés de constituer un véritable reportage sur les pays visités. De cet état-major d'une soixantaine de personnes pour les deux navires, se détachaient particulièrement les noms suivants : les frères Louis et Henri de Freycinet ; J.C. Bailly (X1796), minéralogiste ; P.F. Bernier (X1794), astronome, mort en campagne ; H. Bougainville (X1799), aspirant ; Ch. P. Boulanger (X1794), ingénieur géographe ; X. Faure (X1795), ingénieur géographe ; Cl. Leschenault, botaniste ; Ch. Lesueur, peintre d'histoire naturelle ; François Péron, zoolo-

Pour diriger une telle campagne qui devait durer de longs mois, le choix du capitaine de vaisseau Nicolas Baudin était-il judicieux ? Certes, il avait pris l'initiative de l'expédition et il était difficile de lui en contester le commandement, mais sa carrière antérieure constituait un sérieux handicap psychologique vis-à-vis de ses subordonnés. Autodidacte, naturaliste amateur, il avait beaucoup navigué mais, tout juste intégré dans le corps de la marine, il ne pouvait manquer d'être considéré comme un "parachuté" et aucun grand corps de l'Etat n'apprécie en général ce genre de promotion qu'on qualifie pudiquement aujourd'hui de "tour extérieur". [...] Le jeune astronome Pierre Bernier, exemplaire dans sa conduite, écrivait de lui : "grave et solitaire, il repoussait tout le monde par ses manières brusques et malhonnêtes".

giste et médecin, rédacteur avec Freycinet du récit qui sera publié de 1807 à 1816 ; F. Ronsard, officier du génie maritime.

Les officiers de cette époque, ayant participé à de grandes expéditions, ont vocation à former l'élite des officiers de l'hydrographie française : ce fut le cas de J.F. Hamelin qui deviendra directeur du "Dépôt général de la marine", de Hyacinthe de Bougainville qui commandera son propre tour du monde, des Freycinet qui feront de brillantes carrières.

Chronique d'un voyage en enfer

➔ **18 octobre 1800 Le Havre.** Appareillage du *Géographe* (commandant Baudin) et du *Naturaliste* (commandant Hamelin).

➔ **2-13 novembre 1800** Escale de 11 jours à **Santa Cruz de Ténériffe**.

➔ **12 décembre 1800** Franchissement de l'Equateur par environ 22°,5 de longitude ouest (de Paris). L'optimum d'une traversée à la voile pour l'océan Indien fait franchir l'Equateur, beaucoup plus près du Brésil, entre 30 et 33° ouest. La route suivie par Baudin lui fait perdre environ un mois et demi sur une traversée classique à son époque, du Havre à **l'Île de France (Île Maurice)**.

Nota. Baudin avait pensé reconnaître une prétendue "île de sable", dangereuse pour le navigateur, située à hauteur du tropique du Cancer par une longitude d'une vingtaine de degrés.

➔ **3 février 1801 Le cap de Bonne Espérance** est doublé.

➔ **15 mars 1801 Arrivée à l'Île de France**, 122 jours, soit quatre mois après l'appareillage du Havre. Le retard pris dans la traversée du Havre à l'Île Maurice a largement contribué à la détérioration de l'atmosphère à bord, qui se solde par le débarquement de dix savants (le jeune astronome Bissy, remplacé par Bernier, deux zoologistes, deux botanistes, deux jardiniers et les trois peintres dessinateurs²) et la désertion de 21 hommes d'équipage. Tous étaient mécontents et certains, hospitalisés, incapables de poursuivre le voyage.

Par ailleurs, les magasins de la colonie sont vides, en raison de l'état de guerre avec l'Angleterre depuis 1793, qui a rendu précaires les liaisons avec la métropole.

L'extrême mauvaise volonté des autorités locales oblige l'expédition à recourir à des capitaines danois, présents sur rade, pour le ravitaillement. Ainsi, dès le départ, le 25 avril 1801, l'équipage doit se contenter d'un mauvais tafia de l'Île à la place du vin, et de biscuits et salaisons avariées. Le pain frais, le vin et la viande fraîche ne seront plus désormais qu'un souvenir.

(1) X : polytechnicien, promotion...

(2) Heureusement, il se trouva parmi l'équipage deux excellents artistes, Charles Alexandre Lesueur et Nicolas Petit qui constituèrent les admirables collections au Museum d'histoire naturelle du Havre

(3) Découvert et baptisé par les Hollandais en 1622.

➔ **25 avril 1801 Appareillage de l'Île de France.** L'expédition quitte l'Île de France dans une atmosphère d'autant plus détestable que Baudin refuse de dévoiler ses intentions pour la suite du voyage.

La traversée de l'océan Indien s'effectue cependant sans incident et assez rapidement, puisque les deux navires arrivent le 25 mai en vue des côtes australiennes, à hauteur du **cap Leeuwin**³, à la pointe sud-ouest du continent australien.

➔ **27 mai 1801** Le *Géographe* et le *Naturaliste* atterrissent au **cap Leeuwin**, près de sept mois après leur départ de France, et non pas à la **Terre de Van Diemen (Tasmanie)** comme les instructions techniques l'avaient prévu.

Baudin trouve la saison trop avancée pour l'exécution du programme prescrit, en raison du retard évoqué précédemment, et décide d'entreprendre sans délai l'hydrographie de la côte nord-ouest, en remontant vers le nord.

➔ **30 mai 1801** Le *Géographe* et le *Naturaliste* mouillent au nord du **cap Leeuwin** dans une baie à laquelle Baudin donne le nom de son navire. Il en fait entreprendre le levé et envoie à terre une équipe de naturalistes "pour examiner le pays et tâcher de communiquer avec les sauvages". En fait, ils tombent sur des indigènes surexcités et hurlants, brandissant casse-tête et sagaies, très différents de ceux des théories de Rousseau. Leur sang froid évite le pire et leur permet de faire les premières observations sur les us et coutumes des aborigènes d'Australie.

■ Les côtes occidentales d'Australie : Beutemps-Beaupré et Flinders

Le prédécesseur français de Nicolas Baudin sur les côtes occidentales d'Australie est d'Entrecasteaux, à la fin de 1792, qui reconnaît la partie occidentale de l'Australie du cap Leeuwin au cap des Adieux (Terre de Nuyts). Baudin, en 1801, et surtout en 1803, est le premier à positionner avec précision le cap Leeuwin.

Matthew Flinders (*A voyage to Terra Australis*) rend hommage au tracé de cette portion de côte par Beutemps-Beaupré : "Le tracé de la côte depuis le cap Leeuwin jusqu'à 132° de longitude environ (cap des Adieux), était d'une façon générale si bien déterminée, et les cartes d'apparence si bonne, qu'il restait peu à découvrir par les visiteurs ultérieurs". On notera cependant, la méprise de Beutemps-Beaupré qui, par de très mauvaises conditions météorologiques a confondu le cap Leeuwin et l'actuel cap Beaufort. Les coordonnées de Beutemps-Beaupré du cap Leeuwin sont 34° 25' 50" S, 113° 15' E (Paris) soit 115° 35' 14" E (Greenwich) alors que les coordonnées exactes sont : 34° 22' S et 115° 08' E, soit un écart 3' 50" en latitude et 27' en longitude.

■ ■ ■ Pendant cette rencontre, un violent coup de vent d'ouest, annonçant la mauvaise saison, a dressé à la côte la chaloupe du *Géographe*, qui sera irrémédiablement perdue. Hamelin, commandant du *Naturaliste*, voyant le danger, rembarque dans son canot pour chercher du secours, mais ne regagne son bâtiment qu'après plus de vingt-quatre heures d'efforts épuisants. Les vingt-cinq hommes restés à terre ne rejoignent leur navire que le soir du troisième jour. Wasse⁴, matelot du *Naturaliste* se noie au rembarquement.

Cette aventure constitue le premier accroc sérieux de la campagne. Le très mauvais temps en est le principal responsable. Pendant toute la période des travaux en **baie du Géographe**, les marins ont été frappés par l'extrême abondance dans ces eaux de poissons et de cétacés, baleines en particulier, que personne ne songeait à chasser à cette époque.

➔ **9 juin 1801** Appareillage de la **baie du Géographe** du *Géographe* et du *Naturaliste* (qui a perdu deux ancres). Les deux navires déradent par mauvais temps, pour s'éloigner de la côte, en prenant de grands risques. Ils se perdent l'un l'autre, dans la tempête. Le *Géographe* se dirige vers les **îles Rottneest**, premier rendez-vous fixé au *Naturaliste* en cas de séparation, qu'il double par mauvais temps le **18 juin 1801**, sans y attendre le *Naturaliste*.

Baudin poursuit sa route vers le nord, en présumant qu'Hamelin doit s'être dirigé vers la **baie des chiens-marins (Shark bay, aujourd'hui) en terre d'Endracht**, lieu fixé comme second rendez-vous en cas de séparation. Il abandonne dès lors la visite des **îles Rottneest** et celle de la **rivière des Cygnes** pour se rendre directement à la **baie des chiens-marins** où il séjourne du 27 juin au 12 juillet pour une exploration méthodique et un levé hydrographique.

La baie abonde en serpents marins et en baleines ; les îles sont peuplées de kangourous. Le *Naturaliste* n'étant pas apparu, Baudin quitte la baie des chiens-marins le **12 juillet 1801**, et fait route le long de la **Terre de Witt** (découverte en 1616, 1623 ou 1628, par Guillaume de Witt, et visitée par Dampier en 1699), dont il fait une rapide reconnaissance avant d'aborder le **14 août 1801** l'**archipel Bonaparte**, hérissé de récifs, et d'une stérilité totale, près de quatre mois après son départ de l'**Île de France**.

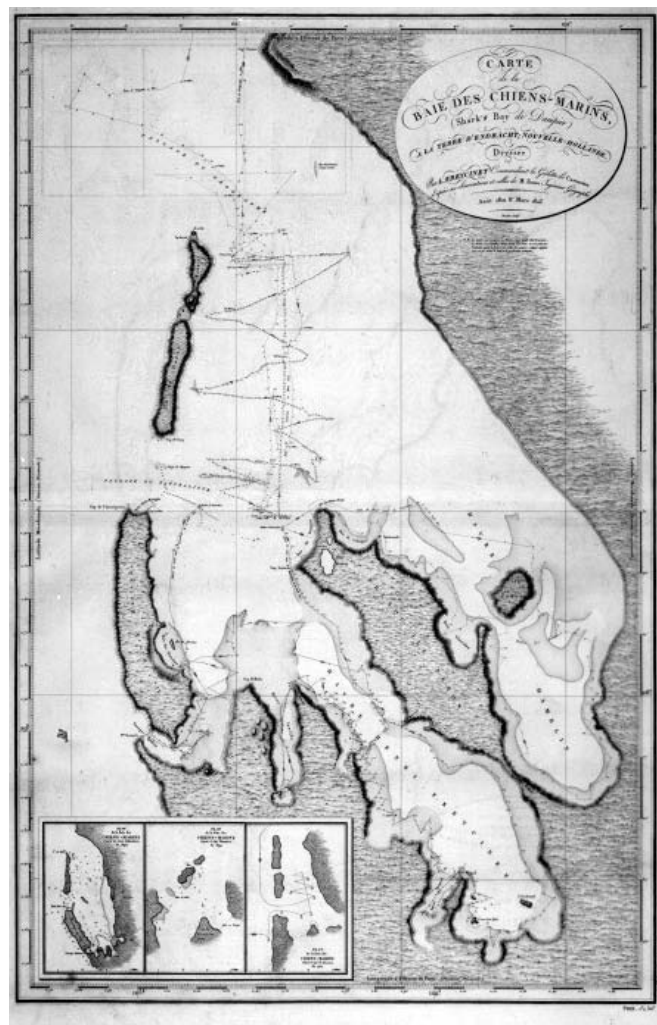
Les privations endurées par l'équipage, l'épuisement des provisions d'eau (non renouvelables depuis la perte de la chaloupe), la progression du scorbut dans l'équipage, et la perspective de retrouver Hamelin et son *Naturaliste*, poussent Baudin à gagner **Timor**, le troisième rendez-vous en cas de séparation.

➔ **22 août 1801** Arrivée du *Géographe* à **Coupang (Kupang, à Timor)**.

➔ **9 juin 1801** Retour en arrière.

Le *Naturaliste* réussit péniblement à se dégager de la **baie du Géographe**, gagne les **îles Rottneest** dont il fait

(4) Un petit cours d'eau portant son nom se jette dans la mer dans la baie du *Géographe*.



l'hydrographie, et reconnaît la **rivière des Cygnes**, sur laquelle s'élève aujourd'hui la ville de **Perth**.

Lors d'une mission à terre d'exploration et de ravitaillement, la chaloupe et le canot du *Naturaliste* sont malmenés au débarquement, et immobilisés pendant trois jours. Aucune trace d'eau douce n'est découverte. Le *Géographe* est apparu à l'horizon, faisant route, ce qui décide Hamelin à faire route vers la **baie des chiens-marins** où il arrive le **16 juillet**, quatre jours après le départ de Baudin. Un levé hydrographique précis en est fait tandis que les naturalistes accumulent d'énormes collections de plantes, fleurs, fruits, graines, oiseaux, coquillages et animaux variés. Dans le nord de la **presqu'île Péron**, où un détachement est mis à terre, une attaque d'une trentaine de "sauvages" est dispersée par un coup de fusil en l'air.

A noter aussi que l'essai d'un alambic montre son efficacité pour la distillation de l'eau de mer, jusque-là négligée. Baudin n'étant pas apparu, Hamelin se décide à rallier **Timor** où il arrive le **21 septembre**.

➔ **21 septembre 1801** Hamelin rallie **Coupang** où il retrouve Baudin qui y séjourne depuis le 22 août. L'escale à **Timor**, dans la partie hollandaise de l'île, se prolonge jusqu'au 13 novembre. Elle permet aux naturalistes de compléter

leurs collections d'oiseaux, d'insectes, de reptiles et de coquillages.

Cependant les maladies n'épargnent ni les marins, ni les savants. Les conditions de vie à bord, la mauvaise qualité de la nourriture et de l'eau, engendrent de nombreuses maladies : des fièvres pernicieuses, le scorbut, dû aux carences alimentaires en vitamines, la dysenterie, qui fait surtout des ravages sur le *Géographe*.

Deux jardiniers et deux zoologistes meurent, et le botaniste Leschenault, malade, doit débarquer. On attend pour appareiller que la nouvelle chaloupe du *Géographe* (remplaçant l'ancienne) soit terminée.

➔ **12 novembre 1801** Les commandants Baudin (*Géographe*) et Hamelin (*Naturaliste*) prennent congé du Gouverneur hollandais de **Coupang (Kupang)**.

➔ **13 novembre 1801** Le *Géographe* et le *Naturaliste* quittent **Timor** le 13 novembre pour contourner l'Australie par l'ouest et le sud et, sans faire escale, arriver en **Tasmanie**, qui s'appelait alors **Van Diemen**. Sept cadavres sont abandonnés à la mer en cours de traversée.

➔ **13 janvier 1802** Atterrissage du *Géographe* et du *Naturaliste* sur la **Terre de Van Diemen (Tasmanie)**. Quelques jours plus tard, les deux navires mouillent dans le **canal D'Entrecasteaux**, découvert par ce dernier le 1^{er} mai 1792, et qui forme au sud-est de la **Terre de Van Diemen** un vaste détroit.

De sérieux travaux hydrographiques dans les parages

■ Nouvelle-Hollande et Van Diemen : Beautemps-Beaupré, Flinders et Baudin

La consultation par Matthew Flinders des cartes de Beautemps-Beaupré date d'octobre 1796, lorsque Dalrymple les lui montre à l'Hydrographic Office. M. Flinders dispose, ainsi pour son tour de la Nouvelle-Hollande (1801-1803) des copies manuscrites des cartes de Beautemps-Beaupré, notamment pour la côte sud de l'Australie occidentale, qu'il hydrographie au début de 1802, dans le même temps que Baudin. Ce dernier lui remet d'ailleurs une carte de Beautemps-Beaupré à laquelle il rend hommage : "Les cartes des baies, ports et bras de mer de l'extrémité sud-est de la Terre de Van Diemen, construites dans cette expédition (d'Entrecasteaux et Beautemps-Beaupré) paraissent réunir précision scientifique et minutie des détails, avec un degré peu commun de netteté dans l'exécution. Elles contiennent quelques-uns des plus beaux spécimens de levés hydrographiques qui aient peut être jamais été exécutés dans une contrée nouvelle".

NB. Rappelons la détention abusive à l'Ile de France de Flinders durant 6 années et 178 jours (16 décembre 1803 - 13 juin 1810).

sud-est de l'île sont entrepris ainsi que des enquêtes auprès des aborigènes. Les corvettes remontent ensuite le long de la côte orientale tandis que Boulanger et l'aspirant Maurouard, du *Géographe*, reçoivent l'ordre le **6 mars 1802** de reconnaître en canot la partie nord de la côte orientale, en ralliant tous les soirs le *Géographe*. Parvenus au **détroit de Banks**, ils sont récupérés, par très mauvais temps, par un brick anglais qui leur donne l'hospitalité et les dépose sur le *Naturaliste* le **10 mars 1802**, dans le **détroit de Banks**.

Le rendez-vous n'a pas été tenu par le *Géographe* qui, après avoir essuyé de furieux coups de vent aux **îles Furneaux**, s'est attaqué à l'exploration de la partie orientale de la côte sud de l'Australie, qu'il baptise **Terre Napoléon**.

➔ **8 avril 1802** Rencontre de Baudin avec Flinders.

Le 8 avril 1802, le *Géographe* étant dans une baie au sud-est de l'emplacement actuel d'**Adélaïde**, un navire apparaît à l'horizon, qui hisse le pavillon anglais. C'était le capitain Flinders qui, parti d'Europe sur l'*Investigator* depuis août 1801, se trouvait depuis trois mois en **Terre de Nuyts**. La baie porte depuis cette date le nom de **baie de la rencontre**⁵.

Début mai, au commencement de la mauvaise saison, l'état sanitaire inspire une relâche. La moitié de l'équipage, en effet, est hors service, et plusieurs cadavres ont déjà été jetés à la mer. L'eau, putride, est très insuffisante en quantité ; "le biscuit est criblé de larves d'insectes, les salaisons sont pourries, d'un goût et d'une odeur si insupportables que, même en présence du commandant, les plus affamés jettent souvent leurs rations à la mer".

➔ **8 mai 1802** Décision de Baudin du retour du *Géographe* au **Port Jackson**.

Pressé par le manque d'eau douce et par les maladies qui continuent à ravager l'équipage, Baudin ordonne le 8 mai le retour du *Géographe* au **Port Jackson**, non par la route la plus courte, mais par la plus éprouvante, qui contourne la **Terre de Diemen** par le sud.

Avec l'aide d'une forte chaloupe, envoyée par le Gouverneur anglais, Baudin et son *Géographe* arrivent au **Port Jackson** le 20 juin 1802.

➔ **20 juin 1802** Arrivée du *Géographe* au **Port Jackson**.

De son côté, le *Naturaliste* a travaillé sur la côte est de **Van Diemen** et dans le **détroit de Bass**, faisant en particulier les levés de **Port Dalrymple** et **Port Western**, avant de toucher **Port Jackson** une première fois, pour s'y "rafraîchir", puis une deuxième fois pour y faire la jonction avec le *Géographe* le 28 juin 1802.

➔ **28 juin 1802** Réunion du *Géographe* et du *Naturaliste* au **Port Jackson (Sydney)**.

Le *Géographe* et le *Naturaliste* stationnent près de cinq mois au **Port Jackson**, où la jeune colonie anglaise traite parfaitement leurs équipages, fatigués. Fondée en 1788, peu de jours avant l'arrivée de Lapérouse, la ville est déjà très florissante.

(5) Flinders vint deux fois à bord du *Géographe*.

■ Terre de Van Diemen : le détroit de Bass

Avant sa découverte, ceux qui croient à l'existence d'un détroit, le détroit de Bass entre l'Australie et la Terre de Van Diemen, sont peu nombreux : Hunter (1789) et Vancouver, Furneaux (expédition Cook, 1798) ; d'Entrecasteaux (1792). Lorsque le chirurgien de marine Georges Bass, parti de Port Jackson (Sydney) à bord d'une baleinière, franchit le cap Howe et explore la Nouvelle-Galles du sud, en janvier 1797, la grosse houle de suroît ne lui laisse aucun doute sur l'existence d'un détroit. En septembre 1798, le gouverneur Van Diemen, Hunter, confie à Matthew Flinders le commandement du sloop "Norfolk", sur lequel est également embarqué Bass. La première navigation autour de la Terre de Van Diemen est effectuée du 7 octobre 1798 au 12 janvier 1799, et bouclée à Port Jackson. Elle est aussi l'occasion de baptiser le Port Dalrymple l'estuaire sur la côte nord de Van Diemen, et de vérifier les travaux de Beautemps-Beaupré dans le canal D'Entrecasteaux, situé à la sortie de l'estuaire de la rivière Derwent, où se trouve Matthew Flinders en décembre 1798. Le gouverneur Hunter baptise officiellement le détroit de Bass après la circumnavigation de la Terre de Van Diemen qu'il a confiée à Flinders.

Tandis que Bernier établit son observatoire à terre, les naturalistes enquêtent activement, et Péron étudie le processus de colonisation. Compte tenu de la réduction des équipages, pour cause de mort ou de maladie, Baudin décide de renvoyer en France le *Naturaliste* et de le remplacer par une goélette de trente tonneaux en construction, le *Casaruina* (nom qui vient de casoar).

A bord du *Naturaliste*, Hamelin ramènera les collections d'histoire naturelle, ainsi que les cartes, les mémoires et les observations déjà rédigés, sans compter trois aspirants qui "avaient encouru la haine" du commandant Baudin, mais qui furent néanmoins promus au grade d'officier dès leur retour.

➔ 18 novembre 1802 Port Jackson.

Appareillage du *Géographe*, du *Casaruina* et du *Naturaliste* et regroupement le 6 décembre des trois navires à l'île King (à la sortie ouest du détroit de Bass), d'où le *Naturaliste* appareillera pour Le Havre où il arrivera le 7 juin 1803.

L'île King apparaît aux équipages comme un paradis terrestre, largement pourvu d'eau, de végétation et d'animaux (wombats, kangourous, casoars, éléphants de mer).

Désormais le *Casaruina* est commandé par l'enseigne de vaisseau Louis de Freycinet, qui reçoit l'ordre d'hydrographier les abords de l'île King, puis les îles Hunter, ce dont il s'acquitte d'une façon exemplaire (en s'inspi-

rant du levé de Beautemps-Beaupré de Santa Cruz, décrit dans l'"Appendice" de son récit d'expédition), mais occasionne un jour de retard sur les prescriptions de Baudin. De là, Freycinet va seul compléter la reconnaissance des golfes de la terre Napoléon sur la côte sud de l'Australie. Lorsqu'il touche l'île Decrès, Baudin, resté au mouillage pendant 26 jours, en attente d'une chaloupe devant remplacer celle qu'il a perdue à l'appareillage de l'île King, ne l'a pas attendu.

Freycinet cherche son chef à l'archipel Saint-Pierre et Saint-François, sans succès, et se décide à gagner le Port du roi George où Baudin le rejoint, cinq jours plus tard, le 18 février 1803.

➔ 18 février 1803 Jonction Freycinet (*Casaruina*) - Baudin (*Géographe*) au Port du roi George.

Le détroit mytique, situé à l'extrémité orientale de la terre découverte par Nuyts, en 1627, n'a pas été retrouvé.

➔ 1^{er} mars 1803 Le *Géographe* et le *Casaruina* quittent le Port du roi George pour doubler le cap Leeuwin et remonter le long de la côte ouest (terre d'Endracht, Terre de Witt) et enfin mettre le cap sur Timor où le *Géographe* arrive le 6 mai 1803.

➔ 6 mai 1803 Arrivée du *Géographe* à Timor.

➔ 3 juin 1803 Très fatigué à son arrivée à Timor, Baudin décide d'y relâcher un mois avant de repartir le 3 juin, pour reconnaître la côte nord de l'Australie en direction du détroit de Torres.

➔ 5 juin 1803 L'astronome Bernier meurt d'épuisement. Il avait 24 ans. Son corps est jeté à la mer dans la consternation générale.

➔ 23 juin 1803 Baudin, parvenu à l'entrée du golfe de Carpentarie, épuisé et souffrant, décide de faire demi-tour, pour rallier l'île de France, avec un équipage à bout de forces et des provisions d'eau en voie d'épuisement.

➔ 27 août 1803 Arrivée du commandant Baudin à l'île de France où il meurt le 16 septembre 1803.

➔ 16 septembre 1803 Mort du commandant Baudin. Il est enterré "avec tous les honneurs dus au rang qu'il avait occupé dans la marine militaire".

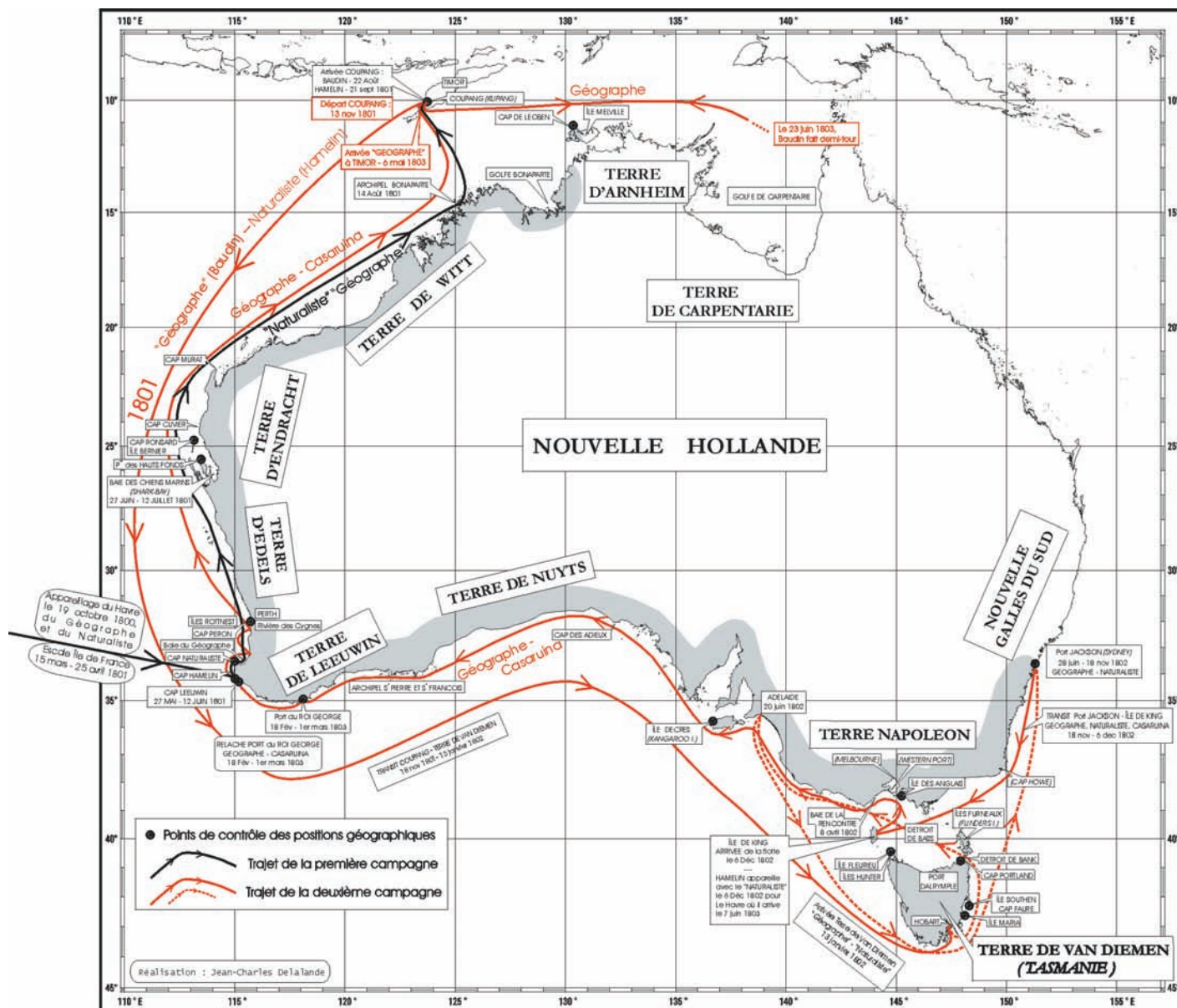
➔ 28 septembre 1803 Arrivée du *Casaruina* à l'île de France, qui est désarmé, avec transfert de son équipage sur le *Géographe*.

Milius, ex-commandant en second du *Naturaliste*, prend le commandement du *Géographe* (il était plus ancien que Freycinet) le 29 septembre 1803.

➔ 29 septembre 1803 Milius prend le commandement du *Géographe*.

➔ 16 décembre 1803 Appareillage du *Géographe*. Escale au Cap. Arrivée à Lorient le 25 mars 1804.

➔ 25 mars 1804 Arrivée du *Géographe* à Lorient après un périple de 63 000 milles et une campagne de quarante-deux mois.



Les opérations de levés hydrographiques et la cartographie

Du point de vue technique, l'hydrographie de Baudin est directement inspirée de celle de Beautemps-Beaupré, dont il a pris connaissance au retour du voyage de d'Entrecasteaux (1796). Elle se caractérise par un recours quotidien à la navigation astronomique et une approche globale de l'établissement en "temps réel" de la carte. Elle s'appuie sur les "Méthodes par la levée et la construction des cartes et plans hydrographiques", objet de l'Appendice à la "Relation du voya-

ge du contre-amiral Bruny D'Entrecasteaux", qui sera publié seulement en 1808. Le levé sous voiles, sans débarquer, s'effectue en combinant les observations astronomiques et celles de points terrestres, au cercle à réflexion, qui remplace désormais le compas. Il s'accompagne du dessin, sur le champ, des vues de côtes (sur lesquelles sont reportées directement les observations angulaires aux instants des stations), et de la construction de la carte⁶.

Conformément à la doctrine de Beautemps-Beaupré, la méthode appliquée par Baudin consiste, lors d'un passage

(6) A ce sujet, Beautemps-Beaupré ne se cache pas d'avoir puisé son inspiration chez l'hydrographe anglais Dalrymple : Nous croyons devoir dire aussi que la lecture du mémoire intitulé "Essay on nautical surveying", publié par le célèbre hydrographe Dalrymple en 1771, nous a fait concevoir la possibilité de substituer la méthode que nous avons suivie à celle que l'on emploie ordinairement pour lever les cartes et plans hydrographiques. D'ailleurs, ironie du sort, ce que l'avenir consacrera comme un progrès définitif en hydrographie, contribua aux ennuis de Dalrymple qui, devenu directeur du bureau des cartes et plans de la marine britannique en 1795, fut révoqué en 1808, à la suite d'une commission d'enquête, qui concluait qu'en temps de guerre la marine britannique avait besoin de cartes, et rapidement, et non point de théories. Ajoutons que le sextant avait été utilisé pour mesurer des angles horizontaux à la mer, en hydrographie dès 1774, par Mackenzie junior et son adjoint Graeme Spence.

Conformément à la doctrine de Beautemps-Beaupré, la méthode appliquée par Baudin consiste, lors d'un passage unique devant une côte inconnue, à déterminer en une seule fois, et dans de courts délais, les positions du plus grand nombre de points de la côte utiles à l'élaboration de la carte marine. Pour y parvenir, il faut combiner les observations astronomiques et les mesures angulaires terrestres.

unique devant une côte inconnue, à déterminer en une seule fois, et dans de courts délais, les positions du plus grand nombre de points de la côte utiles à l'élaboration de la carte marine. Pour y parvenir, il faut combiner les observations astronomiques et les mesures angulaires terrestres.

■ Les observations astronomiques

Elles concernent la détermination des longitudes et celle des latitudes.

Les longitudes s'obtiennent principalement (en exceptant la méthode d'immersion ou d'émergence des satellites de Jupiter) par les chronomètres, réglés sur l'heure du méridien origine (Greenwich ou Paris), ou par la méthode des distances lunaires. La distance du soleil à la lune donne accès à la longitude, en se basant sur la progression inégale, de l'est vers l'ouest, des deux astres sur fond zodiacal.

Le mouvement moyen de la lune sur fond d'étoiles n'étant que de un demi degré pour une heure de temps, alors qu'il est de quinze degrés pour le soleil, on peut se servir de la distance (angulaire) lune-soleil comme chronomètre, en sachant que le rapport trente ($15^\circ / 0,5^\circ$) de la progression des deux astres sur fond d'étoiles, se répercutera sur la précision de la mesure.

Clairement, pour une observation angulaire isolée de la distance soleil-lune, à la précision d'une minute d'angle, il faut s'attendre à une précision sur la longitude de 30 minutes d'arc. Les distances lunaires donnent l'heure que l'on comptait à Paris à l'instant de l'observation. La hauteur du soleil fait connaître l'heure du lieu pour le même instant.

La méthode des distances lunaires requiert trois observations quasi-simultanées, relevées grâce au garde-temps (longitude par les montres selon l'expression de Baudin) ; la distance angulaire lune-soleil, l'altitude de la lune et l'altitude du soleil. Le traitement des observations se fait en quatre temps :

- détermination du temps local ;
- correction de la distance lunaire observée des effets de la réfraction et de la parallaxe pour ramener la mesure aux centres du soleil et de la lune ;
- calcul du temps civil du méridien origine (Paris) à partir de la distance lunaire et des éphémérides ;
- calcul de la longitude par différence du temps local et du temps civil du méridien de Paris.

■ Les opérations sur le terrain

La plupart des observations de l'expédition Baudin ont été faites sous voiles. Compte tenu de la mobilité de la plateforme d'observation, il faut combiner dans le temps les observations astronomiques et les relèvements à terre. Schématiquement, les observations quotidiennes se déroulent de la façon suivante : le matin, quand le soleil n'est pas encore élevé sur l'horizon, on mesure simultanément, en notant l'heure des montres, la distance angulaire du soleil à l'un des points remarquables de la côte (dont les coordonnées astronomiques ont déjà été déterminées) ainsi que les hauteurs du soleil et du point remarquable.

La distance angulaire entre le soleil et le point remarquable n'est pas directement exploitable, mais en calculant l'azimut de l'astre, c'est-à-dire son relèvement au moment de la visée, le relèvement du point terrestre s'en déduit, et permet d'orienter astronomiquement la direction des points visés. Au moment de la mesure de la hauteur du soleil, tous les points caractéristiques de la côte sont simultanément relevés par rapport au point remarquable initial. L'ensemble de ces opérations est répété en moyenne trois fois par jour, en incluant le point par le soleil à midi.

La détermination des latitudes est faite à l'occasion du point à midi, au moyen du cercle à réflexion. Elle consiste à prendre des mesures de hauteur du soleil identiques, de part et d'autre du passage au méridien en notant les heures des montres, et à relever les hauteurs du soleil de façon quasi continue pour saisir sa culmination. Le principe de la méthode des hauteurs correspondantes est identique. L'heure de la culmination du soleil est déterminée par la moyenne des heures de passage à hauteur égale lors de son ascension dans la matinée (8h-10h) et de sa descente l'après-midi (14h-16h). C'est en effet dans ces créneaux horaires que les variations de hauteurs sont les plus rapides et limitent les erreurs sur l'heure.

Les opérations décrites ci-dessus donnent accès à la mesure de la latitude, lors du passage au méridien, et à l'évaluation de la longitude par l'heure du garde-temps (chronomètre réglé sur l'heure du méridien origine, ou heure locale déterminée à partir d'un point origine où ont été observées les distances lunaires).

Dans la détermination des positions géographiques, l'optimum consistait à se placer dans la direction est-ouest des points dont on cherchait la latitude, et nord-sud de ceux dont on voulait déterminer la longitude, aux instants de détermination des angles horaires.

■ Les éphémérides

Pour le calcul des longitudes par les distances lunaires, le Nautical Almanac publiait depuis 1760 les distances lune-soleil et lune-quelques étoiles zodiacales toutes les trois heures au long de l'année. En utilisant la méthode de Clairault (1750, améliorée par La Caille en 1765), l'astronome Tobie Mayer de Göttingen, avait dressé en 1753 des tables du mouvement de la lune donnant une précision supérieure au degré pour la longitude.

De son côté, le Nautical Almanac de 1767 contenait des tables de Maskelyne⁷, adaptées aux besoins des navigateurs, pour calculer les longitudes à partir des distances lunaires au soleil et à un certain nombre d'étoiles. La "Connaissance des Temps" (C.T.), à partir de 1767, contenait les tables de Maskelyne, qui furent mises à jour à la suite de la découverte par Laplace en 1786, de l'accélération séculaire du mouvement moyen de la lune. Dans le volume de la "Connaissance des Temps" de l'an VIII (sept. 1799 - sept. 1800, couvrant la période 1800-1803, pour les tables lunaires, il est écrit : *Les calculs ont été faits, en général sur les tables les plus exactes, rassemblées dans la 3^e édition de l'Astronomie de Lalande ; elles sont, les unes de Lalande lui-même, les autres de Delambre : celles de la lune étaient de Mayer, corrigées par Mason, sur les observations de Bradley ; mais Lalande y a corrigé les époques, l'équation séculaire et les parallaxes. Les tables de Mayer, corrigées par Mason, sont parues à Londres en 1787, écrit Delambre, et Lalande a apporté des corrections en 1792... J'ai donné, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences de 1786, la théorie de l'équation séculaire du mouvement de la lune (Lalande).*

Pour les calculs, la mission Baudin disposait : des imprimés de "Modèles de calcul pour la longitude" ; des "Tables horaires" de distances lunaires de Lalande ; de la "carte trigonométrique" de Jacques-Rémi Maingon (1797-1798), servant à réduire la distance apparente de la lune au soleil.

■ Les instruments

Pour effectuer ses travaux d'astronomie, géodésie, topographie et hydrographie, la mission Baudin disposait entre autres : d'une pendule astronomique, de quatre chronomètres, d'un compteur, de quatre cercles à réflexion, de deux sextants, d'un cercle astronomique, de deux graphomètres à lunette.

Le cercle à réflexion de Borda était en priorité utilisé pour les visées astronomiques, et particulièrement celles des distances lunaires (facilité de mesure des grands angles) et des hauteurs méridiennes ; il servait également aux mesures angulaires à la mer sous la dénomination de cercle hydro-

graphique. Le cercle astronomique, également de Borda servait aux opérations terrestres d'astronomie et de géodésie.

■ Les résultats

Un atlas de 32 cartes, publié en 1812, rassemble les travaux cartographiques de la mission Baudin sous le titre : "Voyage de découvertes aux Terres Australes, exécuté par ordre de sa Majesté l'Empereur et Roi, sur les corvettes le *Géographe*, le *Naturaliste* et la goëlette le *Casaruina* pendant les années 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804".

L'atlas qui accompagne le récit de l'expédition est exclusivement composé de cartes, au nombre de 32, essentiellement dressées par Louis de Freycinet et Charles-Pierre Boulanger (ingénieur hydrographe de l'expédition), un certain nombre étant réalisées par Pierre Faure (ingénieur géographe sur le *Naturaliste*), ou le frère de l'auteur, Henri de Freycinet, et quelques-unes avec Pierre-François Bernier (astronome) et Ronsard (officier du génie maritime). Fait exceptionnel, le nom de Nicolas Baudin, chef de l'expédition, n'y figure pas.

Les cartes ont été établies à partir d'un canevas astronomique comprenant quatre points principaux : Fort Concordia, à Timor (217 distances lunaires) ; la pointe Banelong à Port Jackson (186 distances lunaires) ; la pointe des hauts-fonds dans la baie des chiens-marins (78 distances lunaires) ; l'observatoire de l'île Decrès (252 distances lunaires).

Les distances lunaires ne furent pas utilisées uniquement dans les principales stations terrestres, mais aussi à la mer, comme moyen d'interpolation servant au recalage des montres. Les "angles horaires par les montres" ont été observés régulièrement, matin et soir. Dans l'ensemble, les déterminations des latitudes et des longitudes de la mission Baudin sont parmi les meilleures de l'époque. Pour s'en assurer, on a choisi un échantillonnage de 16 points, assez facilement identifiables sur les cartes marines de la mission Baudin et sur les cartes marines en service (voir carte jointe).

Pour l'ensemble des 16 points, les erreurs moyennes et les erreurs moyennes quadratiques sont respectivement, pour les latitudes $\pm 1',1$ et $2',2$, et pour les longitudes $\pm 5',4$ et $7',2$. Pour les 12 meilleures déterminations, soit les trois quart de l'ensemble des déterminations, les erreurs moyennes et les erreurs moyennes quadratiques sont respectivement, pour les latitudes $\pm 1',0$ et $1',3$, et pour les longitudes $\pm 2',9$ et $3',6$.

Remarques : La place manque pour évoquer les mesures de météo-océanographie : vents, courants, marée. Elles ont été effectuées scrupuleusement, tout au long du voyage. Il en va de même pour la mesure des profondeurs sur les routes et dans les zones hydrographiées. La toponymie de l'atlas de

(7) Pour Maskelyne, la hauteur du soleil peut être mesurée à la précision de une à deux minutes d'angle, et la distance lunaire à la précision de la minute. Pour mémoire, la détermination de la longitude de Nootka par Vancouver en 1792, comportait 88 mesures de distances lunaires, dont les valeurs extrêmes différaient de 32 minutes, avec une déviation standard (emq) de 12 minutes, et une erreur probable pour une seule mesure de plus ou moins 30 minutes. La plus grande erreur résiduelle tient en fait aux corrections concernant la réfraction et la parallaxe, si l'on excepte les erreurs systématiques provenant des instruments, ce qui autorise Maskelyne à avancer une erreur probable totale (ensemble des observations) proche de la minute d'angle. Les tables du Nautical Almanac (Maskelyne) donnaient les distances lunaires à la seconde d'arc, alors qu'en France (La Caille), on se contentait de six secondes.

Les difficultés évoquées ne font que valoriser la moisson exceptionnelle des résultats de l'expédition. Sur les plans géographiques et cartographiques, il s'est agi de la première grande expédition de mise en pratique de la doctrine de Beautemps-Beaupré (sans Beautemps-Beaupré), sur un périmètre côtier de 6 000 milles, allant par le sud et l'ouest de Port Jackson (Sydney) au cap de Leoben (île Melville). L'essentiel des côtes du grand continent austral, dans ses parties méridionale et occidentale, était désormais couvert, avec toute la précision que permettaient à l'époque, l'astronomie et les chronomètres. Les premiers à en profiter furent les baleiniers américains. L'ensemble de l'information cartographique et hydrographique a été publié en 1812 dans l'Atlas de 32 planches de Louis de Freycinet.

Louis de Freycinet est répétitive ; elle concerne les noms des grandes personnalités politiques et scientifiques de l'époque, ainsi que ceux de savants et officiers ayant effectué les travaux à la mer. Du découvreur au colonisateur, c'est le second qui a le dernier mot. Cependant la toponymie en vigueur assure la survivance des noms français en Australie occidentale et méridionale ainsi qu'en Tasmanie.

Pour conclure

Le discrédit jeté sur le commandant Baudin, par l'ensemble des équipages du *Géographe* et du *Naturaliste*, a laissé sombrer dans l'oubli la réputation de son expédition, dont la valeur globale est sans doute la plus exceptionnelle de celles de la fin du XVIII^e siècle. C'est au point que son nom n'apparut pas dans l'"Atlas de cartes" du "Voyage" de Freycinet en 1812, et figure seulement, à côté de celui de Péron, dans l'édition du "Voyage aux Terres Australes" en 1815, sous l'appellation "sous le commandement du capitaine de vaisseau Baudin".

Il est vrai que Baudin, mort en campagne, d'épuisement physique et de phthisie, n'a pas eu l'occasion de se défendre des accusations de dureté et d'intransigeance portées contre lui. Vieux coureur des mers, autodidacte, secret et jaloux de son autorité, il s'est à dos, dès l'appareillage du Havre, l'ensemble des équipages du *Géographe* et du *Naturaliste*, par son caractère inflexible et son absence d'humanité. Ardemment attaché à sa mission le long de côtes inhospitalières et désertiques, il en fera partager à ses hommes l'énorme pression morale et physique. Ses sautes d'humeur lui feront manquer les trois grands rendez-vous du *Géographe* et du *Naturaliste*, programmés dans la campagne. Malgré tout, et quoiqu'on en pense, les pertes de vies humaines de l'expédition Baudin (10 % des effectifs, soit 25 hommes) sont beaucoup moins importantes que celles de l'expédition de d'Entrecasteaux (40 % des effectifs, soit 90 hommes).

Les difficultés évoquées ne font que valoriser la moisson exceptionnelle des résultats de l'expédition. Sur les plans géographiques et cartographiques, il s'est agi de la pre-

mière grande expédition de mise en pratique de la doctrine de Beautemps-Beaupré (sans Beautemps-Beaupré), sur un périmètre côtier de 6 000 milles, allant par le sud et l'ouest de Port Jackson (Sydney) au cap de Leoben (île Melville). L'essentiel des côtes du grand continent austral, dans ses parties méridionale et occidentale, était désormais couvert, avec toute la précision que permettaient à l'époque, l'astronomie et les chronomètres. Les premiers à en profiter furent les baleiniers américains. L'ensemble de l'information cartographique et hydrographique a été publié en 1812 dans l'Atlas de 32 planches de Louis de Freycinet.

Sur le plan des sciences naturelles, la collecte était immense, avec les 200 000 échantillons remis au Museum National d'Histoire Naturelle, contenant plus de 23 000 pièces de botanique, de zoologie et de minéralogie. Les seuls botanistes avaient rapporté 2500 espèces nouvelles, inconnues en Europe (dont le mimosa et l'eucalyptus), de quoi alimenter largement les débats scientifiques entre les fixistes, comme Cuvier, et les évolutionnistes, comme Lamarck.

L'éthnologie, science nouvelle à l'époque, s'enrichit elle aussi de précieuses informations et collections concernant les aborigènes d'Australie et de Tasmanie. ●

Références

Marins français à la découverte du monde - De Jacques Cartier à Dumont d'Urville par Etienne Taillemite - Editeur Fayard.

Voyage de découvertes aux Terres Australes, exécuté par ordre de sa Majesté l'Empereur et Roi, sur les corvettes le Géographe, le Naturaliste et la goëlette le Casarua, pendant les années 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804 - Navigation et géographie : texte rédigé par L. de Freycinet, 1815. - Imprimerie Royale. Au titre général du "Voyage..." est ajouté dans ce volume sous le commandement du capitaine de vaisseau N. Baudin et avec un atlas de 32 cartes (1812).

Le périple de Baudin en Australie par F. Marguet (1923) - La Revue Maritime n° 40 (avril 1923 - p. 433-450 et n° 41 (mai 1923 - p. 650-667).

Nicolas Baudin : marin et explorateur ou le mirage de l'Australie par Muriel Proust de la Gironière - Service historique de la marine⁸ (2001).

Voyages faits par ordre du Roi, pour vérifier l'utilisation de plusieurs méthodes et instruments servant à déterminer la longitude et la latitude par Jean-Charles de Borda (1778) - Service historique de la marine.

Description et usage du cercle à réflexion, avec différentes méthodes pour calculer les observations nautiques par le chevalier de Borda (1787) - Service historique de la marine.

(8) Château de Vincennes - BP 2 - 00300 ARMEES.

Biographies



Etienne Taillemite. Né en 1924. Archiviste-paléographe (Ecole des Chartes - 1944-1948). Conservateur aux Archives Nationales, chargé des fonds Marine. Inspecteur Général des Archives de France. Membre de l'Académie de Marine. Etienne Taillemite est célèbre pour ses travaux sur l'histoire de la marine et des explorations, ainsi que pour les inventaires qu'il a dressés de la Marine et des colonies. Il est l'auteur de

plusieurs ouvrages sur l'histoire de la marine et des anciennes colonies françaises (Bougainville à Tahiti ; 1972 ; Tourvillet et Bévèziers, 1991 ; Marins français à la découverte du monde : de Jacques Cartier à Dumont d'Urville).



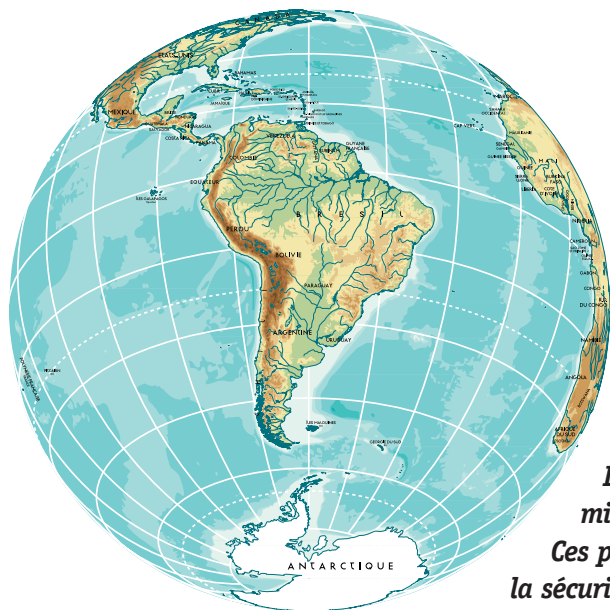
Jean Bourgoïn. Né en 1925, entre en 1945 à l'Ecole Polytechnique pour en sortir en 1947 dans le corps des ingénieurs hydrographes de la Marine. En début de carrière, au cours d'une douzaine d'années de service à la mer, il est affecté à des missions hydrographiques en métropole, en Afrique du nord, en Afrique noire française, en Amérique centrale. Il dirige ensuite l'établissement

principal du service à Brest (1976-1981), puis le service hydrographique et océanographique de la marine (1981-1987) à Paris. Il a fait partie de nombreux comités scientifiques. Il est membre de l'Académie de Marine et commandeur de la Légion d'Honneur.

ABSTRACT

In 1800, Nicolas Baudin was ordered by Napoleon Bonaparte to lead a scientific expedition to explore Australia, the expedition included about 20 scientists from a number of disciplines. With much risk and effort, and at the cost of deaths and injuries and a number of desertions, resulting collection was exceptional. Concerning hydrography and cartography, the Baudin expedition covered the enormous area of the unexplored western and southern coasts of Australia, reaching as far as Sydney. The methods of Beautemps-Beaupré were strictly adhered to. Baudin died of tuberculosis and exhaustion, on the Ile de France (Mauritius), on September 16, 1803, during the journey home.

"I haven't learnt the sea at school, nor the natural sciences in laboratories. I have crossed the oceans on merchant ships, and I have picked up plants in Americas and New-Holland myself." Nicolas Baudin



Expertise fr foncière en

■ Claire GALPIN - Ingénieur ESGT

Depuis le début des années 1990, les pays d'Amérique centrale ont mis en place des programmes nationaux d'administration des terres. Ces projets incluent la mise en place d'un système foncier garantissant la sécurité et la sûreté juridiques de la propriété, de la possession et de l'usage de la terre afin de favoriser l'investissement économique et l'harmonie sociale. La Banque Mondiale et les agences bilatérales de développement internationales sont largement parties prenantes de ces projets dans chacun des six pays d'Amérique Centrale et Panamá. Le succès de ces projets est un élément clé pour le développement de la région. Le manque de personnel qualifié a été souligné dans toutes les rencontres régionales. La Banque Mondiale et l'agence de développement américaine (USAID) ont chargé un groupe d'experts français d'évaluer les nécessités et de recenser les programmes et les ressources existant en matière foncière afin de préparer un plan régional de formation.



La région Amérique Centrale

Après la conquête de l'empire aztèque en 1521, les espagnols créèrent le vice royaume de la nouvelle Espagne qui acquit son indépendance en 1821 en se scindant en deux : le Mexique et la Fédération des Provinces Unies d'Amérique Centrale. Celle-ci éclata en cinq pays indépendants au milieu du XIX^e siècle : Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua et Costa Rica. Panama et Belize s'y ajoutèrent à la fin du XIX^e. Ces pays occupent la zone mésoaméricaine qui a connu de très

grandes civilisations (Mayas et Aztèques) dont le degré de sophistication est étonnant. Elles possédaient toutes un système de numération, une écriture hiéroglyphe, la connaissance de l'astronomie qui a permis la mise au point d'un calendrier.

L'Amérique Centrale, région stratégique du monde moderne est constituée d'une mosaïque de pays, séparant deux océans et unissant les deux continents américains. Belize, Salvador, Guatemala, Nicaragua, Honduras, Costa Rica et Panamá couvrent un territoire équivalent à celui de la France et comptent avec moins de la moitié de la population française. Les populations

sont hétérogènes, mélanges de faciès indigènes descendants des Mayas et européens descendants d'espagnols. Les moins de 15 ans représentent environ 40 % de la population de la région alors que les plus de 65 ans seulement 5 %.

La Terre et les politiques foncières

La Terre est finie, immeuble, hétérogène. Sa valeur dépend de son usage et il n'existe pas de substitut. Pour toutes ces raisons, les règles, les droits et restrictions liés à l'usage du sol sont très importants dans toutes les sociétés humaines.

PAYS	SUPERFICIE Km ²	HABITANTS Millions	PIB US\$	ANALPHABETISME %
BELIZE	23 000	0.2	2700	30
COSTA RICA	51 000	3.5	2500	5
EL SALVADOR	21 000	5.9	1450	29
GUATEMALA	109 000	4.9	1200	44
HONDURAS	112 000	5.8	600	27
NICARAGUA	148 000	4.6	436	34
PANAMA	75 500	2.7	2700	9
TOTAL	539 500	27.6		
France	550 000	58.2	27000	10

française en matière Amérique Centrale



Le domaine d'étude est très large puisqu'il traite de Foncier (*Administración de Tierra*). Les fondements sont la Terre (la parcelle), l'Homme (le propriétaire ou l'occupant) et les relations qui les lient (le Droit).

Si les politiques foncières impliquent un mode de possession de la Terre, l'Administration de la Terre en est la partie opérationnelle.

Selon la définition des Nations unies, l'Administration des Terres est l'ensemble des processus mis en place pour accumuler, ordonner et diffuser l'information autour de la propriété, l'usage et la valeur de la terre.

Elle inclut généralement les aspects fiscaux, d'aménagement du territoire, les réformes agraires et la distribution de terre (*Restitución*), mais aussi le Cadastre et sa composante légale qui sous-tend les processus de distribution de titres de propriété (*Titulación*), l'enregistrement de ces titres (*Registración*) et la mise à jour des Registres (*Actualización*).

Ainsi, l'Administration de la Terre et les systèmes cadastraux forment les fondations de la gestion de la terre. Toute l'organisation est fondée sur le fait que le Droit (arrangements institutionnels) qui gouverne les relations entre la Personne et la Terre est une part essentielle de toute stratégie de gestion des ressources. *"La gestion des ressources est le processus de décision par lequel des ressources sont assignées sur un espace et pour un temps donnés, en accord*

avec les aspirations de l'Homme (être humain), mettant en place un cadre de travail qui utilise toutes les technologies, les institutions et les procédures légales et administratives". (J. Mac Neill)

Pour faciliter le développement idoine de politiques et programmes fonciers, il est nécessaire de connaître l'imbrication entre Economie, Institutions et Environnement, plate forme commune à toutes les activités humaines présentes et futures.

Une des majeures difficultés que rencontrent aujourd'hui les pays latino américains est le démantèlement de la bureaucratie qui entrave souvent les processus administratifs et légaux par sa lourdeur et son inefficacité.

La centralisation a créé un secteur public paralysé par une trop grande concentration des responsabilités et un excès de personnel peu ou mal formé. Le secteur public est caractérisé par un manque d'efficacité dans l'exécution des programmes et une prolifération d'unités de projet aux compétences mal définies ou redondantes.

Le secteur public traitant de foncier en Amérique Latine met en jeu des processus administratifs extrêmement longs, opaques et complexes qui donnent naissance à un secteur parallèle informel.

Une constante des pays d'Amérique Centrale est l'absence de sécurité juridique des transactions foncières. Cela joue un rôle sur l'Environnement et le développement économique, notamment de la frange pauvre de la population, mais cela limite considérablement l'investissement du fait de l'absence de garanties (sûreté).

Par exemple, El Salvador et Guatemala, dévastés par les guerres civiles internes ont fini par signer des accords de paix

(*Acuerdos de Paz*) dans les années 1990. Ces accords de paix incluent la mise en place d'un système foncier garantissant la sécurité et la sûreté juridiques de la propriété, de la possession et de l'usage de la terre afin de favoriser l'investissement économique et l'harmonie sociale.



■ L'expertise française

La mission des experts français consistait dans un premier temps, à évaluer les nécessités et à recenser les programmes et les ressources existant en matière foncière. En effet la qualité et la pérennisation des programmes de mise en place de systèmes fonciers globaux et multifonctions dépendent en grande partie de la qualité du personnel qui travaille dans ce milieu : institutions étatiques comme secteur privé participent aux projets actuels et devront se charger de la maintenance des systèmes dans le futur.

Au vu des résultats de cet inventaire, les experts ont proposé un plan régional de formation professionnelle, plaidant en faveur de la mise en place d'un réseau régional afin d'optimiser les compétences et diminuer les coûts de formation.

Le groupe d'experts a finalement organisé un séminaire pour présenter, discuter et entériner le plan régional de formation professionnelle en matière foncière.

■ L'inventaire et le diagnostic

Afin de dresser l'inventaire des programmes, ressources et nécessités existantes, de nombreuses entrevues ont été menées auprès des représentants : ■■■

- ■ ■ 1. du secteur privé qui est hiérarchisé en organisations syndicales de professionnels liés au foncier comme les topographes, les avocats ou les notaires
 - 2. du secteur public : cadastre, registre de la propriété, IGN, réforme agraire, etc
 - 3. du secteur académique
 - 4. de la composante foncière des projets de modernisation de l'Etat
- Ceci a permis de broser un panorama du secteur foncier et d'établir un comparatif des systèmes existants et des perspectives d'avenir au vu des projets de modernisation.

■ Le secteur privé

Le secteur privé est le creuset de la main d'œuvre indispensable à la mise en place puis à la mise à jour des systèmes cadastraux. Si tous les pays n'ont pas le même niveau technico juridique de base, tous souffrent d'une carence en spécialistes en géodésie, en photogrammétrie ou en technologie de l'information.

■ Le secteur public

Tous les cadastres (*Catastro*) sont obsolètes, extrêmement désactualisés et ne couvrent généralement pas la totalité du territoire.

Cette administration est très souvent le parent pauvre du foncier. Elle fonctionne quasi sans moyens et avec peu de personnel souvent sous-qualifié. Les pays centroaméricains disposent majoritairement du feuillet personnel (*folio personal*) et tendent à se moderniser en mettant en place le feuillet réel (*folio real*).

Le système est généralement déclaratif et aucun pays n'impose l'inscription des mutations au Registre de la propriété (*Registro de la Propiedad*). Le taux d'actualisation des registres ne dépasse pas 30% des parcelles enregistrées, ce qui, paradoxalement n'empêche pas de compter avec une superficie inscrite souvent supérieure à la superficie nationale.

Dans aucun des pays d'Amérique Centrale, Cadastre et Registre de la Propriété ne sont liés et ne s'autoalimentent. Aujourd'hui seul El Salvador a mené à bien un projet d'intégration des deux institutions (*Cadastre et Registre*) dans un département du pays, et ce dans le cadre d'un projet pilote de la Banque Mondiale.

Les Instituts géographiques (*Instituto Geográfico Nacional*) sont des institutions, en général très mal dotées, logées dans des bâtiments vétustes et utilisant des matériels obsolètes. Mais sous l'impulsion de jeunes directeurs désireux de s'ouvrir au futur, ces instituts se sont intégrés au réseau latino américain des IGN. Ils sont de plus en plus souvent inclus dans les projets de modernisation. Certains pays ont bénéficié de donations lors des catastrophes naturelles (tremblement de terre, ouragans, etc...) bénéficiant ainsi de ressources et de données modernes comme les images satellitaires par exemple.

Durant tout le XX^e siècle, la distribution des terres a été très inégalitaire et souvent maintenue par la force. La structure agraire a été établie à travers un exode massif de petits producteurs (indigènes ou métis) pour favoriser la culture extensive du café dans la seconde moitié du siècle mais aussi le développement de l'élevage, de la culture du coton ou de la canne à sucre par les grands propriétaires terriens.



Les réformes agraires (*Reforma agraria*) mises en place dans les années 1980, comptent encore avec des agences chargées de l'acquisition et de la distribution des terres agricoles et jouent donc un rôle important dans le paysage foncier de ces pays.

Le secteur académique

Chaque pays compte avec un système universitaire où les carrières techniques comptent peu d'étudiants (1 % de la population étudiante) contrairement aux carrières juridiques qui sont elles très prisées et courues (25 % des étudiants). Cela est dû principalement au manque de prestige du métier d'ingénieur par rapport à celui d'avocat.

L'inventaire a permis d'estimer qu'à l'horizon 2005, les projets fonciers en Amérique centrale nécessiteront de former plusieurs milliers de personnes (25000 environ) à tous les niveaux techniques et juridiques, tant dans le secteur privé que dans le secteur public, relais incontournable de la mise à jour et du maintien du système foncier.

Ressources humaines et capacités de formation pour développer ces systèmes fonciers globaux existent mais sont souvent sous-dimensionnées pour pouvoir répondre à la demande.

Par exemple, le Costa Rica (en collaboration avec la coopération allemande) et Panama (grâce au Canal) ont développé au cours des trois dernières décennies, des écoles spécialisées dans le domaine foncier et plus particulièrement dans celui du cadastre.

Plus récemment le Guatemala a créé une école de Cadastre qui s'occupe de former tout le personnel nécessaire à l'accomplissement de la composante foncière des Accords de Paix.

Le Nicaragua a lui, mis l'accent sur la formation des juristes spécialisés en matière de résolution des conflits et d'inscription des titres de propriété. Par contre il n'existe aucune structure technique dans ce pays.

Les projets de modernisation

Chacun des six pays étudiés a développé ou est en passe de développer un projet de modernisation de l'Etat au sein duquel sont incluses la modernisation des registres de propriété et du cadastre. Ces projets sont à l'initiative de bailleurs de fonds comme la Banque Mondiale et sa banque régionale, la Banque Interaméricaine de Développement (BID), l'Union Européenne et les agences bilatérales de développement. Ces projets sont motivés par la nécessité d'assurer juridiquement la propriété privée, condition indispensable à l'accès au crédit et à la lutte contre la pauvreté qui localement, touche des millions de personnes.

Même si ces projets peuvent varier en fonction des caractéristiques intrinsèques à chaque pays, les systèmes fonciers actuels et les processus mis en

œuvre pour moderniser l'Etat présentent de nombreux points communs (techniques, législatifs ou institutionnels) qui permettent ainsi d'envisager une synergie régionale et une mise en commun des compétences.

Par ailleurs la décentralisation de compétences de l'Etat aux collectivités locales (les municipalités en général) qui émane des lois de modernisation de l'Etat, obligera à compter avec un personnel qualifié dans des thèmes aussi divers que la topographie, l'ingénierie municipale, l'administration et la gestion du personnel et des ressources. Toutes ces considérations ont conduit le groupe d'experts à proposer un plan régional permettant d'assurer dans l'avenir la formation professionnelle des acteurs de la mise en place et de la maintenance des systèmes fonciers créés.

Le séminaire et l'avenir



Quelques 150 personnes ont répondu présentes à l'invitation au séminaire. Celles-ci représentaient les six pays et tous les secteurs (projets de modernisation, secteurs publics, privés et académiques).

Les participants ont été répartis en deux grands groupes de travail, traitant l'un des programmes de formation (juridiques, techniques et d'administration des entreprises) et l'autre du plan régional de formation dans ses composantes institutionnelles, opérationnelles et de formation continue.

Les objectifs de ces groupes de travail étaient de débattre afin de

1. Proposer les grandes lignes d'une structure institutionnelle et exécutive permettant de mettre en adéquation

formation professionnelle existante et ressources

2. Observer tous les niveaux de formation (initiale, formation continue et mise à niveau conjoncturelle) et les programmes juridiques, techniques et d'administration des entreprises

3. Proposer un plan de formation de professionnels ayant une vue générale sur l'ensemble des thèmes relatifs à l'Administration des terres

4. Constituer une mémoire institutionnelle permettant de ne plus disperser les investissements et les acquis

5. Développer rapidement un schéma de réseau de formation continue, outil incontournable face aux incessantes avancées technologiques.



Les groupes ont discuté et amendé les propositions faites par le groupe des experts français. Ce faisant, les participants se sont appropriés le projet. Un groupe régional de pilotage constitué de représentants fortement impliqués dans le domaine foncier s'est formé et s'est engagé à mettre en place rapidement, les bases du plan régional de formation. ●

Conclusion

Les programmes et les connaissances varient dans le temps car la technologie évolue mais aussi les relations de l'Homme avec la Terre. Le plan régional ne sera donc pas un outil de planification mais devra être un projet autour duquel se construira un réseau de formation professionnelle qui prendra en compte toutes les composantes pertinentes de la région, en développant des projets pilotes permettant de mesurer son efficacité et de régler ses compétences.

Références

[1] Mac Neill J. *Environnement management*, Government of Canada (1971)

[2] Baumgärtner U. *La cuestión agraria en El Salvador* Ed. Heinrich Böll (1997)

[3] FIEF-SOFRECO. *Informe final de la auditoria de programas y recursos para la capacitación en gestión de Tierras en America Central*. Rapport (2002)

[4] Coordinacion de ONG y cooperativas CONGCOOP. *El catastro : Instrumento para le desarrollo nacional* Magna Terra editores SA (2001)

Contacts

Claire Galpin
Géomètre expert Consultant international
14, rue des anciens moulins
88240 Bains les Bains
claire.galpin@wanadoo.fr

FIEF - Fédération Internationale pour les Etudes Foncières
5, rue Greffühle - 75008 PARIS
fief2@wanadoo.fr

SOFRECO - Société Française de Réalisations d'Etudes et de Conseils
92-98, Boulevard Victor Hugo
92100 CLICHY
agro@sofreco.com

ABSTRACT

Central American countries have embarked on national land administration programs. These programs aim at improving security of land tenure and expanding access to land and are critical to sustaining peace and economic development in the region. The World bank and other international developing agencies are involved in these land administration projects in Central America and Panama. The success of these programs is key for the region. The lack of qualified human resources might severely affect land administration project success and sustainability of land reform. It is one of the main conclusions of regional workshops. The purpose is to evaluate existing training programs and resources available in Central America and to propose a regional training action plan for the future.

les bases de données de l'aménagement du

■ Ouméria MISSOUMI

Dans beaucoup de pays l'information cadastrale dépasse les limites du foncier juridique et tend de plus en plus à être plus complète et plus polyvalente pour jouer un rôle de premier plan dans l'aménagement du territoire. Le rôle que peut jouer par exemple le Cadastre dans la revitalisation et la gestion des villes est à la source même de l'aménagement du territoire. La mise en valeur du patrimoine immobilier urbain s'accompagnant de démolition totale ou partielle d'immeubles, se réalise par des procédures d'expropriation, d'acquisition, et d'échanges qui nécessitent des états des lieux précis, des évaluations incontestables et des arbitrages délicats. La disponibilité de données sous un format numérique, intégrées dans une base de données cadastrales permettra non seulement la mémorisation de l'information et sa mise à jour rapide, mais aussi, par le biais de logiciels appropriés, de réaliser toutes sortes de requêtes complexes, s'appuyant sur une combinaison de l'information. Le quartier Ibn Rochd de la ville d'Oran a servi de zone pilote dans le cadre de la mise en place d'une base de données du cadastre foncier, dont la méthodologie et les résultats sont présentés dans le présent article.

■ MOTS CLES

Aménagement du territoire – Cadastre foncier – Base de données – SIG.

Le développement de la politique foncière, la maîtrise de notre environnement et notre patrimoine immobilier ne peuvent réussir en l'absence d'un cadastre efficace. Il constitue un instrument indispensable au fonctionnement du marché foncier et à l'encouragement de l'investissement dans les secteurs de l'agriculture, l'industrie et l'habitat. L'identification et la localisation dans l'espace et dans le temps, et l'évaluation de la propriété foncière qu'elle soit publique ou privée sont ses missions fondamentales.

Deux contraintes conditionnent l'évolution du cadastre en Algérie et le maintiennent au stade de développement et de continues mutations :

- l'Algérie est un pays important de par sa taille et hétérogène de par la nature de son environnement et son développement socio-économique;
- la structure de la propriété aussi bien privée que publique est très instable.

Les mutations nombreuses et successives ont rendu l'organisation et la gestion de la propriété immobilière encore plus difficile. Les méthodes classiques ont justifié leur fiabilité, mais ont prouvé leur incapacité de suivre ce rythme d'évolution vu leur lenteur dans la gestion, le stockage et la mise à jour de l'information.

Aujourd'hui, partout dans le monde, l'accélération de la production de l'information géographique est solutionnée par le développement croissant et rapide de l'outil informatique. Dans cette optique et par le biais de l'Agence Nationale du

Cadastre (ANC), l'Algérie a lancé un vaste programme de modernisation du cadastre établie sur une dizaine d'années en collaboration avec la banque mondiale. Le projet aidera les différentes institutions à préparer des Systèmes d'Information Foncières (SIF) sur la base des plans cadastraux et des données du registre foncier. Ces systèmes seront utiles pour la gestion des ressources en eau, la gestion du territoire et le contrôle de l'environnement. Parmi les objectifs, émane le développement de prototype de système d'information à référence spatiale optimisant la gestion et la mise à jour de l'information foncière.

A l'aide des données cadastrales du quartier Ibn Rochd de la ville d'Oran, l'accent est notamment porté sur la mise en forme d'une base de données à référence spatiale représentative de l'état descriptif et juridique de la propriété foncière.

Représenter une réalité par des données : démarche et méthode

Une base de données peut contenir une quantité illimitée d'informations géographiques, directement ou indirectement référencées. Le regroupement de ces informations en ensembles indépendants, logiquement reliés, permet à l'utilisateur de donner un sens à cette masse de données et constitue un cadre dans lequel il est possible de procéder à des interrogations et à des analyses nécessaires à la prise de décision.

Comment passer d'une réalité par nature extrêmement complexe à des données structurées ? Là est le problème de la

cadastrales au service territoire

méthode et l'organisation qui sont des facteurs très importants dans la mise en œuvre d'un tel projet.

Une base de données dans quel but ? Avec quelle justification ? Pour traiter quel problème ? Répondre à quelle question ? Une base de données dans quelles conditions ? Avec quels outils ? Dans quel environnement logiciel et matériel ? A partir de quelles données ?

Répondre à ces questions, nécessite un travail par étapes. Il faut donc procéder successivement à :

- un inventaire de l'existant et une analyse des besoins,
- une modélisation et une structuration conceptuelle des données,
- un choix de l'architecture du système utilisé,
- et enfin, l'implémentation de la base de données.

Résumé du projet du quartier Ibn Rochd :

Souvent, élaborer une théorie sur des concepts ne suffit pas à mettre en place un projet. Il est parfois nécessaire de montrer réellement l'impact qu'ils peuvent avoir lors de leur mise en œuvre et par conséquent le meilleur moyen pour le faire, demeure l'application sur le terrain.

Les objectifs de l'étude du projet ont nécessité l'implémentation d'une maquette, qui a été réalisée sur le SIG ARC/INFO. La zone pilote a été limitée au site du quartier Ibn Rochd car, l'implémentation d'une base de données sur une zone plus étendue, aurait nécessité des moyens en personnels, en matériels et en temps considérables, ce qui ne constitue pas l'objectif principal du projet. Aussi se limiter à un quartier, semble suffisant pour tester des aspects théoriques de notre approche.

■ Présentation du site d'étude :

La commune d'Oran (figure 1) est une commune totalement urbaine, composée de 33 quartiers. Le quartier Ibn Rochd (figure 2) se situe dans la zone Est de la ville, il est limité par les quartiers Seddikia, El mactaa, Omaria et la mer Méditerranée au nord.

Ibn Rochd est un quartier d'environ 300 hectares, regroupant approximativement 900 propriétaires. Il est caractérisé par un habitat très dense de type maison individuelle. Le choix de ce site a été guidé par les critères suivants :

- existence de plans cadastraux de l'ensemble du quartier,
- disponibilité des données émanant des travaux d'enquête et délimitation,

- accord des responsables de l'Antenne Locale du Cadastre d'Oran concernant l'exploitation des données.



Figure 1 : Commune d'Oran Extrait de la carte INCT : 1/25000



Figure 2 : Quartier Ibn Rochd

■ Choix du logiciel :

Le choix du logiciel s'est porté sur ARC/INFO développé et commercialisé par la société ESRI (Environmental Systems Research Institute). Parmi les éléments qui ont motivé ce choix, nous retiendrons :

En premier lieu, ceux liés aux principes de base sur lesquels est construit ARC/INFO. Ce logiciel possède les caractéristiques suivantes :

- Il possède un modèle de données généraliste. Avec pareil modèle, un SIG a la capacité de gérer à la fois des données cadastrales, ■■■

- du réseau routier, du sol, Modèle Numérique de Terrain, etc.
- Le modèle ARC/INFO est aussi géo-relationnel, il offre la possibilité de construire ou détruire simultanément la description graphique et l'enregistrement descriptif d'une couche d'information.

En second lieu, des arguments techniques relatifs aux données s'ajoutent à ceux énoncés précédemment. Conformément aux besoins identifiés en données foncières cadastrales, il faut :

- Un SIG vecteur : dans la réalité le cadastre identifie les propriétés et leur attribue une immatriculation. Le format vecteur permet d'individualiser les objets et de les modéliser par une géométrie. En outre, les limites des propriétés cadastrales ont un sens juridique, ce qui nécessite une précaution dans leur détermination. Avec le format vecteur, cette précision est garantie.
- SIG topologique : le cadastre gère des informations à référence spatiale liées à la propriété foncière, à sa forme, sa situation et sa consistance physique. La topologie rend possible l'exploitation des données à des fins d'analyse spatiale.
- Système de Gestion de Base de Données (SGBD) relationnel : le système cadastral étant en plein développement, on assiste à de continus changements. Par rapport aux SGBD classiques, le modèle relationnel semble s'adapter le mieux aux données cadastrales. Il est moins rigide, plus facile à mettre en œuvre et extensible. En plus, il demeure le plus performant à ce jour, le modèle "orienté objet" étant encore au stade expérimental dans notre pays.

■ Saisie et structuration de données

Un ordinateur ne manipule que des données qui sont des phénomènes physiques porteurs d'information. Pour la mise en place d'une base de données, une structuration conceptuelle des données est indispensable. Celle-ci est définie comme étant l'organisation des différents objets géographiques d'une réalité dans une base de données et a pour fonction de permettre des traitements ultérieurs nombreux variés et aboutissant à des résultats répondant aux exigences de l'utilisateur. Par conséquent, des données correctement saisies et suffisamment structurées garantissent la fiabilité et la diversité de l'information recherchée. Dans le cas de l'application du quartier Ibn Rochd, Nous avons à notre disposition les plans cadastraux sur support papier, à

l'échelle du 1/500. Sachant que tous les logiciels SIG favorisent la structure en couches d'information (layers), le plan cadastral a été digitalisé en plusieurs couches traitées séparément :

- les limites des parcelles,
- les rues (représentées par leurs axes),
- les objets ayant une représentation géométrique linéaires (trottoirs, clôtures, lignes électriques),
- les objets ayant une représentation géométrique ponctuelle (bornes, regards, poteaux électriques etc.
- les limites du bâti,

Avant de commencer cette opération de saisie, un important travail de structuration a été effectué. Il s'agissait surtout de choisir judicieusement le contenu de chaque couche d'information et de préciser toutes les spécifications liées aux données.

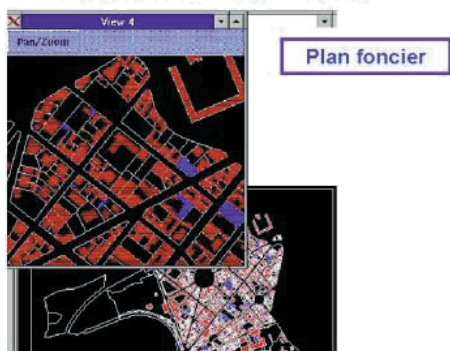
Les données alphanumériques du registre foncier ont été organisées dans des fichiers littéraux, structurés selon les spécifications du modèle relationnel du SGBD d'Arc/Info.

■ Interrogation et analyse des données:

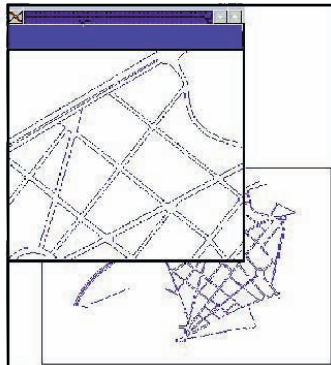
Les SIG offrent des instruments puissants qui permettent à l'utilisateur d'analyser en détail les informations spatiales et alphanumériques contenues dans la base de données.

- Le premier résultat souhaité est évidemment de disposer de plans de contenus et d'échelles diversifiés. Le plan cadastral étant structuré et numérisé selon des couches d'informations différentes et indépendantes, l'édition de plans d'information différente (échelle, symboles, choix des thèmes...) en fonction de l'expression de l'utilisateur est réalisable. A titre d'exemple on peut citer : le plan d'ensemble, le plan foncier, le plan de voirie.
- Une deuxième famille d'avantages est liée à la flexibilité qu'apporte le système graphique dans la représentation des informations contenues dans la base de données. Il suffit par exemple de formuler à l'aide du langage SQL une question sur une propriété foncière pour connaître immédiatement toutes les informations la concernant.
- La troisième classe d'intérêts qu'offre ce genre d'application est la possibilité de mettre à la disposition de l'utilisateur un véritable dialogue avec la machine basé sur le principe des requêtes dépendant de critères spatiaux.

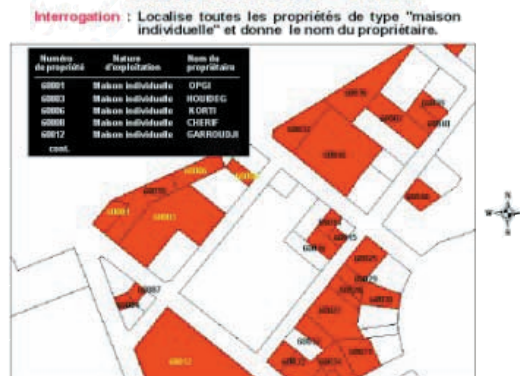
Extrait Ibn Rochd - ORAN.



Extrait Ibn Rochd - ORAN



Extrait Ibn Rochd - ORAN.



Conclusion

Ces dernières années nous ont fait prendre conscience de l'accroissement important des besoins en information foncière, puisque dans tous les domaines, l'utilisation du sol est devenue intensive. Dans le cadre urbain, on assiste à un développement rapide qui conduit vers un accroissement des besoins en plans et cartes à toutes les échelles avec des contenus diversifiés dans des délais rapides.

L'apparition de ces nouveaux besoins rend les méthodes classiques inadaptées mais une structuration des données sous un format numérique et leur intégration dans un SIG facilitent l'accès, le traitement et la mise à jour de l'information.

Les résultats des exemples exprimés à partir du quartier Ibn Rochd, constituent une liste indicative de la diversité des requêtes qui peuvent être formulées dans un tel prototype. Ce genre d'interrogation de l'information géographique peut avoir une réponse rapide en comparaison avec les méthodes classiques qui nécessitent un temps considérable.

Ce projet pourrait aussi évoluer vers un Système d'Information Urbaine (SIU) à référence spatiale plus complet qui permettrait par exemple :

- la localisation des réseaux publics d'égout, d'électricité, d'aqueduc, de voirie et de téléphone,
- la description complémentaire sur les propriétés et intégration des photos numériques à la base de données,
- des informations sur la population (registre de recensement, taux sur le chômage, spécificités des activités dominantes)
- le développement et la mise en place des infrastructures et des grands équipements, etc. ●

Remerciements

La réalisation d'un projet est largement tributaire de l'environnement dans lequel il se situe. Cette étude représente une partie d'un projet de recherche du Centre National des Techniques Spatiales. Elle a été réalisée grâce à un financement DCRSDT/MESRS dans le cadre des Programmes Nationaux de Recherche. Je voudrais également remercier les responsables de l'Agence Nationale du Cadastre (ANC) ainsi que ceux de l'Antenne Locale d'Oran pour leur précieuse contribution.

Références bibliographiques

BANQUE MONDIALE (93). *Documentation foncière générale : Rapport d'évaluation du projet "Etablissement de la DFG" en Algérie.*

F. DE BLOMAC, HUBERT M. (94). *Arc/Info concepts et applications en géomatique.* Edition HERMES.1994.

E. DIDON (90). *Systèmes d'information géographique : Concepts, fonctions et applications.* Laboratoire commun de télédétection CEMA-GREF/ENGREF- Montpellier.

P. EGSBORG (91). *Mise en oeuvre du système sur le morcellement foncier par la méthode des bases de données.* Division des levés officiels - Centre canadien des levés (Energie, Mines et ressources).

JL.-G. ENSSEN. (87). *Règlement d'aménagement du terrain. Comité de l'habitat, de la construction et de la planification. Séminaire sur les règlements techniques de construction et d'aménagement de terrain.*

R. LAURINI & F. MILLERET (93). *Base de données en géomatique.* Edition HERMES.1993

Contacts

Ouméria Missoumi - Centre National des Techniques Spatiales
1, avenue de la Palestine. BP. 13 Arzew 31200 Algérie
Tel. +21341472217 - Fax. +21341473454 - Missoumio@cnts.dz

ABSTRACT

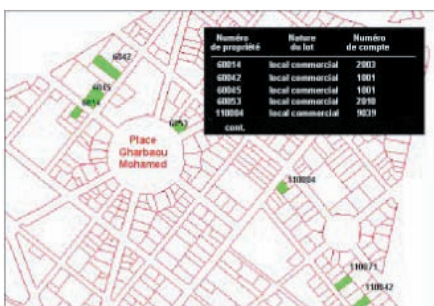
In many countries, the cadastral information goes beyond the legal land limits and tends more and more to be complete and more polyvalent to play an important role in the territory restoration. The role that could for example be played by cadastre in revitalisation and town management is the basis of territory management. The put forward of the urban land patrimony accompanied of partial or total buildings demolition, is realised with expropriation procedures, acquisition and exchanges which necessitate a precise inventory, incontestable evaluations and delicate arbitrages. The availability of digital data, integrated in a cadastral data base will allow not only the memorisation of the information and its rapid update, but also using appropriate software, to make all sort of complexes requests . Ibn rochd neighbourhood was used as a pilot zone to set up a cadastral data base, which methodology and results are presented in the present paper.

KEYWORDS :

Territory restoration - Land Cadastre - Data base - GIS.

Extrait Ibn Rochd - ORAN.

Interrogation : Localise toutes les propriétés possédant un local de nature commerciale et donne le numéro de compte du propriétaire.



Extrait Ibn Rochd - ORAN.



Extrait Ibn Rochd - ORAN.

Interrogation : Localise toutes les propriétés de type commercial, dans un rayon de 200 mètres du rond point.



Le positionnement sur les équipes sismiques de la compagnie générale de géophysique

■ Frederic TERRAND

La recherche de pétrole s'était, pendant longtemps confinée à des terrains accessibles, dont l'exploitation ne posait pas de problème majeur. Aujourd'hui les zones "faciles" ayant été exploitées, les campagnes d'exploration des compagnies pétrolières ont lieu dans des zones d'accès beaucoup plus difficile. L'apparition des techniques IGS a été une aide considérable car elle a permis de déterminer une position absolue dans endroits très reculés. Dans la majorité des cas lorsque l'environnement le permet, le GPS temps réel est mis en oeuvre, et même si quelques missions utilisent du positionnement par méthode inertielle, les techniques conventionnelles restent encore majoritairement employées dans les zones masquées. Les recherches d'hydrocarbures confiées par nos client à CGG, portent également sur des zones côtières ou le positionnement doit être réalisé pour moitié à terre et pour moitié en mer et en zones peu profondes. Hormis des facultés d'adaptation importantes, la qualité principale demandée à nos topographes est la rigueur : en effet si les tolérances qui nous sont imposées sont en général assez larges, en revanche, le contrôle qualité est délicat à mener du fait de la grande quantité de données.

C'est en 1931 que les frères SCHLUMBERGER et la Société Géophysique de Recherches Minières (SGRM) qui dispose de la licence du procédé sismique, créent la C.G.G.

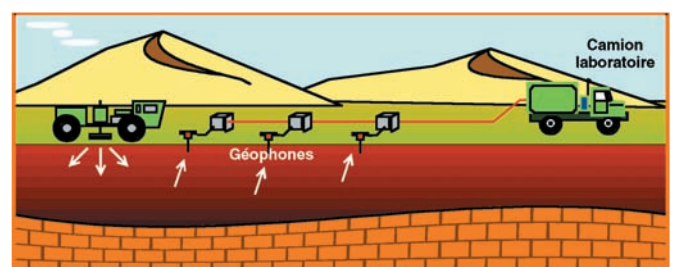
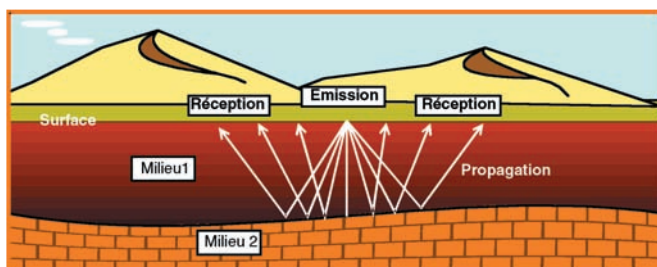
Dès lors, la Compagnie Générale de Géophysique, qui a réalisé la première étude sismique réflexion en 1934, n'a cessé d'être un acteur prépondérant de l'exploration pétrolière.

La sismique réflexion est la méthode privilégiée de prospection à terre comme en mer. Elle consiste à provoquer, en surface ou à faible profondeur, un ébranlement du sol. Des sis-

mographes, disposés en surface, recueillent les ondes acoustiques réfléchies par les différentes couches de terrain dans lesquelles les ondes se propagent.

Les signaux acoustiques, transformés par les sismographes en signaux électriques, sont enregistrés sur bande magnétique par le laboratoire de terrain.

Des mesures répétitives sont exécutées le long de lignes rectilignes ou "profils", dont le maillage plus au moins dense est adapté à l'objectif géologique recherché.



Le traitement des bandes magnétiques sur ordinateur, dans un centre spécialisé, conduit à des "sections" donnant une coupe détaillée des terrains dans le plan vertical de chaque profil.

Pour réaliser cette "carte" du sous-sol, la connaissance de la position en surface de l'ensemble des capteurs et des sources qui sont utilisés est indispensable.

Le positionnement à la C.G.G. couvre des domaines très vastes allant de la géodésie, avec la détermination de réseaux de points d'appui, au levé de détails, en passant par le positionnement en mer.

En effet, pour toute étude, nous devons commencer à déterminer ce que nous appelons le réseau primaire, à savoir les points qui composeront la base sur laquelle sera positionné l'ensemble des travaux sismiques.

La recherche pétrolière est maintenant présente dans des endroits très reculés, où les accès sont difficiles, et les infrastructures quasi inexistantes. Dans ces conditions, trouver des points d'appui existants et fiables, est une véritable gageure.



Levé statique d'un point d'appui (Grèce)

C'est pourquoi, depuis quelques années maintenant, nous réalisons systématiquement une détermination d'un ou plusieurs points IGS sur toutes les missions sur lesquelles nous sommes amenés à travailler.

L'avènement de cette technique a permis, non seulement d'homogénéiser nos méthodes, mais également de posséder une base saine de travail.

Nous utilisons des récepteurs bifrquences et nous restons en station pendant une durée variant de 48 à 72 heures. Tous les topographes travaillant à la CGG ont été formés sur le traitement des données IGS, malheureusement, les liaisons Internet sont souvent encore très mauvaises (si elles existent), et il est impossible de concevoir un traitement efficace en restant sur site, sauf dans de très rares cas.

Donc le data enregistré est ensuite envoyé au centre technique de Massy, où le traitement est réalisé.

Pour ce traitement, nous essayons d'utiliser au moins 4 stations IGS environnant le lieu à déterminer, mais il n'est pas rare de voir des réseaux contenir jusqu'à 6 stations. En effet, les données enregistrées au terrain sont souvent de qualité assez médiocre du fait de l'environnement et des contraintes d'enregistrement. A nous ensuite, d'en extraire la meilleure solution possible.

Les éphémérides précises (ou rapides) que nous téléchargeons depuis le site internet de l'IGN, permettent de réaliser des calculs de longues lignes de base avec une précision finale de l'ordre de la dizaine de centimètres. Les solutions conservées sont en général des solutions de type "float", car la fixation des ambiguïtés entières sur de telles distances n'est plus possible avec une certitude suffisante.



GPS station sur un helipad

Après avoir déterminé un ou plusieurs points selon cette technique, suit ensuite une mise en œuvre beaucoup plus classique d'observation de lignes de base selon le mode statique (durée des sessions d'environ 1 heure). Quelques points sont créés aux bornes de l'étude, de façon à créer un réseau d'une dizaine de points au maximum. Une fois ajusté, ce réseau pouvant couvrir des superficies de quelques dizaines de kilomètres carrés à plusieurs centaines de kilomètres carrés va ensuite nous permettre de réaliser en statique rapide une densification adaptée à nos besoins.

A partir de ces positions, le travail d'implantation et de levé de l'ensemble des positions sismiques va pouvoir être réalisé. Les méthodes que nous employons sont très diverses et dépendent, bien entendu, en premier lieu du type de terrain rencontré.

Dans le cas d'études terrestres, la méthode la plus couramment utilisée est l'implantation / levé des positions sismiques au moyen de récepteurs GPS bifrquence fonctionnant selon le mode RTK (Real Time Kinematic). Avec l'apparition du mode d'initialisation OTF (OnThe Fly), cette technique qui était déjà la technique temps réel la plus précise, est devenue également la plus productive dans des environnements dégagés ou de type désertique.



Montage d'une station différentielle (Grèce)

De plus, si les méthodes dans ce domaine ont relativement peu évoluées ces dernières années, en revanche le matériel disponible de nos jours est infiniment plus fiable et plus simple à utiliser. La nécessité de former des opérateurs pour chaque nouvelle étude explique notre engouement pour cette méthode.

Dans les terrains masqués (zones urbaines ou forêts), la principale méthode employée reste la goniométrie, au moyen de stations totales. Cette méthode bien qu'ayant pu évolué, reste unique et incontournable dans la majorité des environnements difficiles dans lesquels nous sommes amenés à travailler. Ci-dessous, quelques exemples :



Levé de positions sismiques (Indonésie)



Levé de positions sismiques (Grèce)

Dans certains environnements mixtes, nous utilisons la méthode inertielle – ou le couplage inertie/GPS – qui permet de s'affranchir de zones d'ombres relativement courtes sans pour autant perdre de façon significative en précision. La centrale inertielle que nous employons est composée de trois gyroscopes laser et trois accéléromètres montés orthogonalement. De cette façon, après initialisation sur une position connue, les accélérations sont intégrées en distances, et à l'aide des gyroscopes nous pouvons donc déterminer avec précision la trajectoire suivie par le cœur de la centrale inertielle. La limite de cette méthode est la nécessité de recalage à vitesse nulle. En effet, gyroscopes et accéléromètres ont des dérives fonction du temps, de l'amplitude et du nombre de mesures.



Initialisation sur point connu (Autriche)

Il faut donc toutes les 2 à 3 minutes d'utilisation, réaliser une "pause" en laissant la centrale inertielle parfaitement immobile pendant une quinzaine de secondes. Cette période est particulièrement importante, le degré d'immobilité conditionne la suite des opérations, et un mouvement même faible pendant ce recalage provoque une dérive qui dégrade la précision du système. On comprend donc plus facilement que la traversée d'une courte zone boisée se fera sans encombre, en revanche sur une étude recouverte à 100% de forêt, le système sera beaucoup plus délicat à utiliser.



Opération en forêt dense et en zone plus dégagée, sur chenillette (Autriche)

Dans certains environnements mixtes, nous utilisons la méthode inertielle – ou le couplage inertie/GPS – qui permet de s'affranchir de zones d'ombres relativement courtes sans pour autant perdre de façon significative en précision. La centrale inertielle que nous employons est composée de trois gyroscopes laser et trois accéléromètres montés orthogonalement. De cette façon, après initialisation sur une position connue, les accélérations sont intégrées en distances, et à l'aide des gyroscopes nous pouvons donc déterminer avec précision la trajectoire suivie par le cœur de la centrale inertielle. La limite de cette méthode est la nécessité de recalage à vitesse nulle.

Le dernier type d'environnement que nous rencontrons est radicalement différent puisqu'il s'agit de missions dans lesquelles l'ensemble des éléments d'émission et de réception des ondes sismiques sont disposés à l'aide de bateaux.

Si le positionnement des différents bateaux reste classique (GPS, échosondeur et gyrocompas), en revanche la détermination des positions sources et récepteurs est assez particulière.

Dans le cas des récepteurs, il s'agit de déterminer la position d'un câble pouvant se trouver par 50 mètres de fond. Pour cela, le câble est auparavant équipé de transpondeurs acoustiques (appelés pingers), qui permettent, après interrogation par une sonde sur une fréquence attribuée, de connaître la distance entre la sonde et le transpondeur au fond de l'eau. Le bateau équipé de la sonde passera ensuite des deux cotés du câble, permettant de déterminer par intersection la position du transpondeur.

En ce qui concerne l'émission des ondes sismiques, elle est réalisée par le moyen de canons à air comprimé. Ces canons sont traînés à l'arrière du bateau, et la position à l'instant du tir est interpolée entre les différentes acquisitions (GPS, profondeur et gisement si nous travaillons en déport).

Là encore, l'adaptation à l'environnement rencontré peut être un véritable challenge, et si nous travaillons parfois dans des profondeurs acceptables (de 10 à 50m), il nous arrive de devoir opérer sur des zones où les profondeurs descendent à moins d'un mètre. Dans ces conditions, les bateaux employés sont particuliers - bateaux à fond plat-, et il faut prendre de nombreuses précautions pour la navigation.

Toutefois, d'une façon générale, sur l'ensemble de nos équipes aussi bien terrestres que Shallow Water, les tolé-

rances de positionnement qui nous sont demandées sont assez larges (de l'ordre du mètre), mais le contrôle qualité revêt une grande importance et nécessite une grande rigueur étant donnée la grande quantité de data qui arrive tous les jours au camp de base.

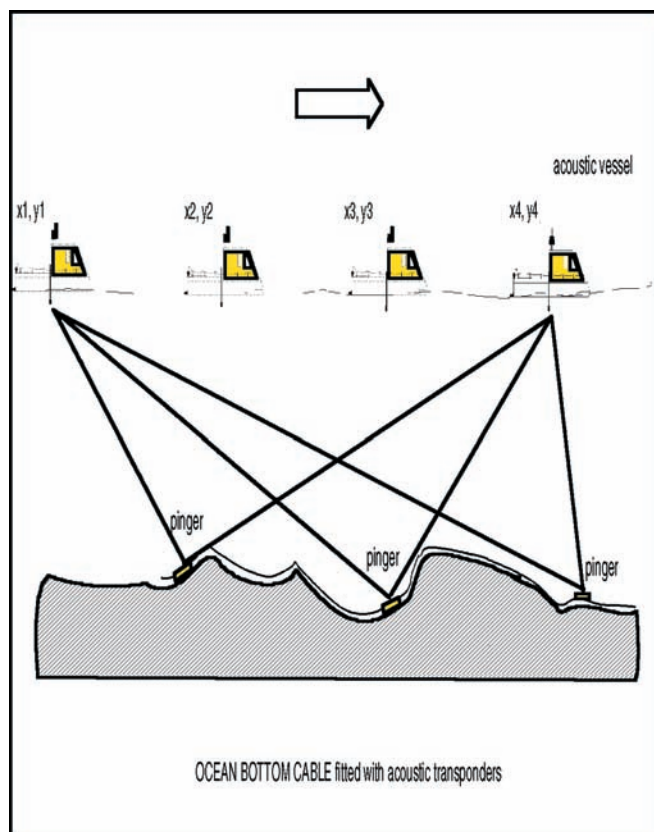
L'intérêt et la difficulté de notre métier résident dans cette adaptation continue des techniques et des méthodes à chaque type d'étude et à son environnement. Dans des pays toujours différents et dans des conditions de travail toujours nouvelles, nous devons mener à bien notre travail de topographe. ●

Frédéric TERRAND / CGG

Responsable département Topographie & Navigation



Bateau câblière sur une mission au large de l'Iran



ABSTRACT

Oil exploration has always been restricted to accessible areas, where exploitation was fairly simple. Nowadays, "easy" prospects having been explored, Oil companies are going to places where general conditions of work are much more difficult.

IGS techniques have become necessary to give us a reliable solution to determine absolute positions in very far regions of the world. After some references have been defined, several different techniques may be used, depending upon the type of environment. In the majority of the cases and if the terrain is adapted, real time GPS is chosen to be the main positioning method, and even if we see occasionally some inertial positioning on crews, conventional techniques remain widely used in masked areas. We have to realise some explorations in coastal zones, where half of the positioning has to be done onshore, and the second half offshore, and in areas of shallow waters.

Our exigency for our surveyors is, excepting a high capacity of adaptation, a good organisation: tolerances are very often quite large, but the quality control that has to be driven is rather difficult due to the big amount of data.

Ghislaine Escande :

■ JEAN-PIERRE MAILLARD



© Photo: G. Escande

En marge du dernier "Géo-événement", les quatorzièmes rencontres européennes de géomatique tenues en avril 2002 au Palais des congrès de la Porte Maillot à Paris, les participants ont pu faire connaissance du travail de Ghislaine Escande.

Les organisateurs du salon ont été heureusement inspirés de réserver une place à l'art contemporain qui apporte une récréation bienvenue dans une manifestation hyper technique. C'est pourquoi entre deux conférences et la visite des stands, chacun a pu croiser une démarche picturale et s'offrir, sans frais, un voyage dans l'imaginaire.

Sous le titre "Mappemondes" l'artiste a présenté une série de tableaux figurant un paysage à la fois planétaire et cartographique où les sphères dominent. Elles sont solides ou évanescences, gémées ou fusionnelles, gouttes d'eau sur le monde ou mondes sur un chaos. Le premier intérêt de l'œuvre de Ghislaine Escande est le choix du

matériau, la peinture ne constituant finalement qu'un appoint. Par son intermédiaire certains objets, certains papiers les plus ordinaires trouvent une nouvelle vie après usage. Déformés par les utilisateurs et modifiés par le temps ils trouvent toujours grâce auprès de la créatrice qui révèle leur présence en considérant : *"ils ont touchés, ils ont été touchés, ils nous touchent, ce sont des reliques"*.

Les papiers qui servent ses œuvres sont marouflés sur bois ou toile, les collages étant repris avec de la peinture acry-

Sans souci de l'échelle Ghislaine Escande assemble des morceaux de cartes diverses et de tous âges. Elle n'hésite pas à se faire rencontrer les montagnes et à guider les cours d'eau vers des mers inconnues. Ce faisant, elle dégage des paysages et des espaces nouveaux flottant dans un univers en filigrane orthonormé. Même un plan traîné dans la terre sera sauvé et réemployé tel quel ajoutant ainsi du crédit au titre géographique de telle toile. Ce constat souligne une volonté de relecture des cartes en faisant d'un tableau un quasi palimpseste, ce parchemin d'antan dont on a effacé la première écriture pour pouvoir écrire à nouveau.

Peinture à la carte

lique par adjonction de glacis. Tel est le cas des cartes anciennes qu'elle traite actuellement.

Sans souci de l'échelle Ghislaine Escande assemble des morceaux de cartes diverses et de tous âges. Elle n'hésite pas à se faire rencontrer les montagnes et à guider les cours d'eau vers des mers inconnues. Ce faisant, elle dégage des paysages et des espaces nouveaux flottant dans un univers en filigrane orthonormé. Même un plan traîné dans la terre sera sauvé et réemployé tel quel ajoutant ainsi du crédit au titre géographique de telle toile. Ce constat souligne une volonté de relecture des cartes en faisant d'un tableau un quasi palimpseste, ce parchemin d'antan dont on a effacé la première écriture pour pouvoir écrire à nouveau.

Le tableau présenté "Terres n°3", aujourd'hui dans une collection privée, met en scène deux terres sans qu'on sache s'il s'agit du recto verso de la même planète ou bien deux images successives du même astre en place pour une interprétation stéréoscopique. Comme les géographes, elle est conduite à donner une image plane d'un monde en trois dimensions dans la voie ouverte par les premiers maîtres grecs de la représentation terrestre Eratosthène et Claude Ptolémée en rappelant que ce dernier a dit *"la géographie est une imitation de la peinture de toute la terre"*. Mais, on l'a compris, sa représentation n'est pas seulement cartographique d'autant quelle voisine souvent avec le surréalisme. Pour s'en convaincre il suffirait de voir *"l'Europe après la pluie"*, une carte-maquette de Max Ernst exposée à Beaubourg jusqu'au 24 juin 2002 dans le cadre de l'exposition "La révolution surréaliste".

Outre "Mappemondes", sa galerie internet (www.escande.net) contient également d'autres séries, notamment "Terres" et "Paysages" dont certaines

œuvres constituent des nouveaux atlas *"à l'usage de ceux qui pensent que le monde change mais qu'il en restera toujours quelque chose"*.

On remarquera par ailleurs une série "Pavés" qui, pour d'aucuns rappellera un certain mois de mai. Recouverts d'une peau de papier, peinte façon pierre, ils racontent aussi bien l'histoire des minéraux que les techniques de construction dans une apparente légèreté. On voit que l'artiste fait mieux que le poète Pierre Ringard qui a commis : *"J'aurais pu pour te parler d'amour"*

*Glisser un mot dans ta boîte aux lettres
J'ai préféré lancer une pierre dans ta fenêtre*

Mais je n'ai pas osé mettre de papier autour."

Ghislaine Escande vit et travaille de son art en Val de Marne après une formation à "Saint-Charles", la section Arts plastiques de la Sorbonne, et à l'Ecole nationale des Beaux-arts de Paris. Elle espère un prolongement de sa rencontre avec tous les géo qu'ils soient "mètre", "mâtien", "graphe", "désien"... forte comme eux d'une commune passion pour les cartes. ●

Art et géométrie se doit de faire écho à l'exposition "Mondrian de 1892 à 1914 – Les chemins de l'abstraction" actuellement visible au musée d'Orsay.

Piet Mondrian mérite à lui seul un article tant l'aboutissement de son œuvre picturale s'inscrit dans le sujet de la présente rubrique. En attendant le moment venu de s'intéresser à une réalisation du maître hollandais, l'exposition du musée d'Orsay fait connaître et comprendre le cheminement du peintre dans le passage du figuratif à l'abstraction.



© 2002 Mondrian / Holtzman Trust / HCR International,
hcr600@mindspring.com

"L'arbre gris" ci-dessus, chronologiquement l'un des derniers tableaux présenté, constitue l'étape intermédiaire de son travail qui va l'entraîner vers une ascèse géométrique. Musée d'Orsay 62, rue de Lille 75007 Paris jusqu'au 14 juillet 2002.

Mission Madagascar

novembre 2001

■ PHILIPPE PELLEGRINI

Ingénieurs pour le Développement Et les Echanges (IDEES) est une association d'élèves de l'école d'ingénieurs ESME-SUDRIA de PARIS qui présente la remarquable particularité pour une association d'élèves d'avoir adopté une organisation qui pérennise ses missions et œuvre à Madagascar depuis 1994 dans la région de la commune d'Alakamisy-Ambohimaha, située à 11 heures de routes et de pistes au sud de la capitale.

Les élèves de IDEES financent leurs séjours en travaillant pendant l'année scolaire et sont chaque été une bonne dizaine à partir pendant un à deux mois sur place participer à la réalisation d'un équipement collectif ; ainsi peu à peu ces actions ont permis l'électrification du village et la construction d'une école.



La maîtrise de l'eau constitue un axe essentiel à tout développement en particulier en permettant un minimum d'hygiène et c'est dans cette voie que l'énergie des étudiants est employée.

Un comité de pilotage composé de professionnels soutient ces initiatives guide les étudiants dans leurs choix sur les méthodes et matériaux. Le village doit être alimenté en eau potable depuis des sources qui existent sur les hauteurs et c'est ainsi que GSF a été contactée pour fournir les plans et profils qui permettront aux ingénieurs hydrauliciens de la Générale des Eaux travaillant bénévolement pour IDEES de dimensionner canalisations et réservoirs que les étudiants fourniront et iront poser en compagnie des villageois.

Sur place les contacts, hébergements et autres soutien sont assurés par une communauté de religieuses très présente auprès de la population. Chaque matin 40 mn de marche sont nécessaires pour arriver au chantier où les mesures sont effectuées "à l'ancienne", au théodolite T1 sur mire, sous les regards d'abord inquiets puis amusés des habitants. Chaque soir des contrôles sommaires permettent de valider les mesures qui ont été traitées au retour en France.

Les événements récents ne permettront hélas pas aux étudiants de IDEES d'aller creuser les tranchées, poser les canali-

sations et construire les réservoirs qui devaient permettre la desserte en eau de plus de 200 personnes, l'année 2002 devenant ainsi la première interruption de cette belle aventure... Ce n'est que partie remise et nos remerciements, de la part de nos amis malgaches et des étudiants de IDEES, vont spécialement aux entreprises qui nous ont aidées matériellement, grâce à la générosité de leurs dirigeants et employés qui, tout en restant dans l'ombre, permettent à GSF de répandre un petit peu de bonheur ou de bien-être au cœur d'un immense pays souriant et accueillant.

En attendant que le site de GSF soit à nouveau opérationnel, n'hésitez pas à aller consulter celui de IDEES sur <http://idees.free.fr>, il vaut vraiment la peine. ●

GSF recherche un volontaire pour une mission de deux mois en novembre et décembre prochain avec l'équipe archéologique de la mission des TAAF consistant en relevés des bâtiments baleiniers du 18^e siècle aux îles Crozet et Saint-Paul dans les quarantièmes rugissants; volontaires supportant absolument la vie en groupe, petite rémunération et expérience unique. Envoyer CV au Président de GSF si intéressé...

François BODIN
15, rue Joyeuse 18000 BOURGES