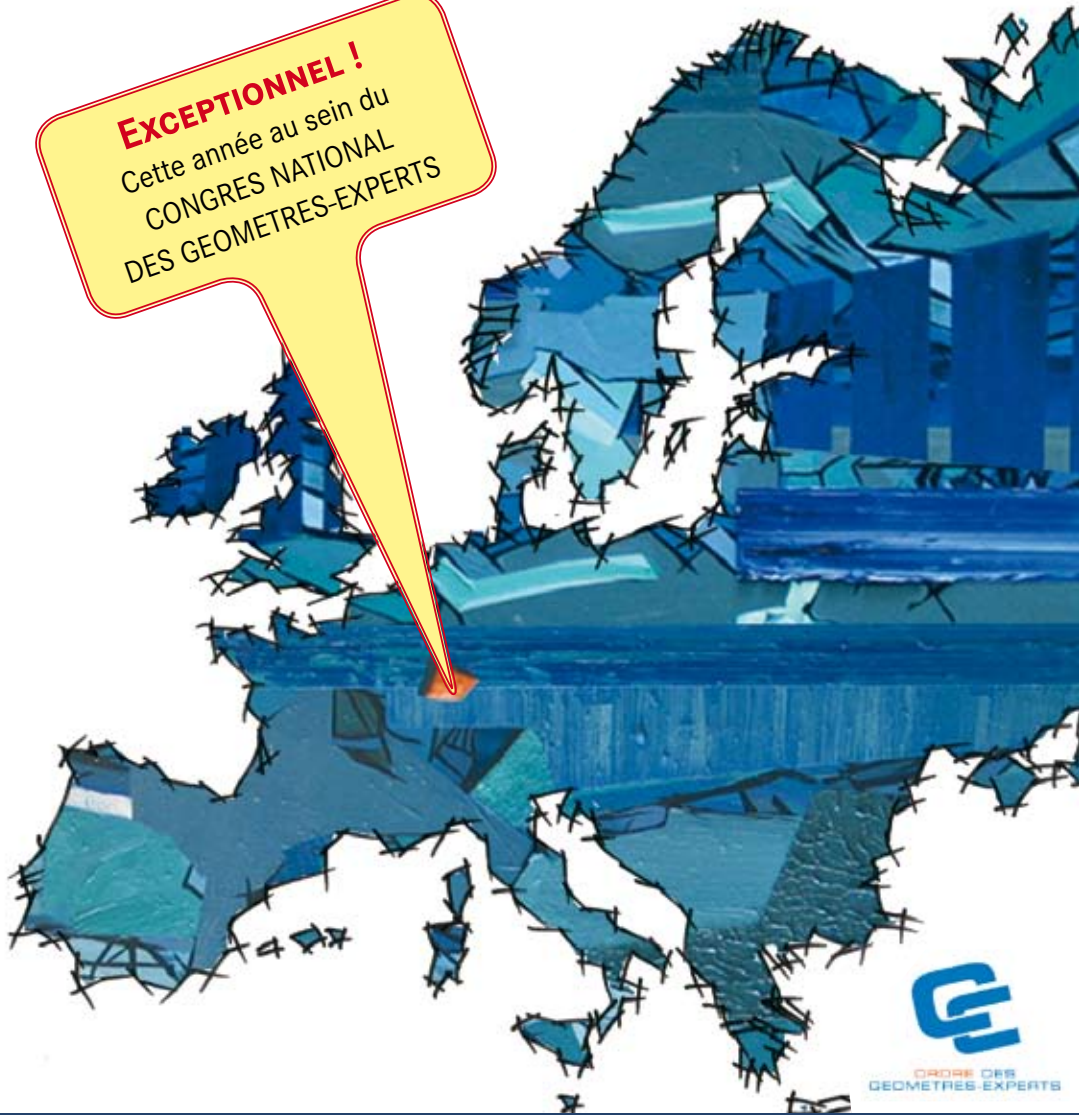


EXCEPTIONNEL !

Cette année au sein du
CONGRÈS NATIONAL
DES GEOMETRES-EXPERTS



ORDRE DES
GEOMETRES-EXPERTS

LES JOURNÉES DE LA TOPOGRAPHIE

DU 17 AU 19 SEPTEMBRE 2008

AU PALAIS DE LA MUSIQUE ET DES CONGRÈS À STRASBOURG



SOMMAIRE

LE MOT DE LA DIRECTRICE	5
PLANNING DES SOUTENANCES	6

RÉSUMÉ DES PFE :

BRAHEM Jérôme	13
PAUL Anne - Charlotte	17
CHAMBLAS Guillaume	21
GARDELLE Julie	25
CAUDRELIER Louis	29
CHATIN Bertrand	33
COMBES Guillaume	37
HEYNDRICKX Benjamin	41
DELBOUR Sébastien	45
LECLERC Thomas	49
KOCH Anne - Laure	53
BACH Matthieu	57
BOUREZ Alexandre	61
LOTT Camille	65
TARROUX Victor	69
PIERSON Florent	73
BERNON Laure	77
STRAUB Luc	81
ABRIBAT Emilie	85
HANSEN Matthieu	89
CARREAUD Pierre	93
BOURÈNE Benjamin	97
MICHELS Florent	101
VANETTI Noémie	105
DELEBECQ Emilien	109
KUNTZELMANN Pascal	113
RIBIÈRE Fanny	117
BARBIER Baptiste	121
PASSOT Benoît	125
VERDUN Gaël	129
PANISSOD Flory	133
LOLIVIER Kévin	137

LE MOT DE LA DIRECTRICE



Ils nous l'avaient annoncé lors des Journées de la Topographie 2007 : les géomètres français avaient décidé, pour 2008, de faire de Strasbourg non seulement la capitale de l'Europe, mais aussi la capitale des géomètres-experts, en y tenant leur 39^e congrès.

C'est donc une grande joie et une véritable fierté pour toute la communauté de l'Insa de Strasbourg d'accueillir « ses professionnels » et de participer, modestement, à leurs travaux, aux côtés d'autres établissements, ESGT, ESTP, l'université de Liège et de Karlsruhe (KIT). Nul doute que 39^e congrès et JT 2008 marqueront ensemble l'histoire puis les souvenirs, en particulier ceux des étudiants qui non seulement soutiendront leur projet de fin d'études au cœur du congrès mais aussi recevront leur diplôme d'ingénieur en topographie.

Merci à l'équipe organisatrice des JT dont le savoir-faire n'est plus à démontrer, merci à l'Ordre des Géomètres-Experts pour cette belle opportunité de montrer, une fois de plus, qu'école et entreprise travaillent main dans la main, et partagent la même finalité.

Bienvenue à Strasbourg.

M.C. CRETON,
Directrice

PLANNING DES SOUTENANCES

JURY 1

	NOM	SUJET DE PFE	CORRECTEURS	PAGE
8h30	Jérôme BRAHEM	Validation d'une grille de transformation de coordonnées dans le cadre du passage au RGF93 de la base de données topographiques de la Communauté Urbaine de Strasbourg	Gilbert FERHAT Elise MEYER	13
9h30	Anne - Charlotte PAUL	Changement du cadre de référence géodésique sur le Canton Genève du MN03-GE au MN95	Gilbert FERHAT Tania LANDES	17
10h30	Guillaume CHAMBLAS	Traitement de campagnes lasergrammétriques menées par le service Aménagement et Risques Naturels du BRGM dans le cadre du projet EVOLGEOM pour le suivi et l'analyse de l'érosion des falaises de craie de Mesnil-Vai, Haute Normandie	Pierre GRUSSENMEYER Tania LANDES	21
11h30	Julie GARDELLE	Télé-détection des mares sahéliennes sur 50 ans, dans le cadre du projet AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine)	Tania LANDES Elise MEYER	25
14h00	Sébastien DELBOUR	Interopérabilité entre les plates-formes CAO/DAO et SIG dans le cadre de la modélisation 3D des projets routiers du département du Nord	Jean - Michel HOTTIER Mathieu KOEHL	45
15h00	Thomas LECLERC	Etude technique commerciale et marketing des systèmes de guidage pour pelle	Jean - Michel HOTTIER Jacques LEDIG	49
16h00	Anne - Laure KOCH	Diagnostic et hiérarchisation des réseaux écologiques dans le périmètre du SCoT de Metz	Mathieu KOEHL Jacques LEDIG	53
17h00	Matthieu BACH	Conception et implantation du module de redressement d'images de la solution Géosketch. Développée au Centre de Recherche en Géomatique de l'Université Laval, Québec	Pierre GRUSSENMEYER Mathieu KOEHL	57

MARDI 16 SEPTEMBRE

JURY 2

		SUJET DE PFE		CORRECTEURS	PAGE
	NOM				
8h30	Louis CAUDRELIER	Optimisation et innovation des techniques et des méthodes dans l'élaboration de données géographiques au sein d'un cabinet de Géomètres-Experts		Mathieu KOEHL Guillaume KIEHL	29
9h30	Bertrand CHATIN	Mise en œuvre d'un outil logiciel de conception de réglemets de copropriété au sein des outils AutoCAD et MS-Word		Emmanuel ALBY Guillaume KIEHL	33
10h30	Guillaume COMBES	Etude et mise en application de méthodologies de travail uniformisées au sein d'une société de géomètres-experts		Jacques LEDIG Guillaume KIEHL	37
11h30	Benjamin HEYNDRICKX	Conception de la chaîne numérique de production du RFU (Référentiel Foncier Unifié) et déploiement de eFoncier, portail foncier de l'OGÉ		Mathieu KOEHL Jacques LEDIG	41
14h00	Alexandre BOUREZ	Schéma d'aménagement du Nord Rémois		Emmanuel ALBY Claude WERLE	61
15h00	Camille LOTT	Enrichissement des données historiques par des relevés laser- et photogrammétriques pour la réalisation d'une maquette 3D. Mise en valeur du site de l'église abbatiale de Niedermunster		Mathieu KOEHL Elise MEYER	65
16h00	Victor TARROUX	Conception et suivi opérationnel d'un lotissement à usage d'habitation à Niederlauterbach		Emmanuel ALBY Claude WERLE	69
17h00	Florent PIERSON	Optimisation du nombre de stations pour le calcul de trajectoires. Solutions existantes et internes au groupe FUGRO		Gilbert FERHAT Jacques LEDIG	73

MARDI 16 SEPTEMBRE

JURY 1

	NOM	SUJET DE PFE	CORRECTEURS	PAGE
14h00	Laure BERNON	Alignement du collisionneur LHC par le département TS-SU du CERN : Bilan et Analyse rétrospective	Jean - Claude FISCHER Tania LANDES	77
15h00	Luc STRAUB	Etude de Lé@, premier réseau GNSS permanent de l'île de la Réunion	Gilbert FERHAT Jacques LEDIG	81
16h00	Emilie ABRIBAT	Potentialité des données satellitaires radar polarimétriques à haute résolution pour la gestion des risques naturels	Pierre GRUSSENMEYER Tania LANDES	85
17h00	Matthieu HANSEN	Optimisation de la surveillance d'ouvrages par tachéométrie robotisée	Mathieu KOEHL Jacques LEDIG	89

JURY 2

14h00	Pierre CARREAUD	Amélioration de la consolidation des relevés lasergramétriques et application au grandes structures	Pierre GRUSSENMEYER Eddie SMIGIEL	93
15h00	Benjamin BOURENE	Cartographie sous-marine à grande échelle : utilisation de la photogrammétrie pour la géolocalisation des espèces gorgonaires de Méditerranée	Pierre GRUSSENMEYER Elise MEYER	97
16h00	Florent MICHELIS	Détermination d'un géoïde local à partir de mesures gravimétriques	Gilbert FERHAT Jacques LEDIG	101
17h00	Noémie VANETTI	Géolocalisation par photogrammétrie des désordres d'ouvrages d'art sur des images acquises par un drone d'hélicoptère	Gilbert FERHAT Pierre GRUSSENMEYER	105

JURY 1

	NOM	SUJET DE PFE	CORRECTEURS	PAGE
8h30	Emilien DELEBECCQ	Mise en place d'un système d'information géographique pour la gestion de réseau de chaleur	Jean - Claude FISCHER Mathieu KOEHL	109
9h30	Pascal KUNTZELMANN	Projet de matérialisation de la documentation complémentaire au plan cadastral d'Alsace-Moselle, au travers d'une maquette opérationnelle	Guy DESPORTES Matthieu KOEHL	113
10h30	Fanny RIBIERE	Localisation dans le département des Bouches du Rhône, au sein du BRGM PACA, d'établissements accueillant des populations sensibles (établissements d'enseignement et sanitaires et sociaux), situés sur ou à proximité d'anciens sites industriels	Mathieu KOEHL Elise MEYER	117
11h30	Baptiste BARBIER	Etude d'aménagements hydro-agricoles sur les périmètres rizicoles des villages encadrés par Ecoles Du Monde	Emmanuel ALBY Jacques LEDIG	121

JURY 2

8h30	Benoît PASSOT	Nivellement indirect de l'anneau de stockage de l'ESRF	Gilbert FERHAT Jacques LEDIG	125
9h30	Gaël VERDUN	Développement d'un logiciel de télésurveillance vidéoasservie	Pierre GRUSSENMEYER Tania LANDES	129
10h30	Flory PANISSOD	Qualification de modèles numériques de terrain LIDAR pour l'érosion : de la forme d'onde à la grille régulière. Application au Badlands de Draix, bassins versants expérimentaux du CEMAGREF	Pierre GRUSSENMEYER Tania LANDES	133
11h30	Kévin LOLIVIER	Mise en forme et compléments de mesures topo-bathymétriques préalables à une modélisation hydrodynamique et hydrosédimentaire le long de l'île de Noirmoutier	Gilbert FERHAT Pierre GRUSSENMEYER	137

RÉSUMÉS DES PFE

VALIDATION D'UNE GRILLE DE TRANSFORMATION DE COORDONNEES DANS LE CADRE DU PASSAGE AU RGF93 DE LA BASE DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES DE LA COMMUNAUTE URBAINE DE STRASBOURG

Société d'accueil : Service de l'Information Géographique
Communauté Urbaine de Strasbourg



PFE présenté par : Jérôme BRAHEM

Directeur (directrice) du PFE : M. Henri HUGEL, chef de service

Correcteurs : M. Gilbert FERHAT et Mlle Elise MEYER

1. Introduction

En 1990, le Service de l'Information Géographique se dote d'un Système d'Information Géographique (SIG) afin de gérer les référentiels topographiques et fonciers de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS). Cependant, aujourd'hui, ils sont confrontés à deux problématiques différentes.

1.1 Le contexte national et législatif

La première problématique relève de la législation. Actuellement, les données géolocalisées ne sont déterminées qu'en planimétrie et exprimées en Lambert 69, version locale de la Nouvelle Triangulation Française (NTF). Or, depuis huit ans, le Réseau Géodésique Français calculé en 1993 (RGF93) a été officialisé comme système géodésique légal. Il se substitue à la NTF et son usage deviendra obligatoire à compter du 10 mars 2009.

1.2 Le contexte local

La seconde problématique est propre à la CUS et découle de l'histoire du canevas local. A l'époque de sa mise en place, il y a 120 ans, les techniques et les moyens de réalisation à disposition n'étaient pas du tout les mêmes qu'aujourd'hui (compensations manuelles, mesure de distances à partir de lattes...). Il en résulte donc un certain manque d'homogénéité qui se traduit, essentiellement sur les limites communales ou de part et d'autre de cours d'eau et de voies ferrées, par des tensions sur le terrain, c'est-à-dire un double jeu de coordonnées pour un point unique :

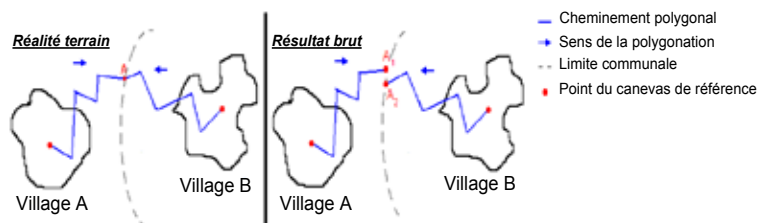


Figure 1.1 : Tensions intercommunales

1.3 Objectif de l'étude

Afin de se conformer à la loi, le Service d'Information Géographique doit mettre en place une transformation de coordonnées Lambert local / RGF93 pour sa base de données. Cependant, si l'on ne corrige pas le canevas de toutes les tensions avant le passage au RGF93, elles resteront présentes après transformation : on sera alors effectivement bien dans le système légal mais la base ne sera pas directement compatible avec des levés GPS. Pour cette raison, le service veut profiter du changement de système pour atténuer, au mieux, tous ces problèmes présents depuis plus d'un siècle.

A noter que, pour des raisons pratiques et d'organisation, il a été décidé de raisonner, pour toute la phase de tests, avec la transformation inverse (du RGF93 vers le système local) pour éviter d'affecter les objets du SIG.

2. Choix de la transformation

Plusieurs études ont déjà été réalisées dans le cadre de la transformation du système de coordonnées local vers un canevas spatial. Elles ont permis de mettre en évidence une corrélation spatiale des tensions au niveau des points du canevas. Le service s'oriente donc depuis 2001 vers la détermination d'une grille de transformation locale. N'existant pas, à l'époque, de logiciels de génération de grille, il se lance dans le développement d'un programme interne, conditionné, en plus du fichier de calage, par trois paramètres : une limite de déformation, un pas et une raideur. Une campagne de mesures GPS est aussi débutée afin de disposer d'un jeu de points connus dans les deux systèmes. Il est décidé d'utiliser :

- des points polygonaux, appartenant au canevas de référence, pour définir la transformation ;
- des stations géométriques, points à partir desquels les objets de la base de données sont levés, pour en contrôler la justesse.

Il nous paraît primordial, avant tout traitement, de vérifier que ce programme est capable de générer des grilles aussi efficaces que d'autres outils apparus postérieurement. Pour ce faire, nous décidons de comparer ses résultats avec ceux obtenus par un logiciel vendu sur le marché : l'applatif Grid Factory de TGOoffice de Trimble. Cette analyse nous permet d'affirmer que notre programme est au moins équivalent au logiciel commercialisé.

3. Paramètres de la transformation

Le programme du service étant fonction de trois paramètres, la détermination optimale de chacun d'eux permettant de corriger au mieux les tensions en dégradant le moins possible la qualité actuelle de la base constitue la première étape importante de cette étude. La grille de transformation devant modéliser les décalages globaux de zones géographiques entières, il est important de ne pas raisonner que sur des critères d'écart. En effet, il serait tout à fait possible de trouver une combinaison permettant de transformer parfaitement les points d'appuis de la grille, mais elle n'aurait aucune valeur : elle modéliserait les erreurs individuelles de chaque point d'appuis sans tenir compte de l'environnement qui l'entoure. Nous décidons donc de choisir ces paramètres en se basant aussi sur des critères topographiques et statistiques et non par simple optimisation de la précision de la transformation.

3.1 La limite de déformation

Ce paramètre existe pour éviter que la grille parvienne à corriger, sur des courtes distances, des tensions trop importantes ; ce qui permet d'éviter de fortes déformations des objets après transformation. Lui affecter une valeur trop faible empêcherait la grille de transformation de compenser efficacement les tensions. Pour cette raison, il faut donc choisir la valeur maximale compatible avec la topographie courante, **0,2 mètre par kilomètre**.

3.2 Le pas

Ce paramètre, correspondant à la taille du maillage de la grille, est déterminé en s'appuyant sur trois critères :

- un critère statistique : il faut déterminer l'interdistance maximale au delà de laquelle deux points n'ont plus de rapport l'un avec l'autre, correspondant au pas maximum ;
- un critère fonctionnel : il faut choisir une valeur de pas exploitable (100, 200, 500, 1000...) et surtout, pour des raisons de simplicité et de temps de calcul, permettant d'avoir le moins de mailles possibles ;
- un critère de précision : il faut que la valeur choisie nous permette de satisfaire les objectifs de précision au niveau des points de contrôle.

Plusieurs tests nous permettent d'affirmer qu'un pas de **500 mètres** devrait permettre de satisfaire toutes les conditions.

3.3 La raideur

Correspondant à la force de rappel de la grille, ce dernier paramètre est impossible à justifier topographiquement. Pour cette raison, nous choisissons la valeur **0.1** qui permet d'optimiser de la précision de la transformation.

4. Fiabilisation des points d'appuis

Les paramètres internes de la grille de transformation étant fixés, l'objectif est maintenant d'obtenir un jeu de points d'appuis exempt d'erreurs pour permettre la correction des tensions du canevas.

La grille de transformation, déterminée à partir des paramètres optimaux et de la totalité des points de calage dont on dispose ne permet pas de satisfaire la précision désirée. Cela est dû au fait que certaines erreurs se sont insérées dans le fichier de calage et influencent inévitablement les résultats. L'origine des ces fautes sont une erreur GPS (multitrajets, masques), une erreur sur le terrain (points déplacés après des travaux de voiries) ou une erreur dans la base de données (coordonnées fausses).

Les points entachés d'une erreur n'étant pas forcément détectable par analyse directe des écarts entre les coordonnées RGF93 transformées et les coordonnées issues de la base de données (résidu), plusieurs traitements nous permettent de mettre en évidence une quarantaine de points douteux. Pour chacun d'entre eux, nous décidons de retourner sur le terrain afin de contrôler :

- leur repérage pour vérifier si leur position est toujours correcte ;
- la mesure GPS.

A cours de ces contrôles, nous sommes confrontés à des problèmes de dégradation du canevas (des points ont disparu), de repérage plus vérifiable (disparition des éléments présents sur le croquis de repérage) et de compatibilité GPS. Au total, sur les 39 points douteux, seulement 20 sont déclarés valides et sont conservés pour déterminer la grille.

5. Traitement des systématismes locaux

La fiabilisation des points d'appuis effectuée, les résultats obtenus par la grille de transformation ne permettent pourtant pas de satisfaire les objectifs de précision fixés. Cela tient à la présence d'erreurs résiduelles : les systématismes locaux. Ils sont mis en évidence grâce au passage des points de contrôle à travers la grille. On peut alors constater qu'ils sont :

- Nombreux (plus d'une centaine de zones de systématismes, à résidu variable, sont décelées);
- Regroupés en zone périurbaine de la CUS ;
- Situés à l'extérieur des communes, au niveau des extensions.

Avant d'établir une méthodologie pour corriger ces phénomènes, il nous paraît primordial d'en déterminer les causes. Étant donné qu'il n'y a plus, a priori, d'erreurs au niveau des points de calage, les systématismes locaux ne peuvent être dus qu'à :

- un manque de points d'appuis qui fait que la grille n'est pas correctement définie dans le secteur et présente donc une incohérence avec les points de contrôle ;
- de réelles tensions que la grille ne parvient pas à corriger à cause d'une taille de maille trop élevée ou d'une limite de déformation trop restrictive.

Cependant, il existe des systématismes que l'on n'arrive pas à expliquer. En effet, on peut s'apercevoir que certains secteurs denses en points d'appuis contiennent des points de contrôle présentant, après passage dans la grille de transformation, de forts résidus corrélés alors que les points d'appuis environnants sont parfaitement corrigés. Après plusieurs tests pour tenter de justifier cette incohérence, nous sommes en mesure d'affirmer que ce sont des défauts dans le rattachement avec le canevas polygonal qui sont à l'origine de ce type de systématismes.

Afin de permettre à la grille de transformation de corriger ces erreurs résiduelles, nous décidons, quel qu'en soit la cause, de densifier les points d'appuis. Nous ajoutons donc, pour chacune de ces zones, un point virtuel présentant les mêmes tensions à corriger que les points de contrôle du secteur. Il est important de préciser que cette méthodologie ne permet pas de tout corriger. En effet, dans le cas de problèmes liés aux paramètres de grille (taille de maille trop élevée ou d'une limite de déformation trop restrictive) ou à la qualité de la base, la forte densité des points d'appuis déjà présents limite l'efficacité de la méthode.

6. Analyse des résultats finaux et perspectives

La grille définie à partir des points d'appuis fiabilisés et des points virtuels permet alors d'assurer une classe de précision de 3.9 centimètres au niveau des points de contrôle levés au GPS (RGF93) et transformés, valeur compatible avec la précision actuelle de la base de données. Cependant, cette précision est globale et non garantie localement sur tout le territoire de la CUS. Toutes les zones où des erreurs résiduelles persistent devront nécessiter des traitements particuliers. Si à terme, aucune solution ne fonctionne, la base de données devra alors, dans ces secteurs, subir une réfection.

Afin d'en vérifier la justesse, le service va utiliser la grille de transformation en phase de validation, pendant une durée indéterminée, pour intégrer les données GPS traitées dans la base et de vérifier la cohérence avec les objets déjà présents. Une fois validée, les coordonnées des objets du SIG pourront être modifiées grâce à la transformation Lambert local / RGF93.

7. Mise en œuvre

La grille de transformation étant déterminée, il reste à définir une méthodologie d'utilisation. Pour cela, nous développons un programme permettant, au bureau, de transformer les coordonnées issues de mesures GPS vers le système de coordonnées local : TRANSFO CUS.

8. Conclusion

Malgré la nécessité d'études complémentaires, la grille de transformation locale permet au Service de l'Information Géographique de se conformer à l'échéance du 10 mars 2009 pour la capacité à diffuser des données géographiques dans le système géodésique légal. Ce projet de fin d'études apporte donc une conclusion aux différentes études menées concernant le passage de la base de données de la CUS au RGF93 et apparaît comme l'événement permettant de passer de la phase d'études et de tests à celle de mise en œuvre et de production GPS.

CHANGEMENT DU CADRE DE REFERENCE GEODESIQUE SUR LE CANTON DE GENEVE, DU MN03-GE AU MN95

Sociétés d'accueil :

GéoDataNetwork



Direction cantonale de la mensuration officielle

PFE présenté par :

Anne-Charlotte Paul



Directeur (directrice) du PFE : M. Stéphane Couderq

Correcteurs :

M. Gilbert Ferhat et Mme Tania Landes

Introduction

Le changement de cadre de référence concerne tous les utilisateurs de données géoréférencées, elle est au cœur de l'actualité géographique européenne. La France est en pleine mutation dans ce domaine puisque le basculement de ses données géographiques en RGF93 est programmé pour mars 2009. En Suisse l'office fédéral de topographie a défini le nouveau cadre de référence pour la planimétrie, le MN95 (mensuration nationale de 1995) qui va se substituer au MN03 (cadre de référence en vigueur datant de 1903). Ce nouveau cadre de référence va permettre de travailler avec des données géoréférencées qui auront une précision absolue sur tout le territoire helvétique.

L'obligation fédérale de transformer les données géoréférencées de la mensuration officielle a été fixée avant la fin 2016. Pour toutes les autres données géographiques l'obligation a été décalée à 2020. Les cantons peuvent s'ils le désirent, passer leurs données géoréférencées en MN95 avant les dates légales. C'est ce que le canton de Genève désire réaliser et mon projet de fin d'étude devait évaluer les contraintes du changement de cadre de référence pour les données géoréférencées du canton. Afin de répondre à cette étude j'ai travaillé à la direction cantonale de la mensuration officielle (DCMO), environnement propice aux échanges de données et à la compréhension de leur organisation tout en étant sous la responsabilité de Stéphane Couderq, responsable de la société GéoDataNetwork.

Le but de mon projet de fin d'étude était d'évaluer les contraintes du changement de cadre de référence, de réaliser des tests, de faire des propositions quant à l'organisation du passage du canton en MN95 et d'estimer les coûts d'un tel changement.

1. Communication

Le système d'information du territoire Genevois, SITG est l'organisation principale qui gère les données du canton. Il regroupe l'ensemble des informations du territoire permettant de structurer le canton. Il facilite la recherche et le traitement de données géoréférencées, les échanges entre les utilisateurs de données et contribue à la création d'un patrimoine important d'informations. Il a plusieurs fonctions essentielles, l'aménagement du territoire, la gestion des limites administratives et des infrastructures ainsi que l'aide aux professionnels. Les utilisateurs de données sont majoritairement des partenaires, on peut citer : les services industriels genevois, les chemins de fer fédéraux, l'aéroport de Genève, différents services de l'Etat et beaucoup d'autres.

L'évaluation des contraintes du passage en MN95 passe d'abord par la compréhension de la gestion des données des partenaires du SITG. C'est pourquoi une campagne d'information a été lancée. Elle consistait à renseigner les utilisateurs sur le futur changement de système de coordonnées tout en les questionnant sur la gestion de leurs propres données. Des fiches de communication spécifiques au projet ainsi qu'un questionnaire ont été soumis à plus d'une vingtaine de partenaires. Le flux des données, la précision utilisée, les différents logiciels utilisés sur le canton,

la gestion et le stockage des données des partenaires sont désormais connus. Lorsque le passage en MN95 sera effectif, il faudra tenir compte de tous les points faibles rencontrés lors de ces interviews et si cela est possible, y remédier rapidement.



Schéma simplifié de l'organisation du système d'information du territoire genevois.

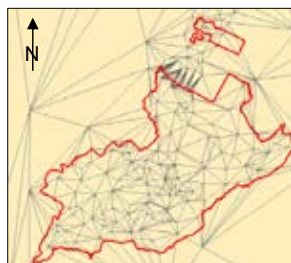
Exemples de problèmes rencontrés :

- Certains logiciels utilisés sur le canton ne gèrent pas de 7^{ème} chiffre pour les coordonnées alors que le MN95 a des coordonnées du type : $E_0=2\ 600\ 000.00m$ et $N_0=1\ 200\ 000.00m$. En MN03 les coordonnées $Y_0=600\ 000.00m$ et $X_0=200\ 000.00m$
- Concernant les flux de données, certains utilisateurs ne passent pas systématiquement par le SITG pour obtenir des informations. Cela peut entraîner des risques lors de la transition en MN95.
- La réutilisation d'anciennes données risque également d'entraîner des problèmes.
- Le « blocage » de données pour la création de projets par des bureaux d'étude ; tant que le projet n'a pas abouti, les mêmes données doivent être utilisées. Le projet peut durer plusieurs années et passer de bureaux d'étude en bureaux d'étude.

Cette étape a permis de mettre en lumière certains points faibles pouvant nuire au changement de cadre de référence et surtout d'attirer l'attention des utilisateurs sur ces problèmes. L'étude a été la première prise de contact sur le sujet avec la majorité des utilisateurs rencontrés. Il sera nécessaire de continuer à les informer régulièrement afin que le projet ne soit pas oublié.

2. Aspect technique de l'étude :

La transformation FINELTRA a été adoptée par l'office fédéral de topographie pour passer du MN03 en MN95. Pour évaluer l'influence de la transformation sur les données vecteur, les données numériques de la DCMO, sous forme de GéoDataBase personnelle, ont été converties en MN95. Pour cela deux logiciels ont été utilisés, Reframe, logiciel en ligne développé par Swisstopo, et le convertisseur extension d'ArcGIS développé par Topomat. Un protocole pour l'utilisation de ces deux logiciels a été établi. Les problèmes rencontrés lors des tests ont été décrits dans la synthèse de l'étude. Cela permettra dans un futur proche de faciliter les tests des utilisateurs voulant convertir eux même leurs données, voire d'apporter à ces outils des modifications.



Situation des triangles de transformation sur le canton de Genève.

La variation des distances, des angles et de l'échelle de données vecteur (des biens fonciers et des bâtiments) a été quantifiée et comparée aux précisions fournies par l'ordonnance technique de la mensuration officielle. Des statistiques des variations de ces données ont ainsi été calculées. Une liste des temps nécessaires à la transformation des données de la DCMO pourra servir de référence aux futurs utilisateurs d'outils comme le convertisseur développé par Topomat.



Il est également possible de convertir des raster mais cela demande beaucoup trop de temps (Il faudrait environ 13 jours au convertisseur développé par Topomat pour obtenir une image de 708MB, en MN95). Pour résoudre le problème, la DCMO a décidé de commander à l'office fédéral de topographie des orthophotos en MN95. Pour les données historiques : anciennes cartes utilisées pour réaliser un cadastre historique, les responsables du changement de cadre de référence devront choisir entre réaliser la conversion ou leurs faire subir une simple translation.

Ci contre : Aperçu du Plan historique Billon (1726), données du cadastre.

Les outils pour passer du MN03-GE (particularité du canton de Genève) au MN95 existent et les données qui en résultent sont tout à fait exploitables. La difficulté de passer en MN95 ne sera pas technique mais sera liée à l'organisation de la transition et à la bonne communication faite autour de cette adaptation.

3. Organisation du changement de cadre de référence géodésique :

Pour changer de cadre de référence sur le canton de Genève, différentes méthodes peuvent être appliquées. L'étude fait ressortir les options de l'organisation du passage en MN95. Une délibération du comité directeur du SITG (en septembre 2008), basée sur la synthèse de l'étude, fera un choix parmi ces différentes possibilités. Cet examen prendra en compte l'opinion des principaux partenaires, ce qui devrait faciliter la future transition.

Cinq propositions, ont été traitées en fonction de trois critères:

- centralisation du service de transformation au sein du SSIG.
- répartition des tâches sur tous les services concernés de l'État, création de plate-forme de transformation pour les petits et les « gros » utilisateurs de données.
- externalisation du changement de cadre de référence, en offrant des mandats à des bureaux d'étude.

Certaines de ces propositions permettent une transposition rapide, d'autres demandent une période de transition plus longue. Celles qui suggèrent un passage rapide permettront de restreindre la période durant laquelle les données en MN03GE et en MN95 vont coexister. La date « objectif » fixée au début de l'étude était fin 2010, mais d'après les diverses remarques émises par les partenaires du SITG elle sera réexaminée pendant une future délibération du SITG.

La planification du passage en MN95 dépendra bien sûr de la méthode choisie par le comité directeur du SITG pour changer de cadre de référence géodésique. Certains points restent néanmoins essentiels :

Avant le passage des données en MN95

- Offrir la possibilité aux utilisateurs du SITG de sélectionner leurs données soit en MN03GE soit en MN95. Cette option peut déjà avoir un intérêt important pour faciliter les échanges pour les projets transfrontaliers. Le cadre de référence MN03GE restera la sélection par défaut jusqu'à ce que le MN95 devienne le cadre légal sur le canton de Genève.
- Envoi de données transformées aux différents partenaires du SITG pour qu'ils puissent tester la réactivité de leurs outils. Réalisation de tests par les partenaires pour préparer leur structure au changement de cadre de référence.
- Détermination d'une date pour transformer les données en MN95 en accord avec tous les membres et partenaires du SITG (décision du comité directeur du SITG).
- Détermination d'une date à partir de laquelle les projets de bureaux d'études devront être réalisés sur la base de données en MN95.

- Mise en place du plan de communication : envoi de courriers aux utilisateurs en insistant sur l'importance de ce projet pour chacun, envoi de mail régulièrement... Intensification progressive de ce plan de communication à mesure que les dates clés approchent.
- Sélection des données à transformer. (données issues des serveurs métiers).
- Contact avec les fournisseurs de logiciels dans le cas de mauvaise gestion des données en MN95.

Pendant le passage des données en MN95

La transition dépendra du mode d'organisation retenu pour passer les données du canton en MN95.

- Envoi des données mises à jour de tout le canton (partenaires, services de l'État) au SSIG.
- Conversion de toutes ces données en MN95.

Après le passage des données en MN95

- Contrôle des données transformées : nombre d'objets transformés, topologie.
- Vérification des bases de données ; Les bases de données devront contenir uniquement des données en MN95.
- Pour les bureaux d'étude, passer par un géomètre ou par le SSIG pour transformer un projet qui sera livré après la date du changement de cadre de référence ainsi que toutes les données ayant servi à sa conception.
- Créer un service de transformation en ligne au niveau du canton.

4. Estimation financière du passage en MN95 :

Pour réaliser cette estimation je suis partie d'une des propositions faites pour l'organisation du passage en MN95. Cette proposition peut être résumée de la façon suivante : pour les données des services de l'État, c'est le SSIG (Service des Systèmes d'Information et de Géomatique) qui se chargera leur conversion. La DCMO aura un rôle d'aide et viendra épauler le SSIG pour certaines requêtes d'utilisateurs sur le MN95, voire obtenir certains droits d'accès pour pouvoir convertir certaines données. Les partenaires suivant leurs besoins pourront soit gérer eux même le passage dans le nouveau cadre de référence soit demander ce service au SSIG.

Les dépenses internes et externes de l'État pour cette proposition s'élèvent à environ 427 000CHF (environ 260 500 euros). Les tarifs des logiciels, des licences et des postes de travail ont été fournis par la société Topomat. Les tarifs horaires sont issus de recommandations relatives aux honoraires 2008 fournies par la confédération. Les subventions de la confédération s'élèveront à la moitié des dépenses qui auront été investies pour passer dans le nouveau cadre de référence.

Le coût de la transformation des données de la DCMO a été chiffré et permettra aux partenaires du SITG de faire une estimation grossière de la conversion de leurs données.

Estimation coût pour toutes les données vectorielles de la DCMO		
3 jours travaillés	24 heures travaillées	
Tarif horaire technicien	145	CHF/h
Estimation	3480	CHF

Les partenaires connaissent les données de la DCMO puisqu'elles figurent dans le catalogue du SITG. Cette estimation a été faite dans les meilleures conditions (en suivant le protocole réalisé pendant la période de tests).

Conclusion

Cette étude va permettre au comité directeur du SITG de sélectionner la méthode d'organisation qui permettra au canton de passer en MN95 ainsi que la date à laquelle se déroulera la transition. Elle va aboutir à un avant-projet de loi qui sera examiné par le conseil d'État. Si le projet est mené à bien, le canton de Genève sera le premier canton de la confédération helvétique à passer dans le nouveau cadre de référence géodésique. Cette expérience pourra inspirer le reste de la Suisse.

**TRAITEMENT DE CAMPAGNES LASERGRAMMETRIQUES MENEES
PAR LE SERVICE AMENAGEMENT ET RISQUES NATURELS DU
BRGM DANS LE CADRE DU PROJET EVOLGEOM POUR LE SUIVI
ET L'ANALYSE DE L'EROSION DES FALAISES DE CRAIE DE
MESNIL-VAL, HAUTE NORMANDIE**



Société d'accueil : *BRGM / service ARN*
 PFE présenté par : *Guillaume CHAMBLAS*
 Directeur (directrice) du PFE : *M. Thomas DEWEZ*
 Correcteurs : *M. Pierre GRUSSENMEYER*
Mme Tania LANDES

1. INTRODUCTION

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières se place comme « l'établissement français de référence dans le domaine des Sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol ». Le projet EVOLGEOM a comme objectif d'étudier et de quantifier l'érosion d'une paroi d'une falaise de craie, afin de disposer d'une cartographie précise des blocs érodés.

On peut distinguer cinq principaux objectifs dans ce projet :

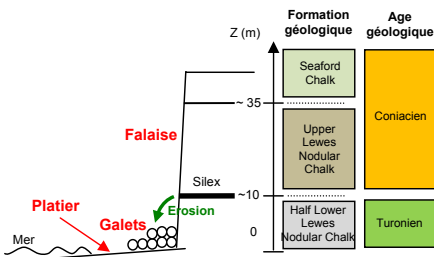
- Mise en place et validation de la chaîne de traitement des levés lasergrammétriques
- Traitement des six campagnes de mesure réalisées depuis décembre 2005
- Obtention des cinq catalogues de blocs érodés et des informations dérivées
- Analyse quantitative du phénomène d'érosion sur le site de Mesnil-Val
- Etablissement des relations d'aléa probabiliste de chute de bloc pour vérifier la pertinence de l'utilisation de celles-ci dans le cas de falaises de craie

2. LES FALAISES DE MESNIL-VAL

Les falaises de Mesnil-Val s'élèvent sur la commune de Criel-sur-Mer, dans le département de la Seine-Maritime et de la région Haute-Normandie. Bordées par la Manche, elles font parties de la côte d'Albâtre, qui s'étend sur la quasi-totalité du littoral de la Seine-Maritime et qui se caractérise par la succession de hautes falaises de craie. Le site étudié a une longueur totale d'environ 750m et une hauteur de falaise croissant de 30 à 70m.



Figure 1: vue aérienne de la falaise de Mesnil-Val



Les falaises de craie de la côte d'Albâtre se situent à l'extrémité de la région géologique du bassin parisien. La falaise étudiée est constituée de couches géologiques distinctes (cf. Figure 2 ci-contre).

Les falaises de Mesnil-Val sont extrêmement sensibles à l'érosion du fait de la nature de la roche dont elles sont composées, la craie étant un matériau très perméable, poreux et friable. Les rapports de 2007 de l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) précisent ainsi que 98% des falaises de craie reculent.

Figure 2: profil vertical de l'environnement de la falaise et couches géologiques

L'érosion sur une paroi de falaise représente un ensemble d'événements de volume distinct, dont la production varie spatialement et temporellement le long du littoral.

3. LE LEVE LASERGRAMMETRIQUE

Les sessions de mesure sont réalisées à marée basse lors des grandes marées d'équinoxe de printemps et d'automne afin d'éloigner au mieux les stations de la paroi, permettant ainsi de limiter le nombre de mises en station nécessaires (huit stations dont sept sur le platier) à la couverture de l'ensemble de la surface d'étude (paroi de 36000m² environ). Le levé est assuré par la société ATM3D sur 3 jours.

On veille à ce que les positions des stations de scan soient quasiment identiques d'une campagne de mesure à l'autre afin d'assurer une cohérence dans la géométrie d'acquisition des points.



Les stations de scan sont géoréférencées par mesure du scanner laser sur des cibles réfléchissantes cylindriques (sur le platier et en tête de falaise) et circulaires (sur le platier) dont les coordonnées dans le système de référence (E, N, Z) sont connues (par un levé au tachéomètre).

Deux types de scanner laser ont été utilisés lors de ces mesures : le Riegl LMS-Z420i pour les première, deuxième, troisième et sixième campagnes de levé, et le Riegl LMS-Z390i pour les deux autres (ce dernier a été utilisé exceptionnellement pour cause de maintenance du premier).

Figure 3: scanner laser Riegl LMS-Z420i

La valeur de résolution angulaire des scans de la falaise est fixée à 0.05°. Elle implique une distance entre points voisins d'environ 6cm à 70m. Pour le levé de décembre 2005, la densité moyenne de points observée sur la paroi s'élève à environ 209 points/m².

Cette résolution angulaire choisie résulte d'un compromis entre temps de mesure (limité par la marée) et densité de points minimum souhaitée.

Huit scans laser par session de levé sont ainsi disponibles dont le traitement va permettre d'obtenir le catalogue de blocs érodés. Il s'agit de traiter six campagnes de mesure réalisées de décembre 2005 à avril 2008.

4. LE TRAITEMENT DES DONNEES



Le traitement consiste à obtenir les catalogues de blocs érodés (objets vectoriels de type polygone) à partir des scans laser (nuages de points 3D). Les informations complémentaires dérivées: aire, périmètre, épaisseur et volume des événements observés, doivent également découler du processus.

Pour pouvoir comparer la topographie de la falaise mesurée aux différentes époques, il faut construire des surfaces continues de la paroi. La solution la plus pratique, du fait du grand nombre de points de mesure, consiste à fabriquer un TIN puis d'interpoler une grille par une méthode d'interpolation simple. La comparaison de ces modèles numériques de la surface de la paroi (par une simple différence) permet la mise en évidence des zones d'érosion (cf. Figure 5 ci-dessous).

Figure 4: chaîne de traitement simplifiée des données

Du fait de la densité de points des nuages, la résolution des grilles de la paroi peut être fixée à 5cm.

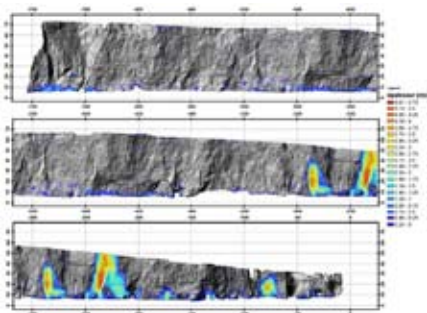


Figure 5: carte d'épaisseur des blocs érodés de la période août 2006/mars 2007

Grâce à la précision de la technologie laser, une différence de relief supérieure à environ 3cm entre deux campagnes de mesure est considérée comme de l'érosion (seuil entre le bruit de mesure et la véritable érosion) au vu des calculs menés sur les cinq époques étudiées.

La méthodologie du levé lasergrammétrique et le traitement appliqué permettent ainsi d'assurer une détection de volume minimum de bloc érodé de l'ordre du litre (0.001m³, cube de 10cm de côté).

5. ANALYSES QUANTITATIVES DE L'ÉROSION

A partir des informations caractéristiques des blocs érodés, des analyses quantitatives de l'érosion sont menées : le nombre de chutes de blocs, la surface et le volume de l'érosion sont calculés pour chacune des époques étudiées.

Les époques de mesure hivernales se mettent alors en valeur : le taux d'activité de l'érosion est plus important que durant les époques estivales. Ce constat peut s'expliquer par les facteurs d'érosion supplémentaire qui sont observés lors de ces périodes, le gel étant un agent d'érosion notable.

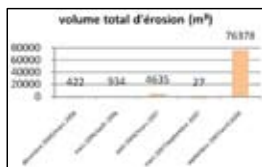
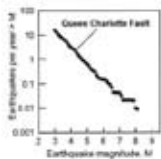


Figure 6: volume total d'érosion de chacune des époques

Une analyse de la répartition des blocs érodés sur la paroi fait apparaître une nouvelle caractéristique : la quasi-totalité des zones d'érosion sont situées dans la couche inférieure de la falaise (phénomène qui tend à valider l'hypothèse de la prédominance de l'action abrasive des vagues au pied de la paroi).

6. LES RELATIONS DE VOLUME/FREQUENCE DES BLOCS ÉRODÉS

Une fois les catalogues de blocs érodés obtenus, dans le cadre d'une recherche en risques naturels, les droites de magnitude/fréquence cumulée peuvent être établies pour chacune des époques étudiées.



La relation entre magnitude et fréquence cumulée d'un événement a longtemps été utilisée dans le domaine de la sismologie. Elle est connue sous le nom de « Loi de Gutenberg-Richter », proposée par les deux sismologues Beno Gutenberg et Charles Francis Richter en 1949. Elle permet de constater que le nombre de séismes supérieures à une magnitude donnée, décroît régulièrement avec l'augmentation de cette même magnitude (cf. Figure 7 ci-contre).

Figure 7: loi de magnitude/fréquence cumulée établie pour la faille de Queen Charlotte, Canada

Le principe de la relation entre magnitude et fréquence a rapidement été intégré aux recherches portant sur l'érosion, qu'il s'agisse d'étudier des avalanches de débris ou des chutes de blocs. La relation est alors modifiée et adaptée au contexte d'étude : la magnitude est dans ce cas considérée comme le logarithme à base 10 du volume de l'événement observé.

Les observations sont ordonnées par ordre décroissant de volume. La fréquence d'occurrence d'un événement est alors simplement obtenue à l'aide de la relation :

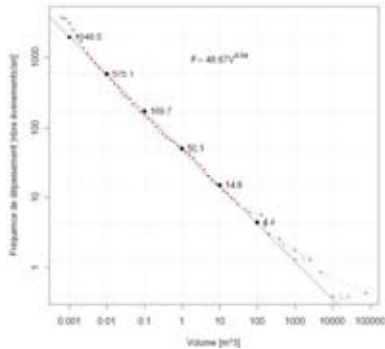
$$f_i = \frac{1}{T_i}$$

avec f_i : fréquence d'occurrence de l'événement (nb d'événements/an)

T_i : intervalle de temps d'observation (en année)

La valeur de fréquence cumulée d'évènements F_i supérieurs ou égaux au volume V (l'ordonnée de la relation de fréquence-volume) est obtenue à l'aide de la relation : $F_i = \sum_{j=1}^n f_j$

La fréquence cumulée est alors représentée en fonction du volume dans un graphe à échelle logarithmique comme l'exemple proposé sur la Figure 8. La fréquence est généralement exprimée en nombre d'évènements par an et le volume en m^3 .



Une droite de régression linéaire peut alors être ajustée sur ce graphe. Son équation, représentant une loi de type puissance, est de la forme :

$$F = a \cdot V^{-b}$$

a : taux d'activité (taux de production), nombre d'occurrence de blocs érodés de $1m^3$ et plus en un an

b : taux de décroissance

Figure 8: graphe de volume/fréquence cumulée des chutes de blocs relevées sur les 2.5 ans d'étude

Les droites de volume/fréquence sont générées pour chacune des époques étudiées. La plus grande activité d'érosion des périodes hivernales est confirmée du fait de taux d'activité plus élevés.

Les prévisions de récurrence d'un évènement de volume donné découlent de cette équation. Ces droites d'aléa peuvent donc servir de support à des analyses de prévention des risques du fait de la possibilité de calculer des périodes de retour d'un évènement de volume quelconque.

7. CONCLUSION

La chaîne de traitement des données a été ainsi validée et mise en place à l'aide des logiciels et du matériel informatique disponibles. Elle peut être utilisée ultérieurement pour l'obtention des catalogues de blocs érodés des futurs levés lasergrammétriques de la falaise (environ une semaine de traitement d'une campagne) pour une personne non avertie.

Les analyses quantitatives de l'érosion observée mettent en perspective l'importance des périodes hivernales dans le taux d'activité de ce phénomène. De plus, la quasi-totalité des chutes de blocs se situe dans la couche géologique inférieure de la paroi. Cette observation valide l'hypothèse qui peut être avancée de considérer le facteur marin comme le principal agent d'érosion de la falaise de craie (les vagues frappent le pied de la paroi à marée haute).

Les graphes de volume/fréquence cumulée étant établis pour chaque époque de mesure, le très bon ajustement linéaire des droites sur ces répartitions entre volume et fréquence (coefficient de détermination de Pearson très proche de 1) valide l'utilisation de ce principe pour des catalogues de blocs érodés d'une falaise de craie. Ceci étant d'autant plus remarquable, que leur utilisation découle de l'expérience et non de principes physiques préalablement établis. Les droites d'aléa des différentes époques apparaissent plutôt cohérentes entre elles (coefficients directeurs des droites très proches) et confirment la plus grande activité d'érosion des périodes hivernales. Elles permettent notamment de déterminer les périodes de retour d'évènements de volume donné qui peuvent être transmis aux décideurs publics lorsque des facteurs humains ou économiques sont en jeu sur le littoral.

Il reste désormais à établir un modèle géomécanique de l'érosion de la paroi de cette falaise à partir de la cartographie des blocs érodés observés. Celui-ci doit pouvoir permettre d'établir une carte de prédiction des zones de départ des blocs érodés.

La question du temps d'observation total de l'érosion de la falaise doit également être posée afin de pouvoir déterminer à quel moment le catalogue pourra être considéré comme complet dans toutes les gammes de volume de blocs érodés. En 2.5 ans, le catalogue est complet jusqu'à $100m^3$. La linéarité de la loi magnitude/fréquence cesse d'exister au delà. En 6 mois, il est complet jusqu'à $1m^3$.

TELEDETECTION DES MARES SAHÉLIENNES SUR 50 ANS DANS LE CADRE DU PROJET AMMA (ANALYSE MULTIDISCIPLINAIRE DE LA MOUSSON AFRICAINE)

Société d'accueil : Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère
Unité Mixte de Recherche 5126



PFE présenté par : Julie Gardelle
Directeurs du PFE : Mr Pierre Hiernaux & Mr Laurent Kergoat
Correcteurs : Mme Tania Landes & Melle Elise Meyer



Introduction

La ceinture sahélienne est une zone naturelle d'Afrique, caractérisée par un climat aride et un régime des pluies contrôlé par la mousson ouest africaine provenant de l'Atlantique. Cette région a connu depuis la fin des années 1960 une période de sécheresse remarquable, par sa durée et son impact sur les ressources naturelles, avec deux grands épisodes en 1972-1973 et 1983-1984. La baisse de la pluviosité s'est accompagnée d'une augmentation du ruissellement en surface, phénomène connu sous le nom de « paradoxe sahélien », qui a entraîné une augmentation de l'eau stockée dans les exutoires des bassins versants, les mares. Certaines d'entre elles, qui jusque-là n'étaient que temporaires au cours de la saison sèche, sont devenues permanentes.

On se propose ici de mettre en évidence ce changement de régime hydrique à l'aide de l'imagerie satellite, sur une région de l'est du Mali, le Gourma, entièrement incluse dans la zone sahélienne. Le travail a été réalisé dans le cadre du projet international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), qui s'intéresse aux interactions existant entre l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère au Sahel. C'est au sein du laboratoire du CESBIO, partenaire du projet AMMA, que se sont déroulés les travaux.

L'objectif de l'étude est de quantifier (en terme de surfaces) l'évolution des mares sur la zone d'étude du projet AMMA dans le Gourma (soit environ 30 000 km²), de préciser quand le changement de régime est apparu et d'établir des calendriers de crue et de décrue, à l'aide d'images satellite multispectrales pour la période 1972-2007, et à l'aide de photographies aériennes pour les années antérieures. Après en avoir étudié les caractéristiques spectrales, les mares seront classifiées à l'aide de méthodes appropriées à chaque type de capteur.

1. Les données

Les données satellites disponibles sur la zone et la période d'étude sont très variées, tant sur le plan de leur résolution spatiale, spectrale que temporelle. Les premières images multispectrales datent de 1972, avec le lancement du premier satellite LANDSAT. Ainsi, l'étude des mares avant les épisodes de sécheresse ne peut se faire qu'à l'aide de photographies aériennes (ayant servi à la couverture cartographique de la région par l'IGN en 1954) et de scènes panchromatiques acquises par le satellite-espion américain CORONA en 1965 et 1966.

Pour le suivi saisonnier des mares (calendriers de crue et de décrue), plusieurs capteurs multispectraux ont été utilisés. Le satellite FORMOSAT-2 à 8m de résolution a fourni une série temporelle de 30 images couvrant la saison des pluies 2007. 14 scènes issues du capteur HR-VIR (20m, satellite SPOT-4) ont été acquises entre juin 2005 et juin 2006. Enfin, le capteur MODIS embarqué à bord du satellite Terra a permis de couvrir la période 2000-2007 avec une fréquence d'acquisition hebdomadaire, soit un total de plus de 350 images de moyenne résolution spatiale (250m) et spectrale (canaux dans le rouge visible et proche infrarouge uniquement).

Pour compléter le suivi historique des mares, deux images LANDSAT-MSS ont été acquises en janvier et septembre 1975, ainsi que trois images LANDSAT-ETM, en octobre et novembre 1999, ainsi qu'en septembre 2002.

Les couvertures géographiques de l'ensemble de ces images étant très variées, seule une zone de 100 km² environ, comprenant deux mares, est étudiable sur une période de plus de 50 ans.

Des relevés pluviométriques sont également disponibles sur la zone d'étude (pour pouvoir comparer la relation entre les événements pluvieux et le remplissage des mares), ainsi que quelques profils topographiques sur la mare d'Agoufou (réalisés au clisimètre et télémètre laser).

2. Les méthodes

Le suivi de l'évolution de la surface des mares du Gourma s'est fait à l'aide de classifications automatisées sur la plupart des images, l'objectif n'étant pas d'établir une carte complète des plans d'eau mais de déterminer le plus finement possible la valeur de la superficie de mares bien spécifiques. Plusieurs indices (ou néocanaux) ont été utilisés par la suite pour caractériser les surfaces en eau, et il convient de les définir auparavant ici :

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	NDPI (Normalized Difference Pond Index)	NDTI (Normalized Difference Turbidity Index)
$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (1)$	$NDPI = \frac{MIR - V}{MIR + V} \quad (2)$	$NDTI = \frac{R - V}{R + V} \quad (3)$

V, valeur du compte numérique ou de réflectance (sans unité) dans le canal du vert visible
R, valeur du compte numérique ou de réflectance (sans unité) dans le canal du rouge visible
PIR, valeur du compte numérique ou de réflectance (sans unité) dans le canal du proche infrarouge
MIR, valeur du compte numérique ou de réflectance (sans unité) dans le canal du moyen infrarouge
NDVI, *NDPI*, *NDTI*, valeur du néocanal (sans unité)

Avant de chercher à classifier les mares sur les scènes satellites, il a été nécessaire dans un premier temps d'en étudier les caractéristiques spectrales dans les longueurs d'ondes des capteurs utilisés lors de l'acquisition des images.

- *Les signatures spectrales des mares du Gourma*

Cette étape a consisté à réaliser des profils radiométriques en extrayant, le long de transects traversant des mares, les valeurs de réflectance de chaque pixel. Une dizaine de plans d'eau, répartis sur l'ensemble de la zone d'étude ont ainsi été étudiés, sur des images SPOT-4, LANDSAT-ETM et FORMOSAT-2, à différentes époques de l'année. Deux grands types de mares se sont alors distinguées (désignées d'après la couleur avec laquelle elles apparaissent sur une composition colorée « classique » *Proche infrarouge/Rouge/Vert*) :

- les mares « *bleues* » : ce sont des mares aux eaux libres et très turbides. Leur radiométrie est caractérisée par une très faible réflectance (de l'ordre de 10%) dans le moyen infrarouge (ou *MIR* par la suite), ainsi qu'une valeur de *NDPI* fortement négative (entre -0.3 et -0.6). Le *NDVI* est lui aussi négatif, mais pas de manière aussi discriminante.
- les mares « *rouges* » : ce sont des mares au comportement plus complexe, aux eaux claires et recouvertes de végétation qui peut prendre des formes très variées (arbres, nénuphars, herbacées...). Leur réflectance dans le *MIR* (valeur moyenne de 30%) présente une différence avec leur entourage proche, qui n'est pas aussi marquée que pour les mares « *bleues* ». Du fait de leur couverture végétale, ces mares présentent une forte valeur de *NDVI* (0.4, voire plus), ce qui est plutôt surprenant pour des surfaces en eau. A l'exception du *MIR*, elles possèdent une réponse spectrale identique à celle de la végétation sur sol nu.

Le canal du moyen infrarouge apparaît donc comme un discriminant commun pour identifier ces deux types de mares. Cependant, toutes les images du jeu de données ne disposent pas d'un tel canal, cela a amené à définir plusieurs classifications, adaptées aux caractéristiques de chacun des capteurs.

- *Les méthodes de classification*

Excepté pour les images LANDSAT-ETM, les classifications mises au point n'ont pas pour but de classier l'image entière mais de pouvoir calculer localement la surface d'une mare spécifique sur une série temporelle plus ou moins dense.

Les images SPOT-4 disposant d'un canal dans le MIR, les mares y ont été classées en utilisant un arbre de décision, par seuillage sur les valeurs de NDPI et de MIR. Les valeurs des seuils sont définies localement et automatiquement pour chaque mare et sur chaque image, à partir des valeurs moyennes des comptes numériques des pixels au centre du plan d'eau.

Les images FORMOSAT-2 ne présentant pas de données acquises dans le MIR, elles n'ont permis de classier que les mares « bleues ». Dans ce but, un arbre de décision a été construit avec un seuillage sur le NDVI, le Vert visible et le NDTI. Le calcul des seuils s'est fait automatiquement et de façon analogue à celle des images SPOT-4.

Les images MODIS ont fait l'objet d'une classification des mares « bleues » légèrement différente du fait de leur moyenne résolution spatiale et spectrale (rouge visible et proche infrarouge uniquement). La taille des pixels étant de 250m, il a été nécessaire de prendre en compte le phénomène de pixel « mixte » dans le calcul de la surface des plans d'eau. La classification locale d'une mare distingue donc les pixels d'eau pure, les pixels « secs » purs et les pixels mixtes sur les bords du plan d'eau. Après avoir identifié les pixels d'eau pure par seuillage sur le NDVI, les pixels « secs » sont éliminés par seuillage sur ce même NDVI et sur les valeurs de réflectance dans le rouge visible. Les pixels restants sont considérés « mixtes », et la proportion d'eau contenue dans ces derniers est estimée en faisant l'hypothèse que la variation du NDVI entre un pixel « humide » et un pixel « sec » est linéaire, comme illustré dans l'Equation 4 :

$$NDVI_{mixte} = k \cdot NDVI_{sec} + (1 - k) \cdot NDVI_{eau} \quad (4)$$

$NDVI_{mixte}$, valeur du NDVI d'un pixel mixte (sans unité)
$NDVI_{sec}$, valeur du NDVI d'un pixel sec (sans unité)
$NDVI_{eau}$, valeur du NDVI d'un pixel d'eau pure (sans unité)
k , coefficient de linéarité ($0 < k < 1$), sans unité

La superficie en eau d'un pixel mixte est donc obtenue en multipliant la surface d'un pixel entier par $(1-k)$.

Les images LANDSAT-ETM offrant un bon compromis entre résolution spatiale (30m), spectrale (notamment deux canaux dans le MIR) et une grande couverture géographique (plus de 30 000 km²), elles ont fait l'objet d'une classification supervisée par maximum de vraisemblance sur l'ensemble de la scène. Cela permet d'obtenir une estimation globale des surfaces en eau pour pouvoir en suivre l'évolution générale. Les classifications ont été menées sur les mares en définissant deux classes, mare « rouge » et mare « bleue » (du fait de leurs grandes différences spectrales), bien qu'elles correspondent sur le terrain au même type d'objet. Les images LANDSAT-MSS de 1975 n'ont pu faire l'objet d'un traitement automatisé du fait de l'absence de données acquises dans le moyen infrarouge. Elles n'ont donc été comparées que qualitativement aux images LANDSAT-ETM.

Enfin, les images panchromatiques (peu nombreuses) ont fait l'objet d'un traitement entièrement manuel : les fortes réflectances des mares sont identiques à celles du sable, ce qui rend la détection automatique délicate. La délimitation des mares sur ces images s'est donc faite sur la base de la photo-interprétation.

3. Les résultats

- *Evaluation de la précision et validation des algorithmes de classification*

Pour les scènes SPOT et FORMOSAT, la validation des classifications s'est faite en superposant les contours des mares obtenus avec les images d'origine : la différence observée n'excède pas 2 pixels le long des contours. Pour les images MODIS, cette superposition n'étant pas possible, les surfaces obtenues ont été comparées à celles issues des classifications SPOT et FORMOSAT (grâce à la redondance des données en 2005, 2006 et 2007). Les écarts observés varient de ± 10 ha à ± 40 ha selon les mares, ce qui est satisfaisant au vu de la résolution spatiale des images MODIS.

Les classifications exécutées sur les scènes LANDSAT-ETM ont été évaluées en les comparant avec des vérités terrain. Les résultats de ces analyses post-classification sont obtenus sous forme de matrices de confusion et affichent des précisions totales variant entre 94 et 99%.

Les précisions des surfaces obtenues par arbre de décision (images SPOT, FORMOSAT et MODIS) ont été évaluées en faisant varier légèrement les valeurs de seuils utilisées lors de la classification. Pour ce qui est des scènes SPOT et FORMOSAT, on estime ainsi une incertitude de $\pm 5\%$ dans le calcul de la surface totale de la mare. Pour les images MODIS, on atteint une incertitude entre $+25\%$ et -60% . Les valeurs absolues de ces deux incertitudes ne sont pas égales : pour ce qui est de la valeur négative, cela s'explique par le fait qu'en deçà d'un certain seuil, tous les pixels d'eau pure sont éliminés et seuls subsistent des pixels mixtes dans le calcul de surface (réduisant ainsi considérablement la superficie calculée). Les résultats issus des classifications MODIS sont donc à prendre avec précaution, surtout en saison sèche, lorsque les superficies des mares sont faibles.

- Les variations saisonnières et interannuelles des mares

L'utilisation de la série temporelle MODIS a permis de mettre en évidence les variations saisonnières des mares, dues à la saisonnalité des pluies (la mousson débutant en juin pour se terminer fin septembre). On retrouve cette variation cyclique sur la Figure 1, pour les années 2000 à 2007.

Le remplissage des mares n'est pas identique d'une année sur l'autre, et ce à cause de la variabilité interannuelle des pluies, certaines années pouvant être plus sèches que d'autres, comme l'année 2004 par exemple (déficiente à -200%).

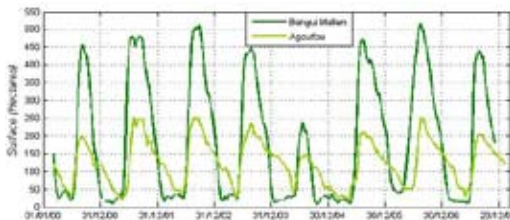


Figure 1 Variations de la surface des mares d'Agoufou et de Bangui Mallam de 2000 à 2007 (données MODIS)

- La mise en évidence du changement de régime des mares

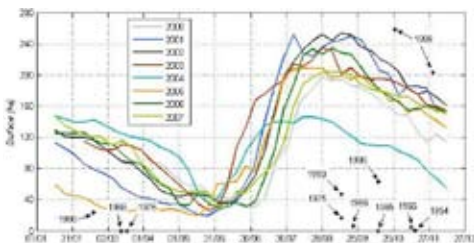


Figure 2 Variation historique de la surface de la mare d'Agoufou, de 1954 à 2007.

La classification de l'ensemble des données satellite a permis de reconstruire des séries historiques sur 50 ans pour deux mares, dont une est présentée en Figure 2. Pour ces deux exemples, la mise en évidence du changement de régime s'est fait quantitativement : la mare d'Agoufou a vu sa surface multipliée par 20, et celle de Bangui Mallam par 30, à l'issue des épisodes de sécheresse.

Une comparaison qualitative des images LANDSAT de 1975, 1999 et 2002 a permis de montrer l'augmentation de l'ensemble des mares de la zone d'étude, mais dans des

proportions moins importantes. Le problème majeur réside dans le fait que la comparaison de seulement trois images à la fin de la saison des pluies ne permet pas de s'affranchir totalement des variations interannuelles qui peuvent affecter la surface des mares.

Conclusion

Cette étude a permis de démontrer que les mares du Gourma ont subi un changement dans leur régime hydrique, suite aux sécheresses des années 1970 et 1980 qui ont sévi dans tout le Sahel. Leurs surfaces ont augmenté significativement, bien que le nombre et l'intensité des événements pluvieux aient diminué. L'origine de ces changements est encore mal connue, cependant il semblerait que la mise à nu des sols (provoquée par la disparition de la végétation suite aux déficits pluviométriques importants) ait entraîné une augmentation du ruissellement de l'eau en surface, concentrant ainsi les écoulements dans les exutoires des bassins versants.

OPTIMISATION ET INNOVATION DES TECHNIQUES ET DES METHODES DANS L'ELABORATION DE DONNEES GEOGRAPHIQUES AU SEIN D'UN CABINET DE GEOMETRES-EXPERTS

Société d'accueil : SCP F. Morel & JF. Morel – Ma-geo

PFE présenté par : **Louis Caudrelier**

Directeur du PFE : M. Jean-François Morel

Correcteurs : M. Koehl

M. Kiehl



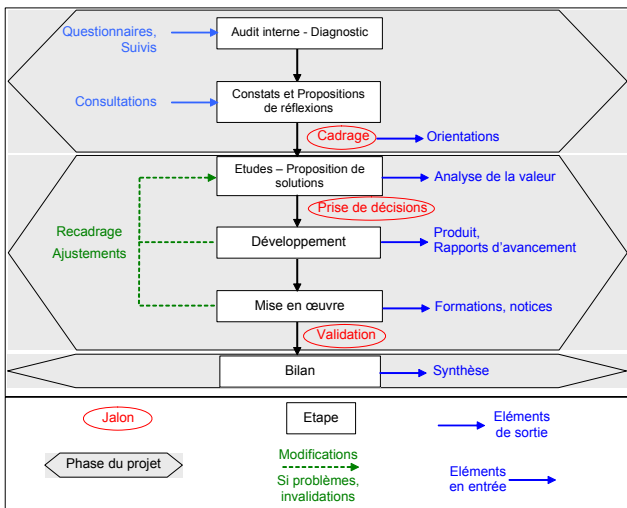
Introduction

Les évolutions technologiques ont provoqué une rapide modernisation des méthodes de travail en particulier avec l'insertion, la démocratisation et les avancées technologiques dans l'électronique et l'informatique. Les nouveaux outils permettent d'optimiser les méthodes de production. Les innovations obligent une veille technologique difficile à mettre en œuvre dans le quotidien d'un cabinet où la priorité est souvent la productivité. L'évolution du marché, des exigences des clients et du métier implique plus de concurrence et engendre donc une compétitivité accrue. Le formalisme et le renforcement de la notion de service imposent des adaptations aux méthodes de travail.

Dans le cabinet Morel à Lille où le management participatif a récemment été mis en place, et dans le cadre de l'amélioration continue, un besoin de renouveau s'est fait sentir. Le projet a pour but d'apporter : Optimisation et innovation des techniques et des méthodes dans l'élaboration de données géographiques au sein d'un cabinet de Géomètres-Experts. L'humanisme est une problématique prépondérante du projet qui se voulait global, c'est-à-dire agissant sur l'ensemble des processus d'élaboration des données géographiques : production comme management.

1. Contexte

Cette partie préliminaire présente le cabinet, le management du projet et ses fondements. Présenter le cabinet Morel permet de bien cerner le cadre du projet. La structure complexe, les multiples acteurs et activités et le contexte professionnel de l'étude ont nécessité une méthodologie participative synthétisée ci-contre :



La mise en œuvre d'outils et de méthodes participatifs (Questionnaires, Analyse multicritère) ont permis la réalisation d'audits et d'aides à la prise de décision pour les projets techniques, méthodologiques et managériaux.

Enfin, les objectifs et les fondamentaux de la qualité ont été intégrés au projet. En effet, l'augmentation de la compétitivité ne doit pas agir au dépend de la qualité. Les enjeux de la qualité sont financiers, commerciaux, managériaux. Ils permettent d'améliorer les échanges et l'image, ils sont nécessaires aux vues des spécificités du métier (complexité des acteurs, du matériel, des méthodes). La roue de Deming (ci-dessous), la formalisation, l'amélioration continue et la maîtrise des processus constituent les objectifs et le cadre des améliorations. Le processus et les critères de la qualité pour l'élaboration de données géographiques seront aussi intégrés dans les optimisations et les innovations mises en place.

2. Audit interne et Orientations initiales

Cette partie dresse l'état du fonctionnement initial de la chaîne de production au niveau des méthodes et techniques. Ensuite, elle présente conjointement les constats et les orientations initiales choisies à savoir :

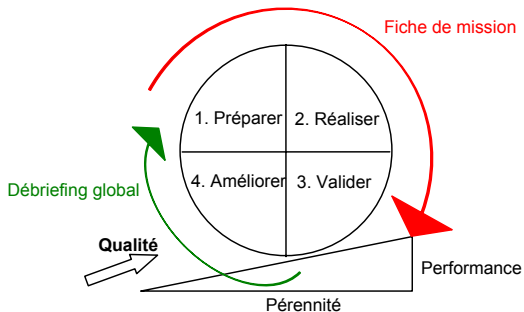
- Mise en place d'outils pour un management de la qualité (3.)
 - Par l'optimisation des méthodes
 - Par l'amélioration des ressources humaines
- Optimisation et innovation dans la chaîne d'élaboration de données géographiques (4.)
 - Codification améliorée
 - Traitement unifié
 - Chaîne de production standardisée

3. Optimisations et innovations pour un management de la qualité

Les réflexions menées ont conduit à la formalisation des valeurs de l'entreprise et de la charte des contrôles terrains. Ces valeurs sont partagées avec les collaborateurs et les clients pour qui elles constituent un véritable engagement. Les contrôles doivent permettre de valider les étapes des processus et de vérifier la transmission de l'information entre les différents intervenants. Les corrections coûtent très chers, réduisent les marges du producteur et rendent parfois les prestations non rentables. Il est donc nécessaire de réaliser les contrôles au fur et à mesure.

La fiche de mission facilite et impose l'intégration de la formalisation et de la maîtrise des processus pour améliorer la qualité. Elle permet de définir clairement les objectifs et pérenniser les missions accomplies. Cette fiche est un lien entre tous les acteurs du chantier à savoir le chef de mission, les dessinateurs, les techniciens sur le terrain. Cette fiche permet finalement un travail mieux organisé, certainement plus productif et répondant davantage aux besoins des clients.

La synthèse de débriefing global permet d'analyser les forces et faiblesses des méthodes de l'entreprise à court terme. A moyen terme, une synthèse annuelle permettra de définir des axes de progrès globaux.



L'analyse multicritère pour aider à la restructuration des missions des techniciens a permis d'ouvrir un débat et de prendre conscience d'un besoin de renouveau. La méthode employée a été efficace et particulièrement adaptée dans un cadre de management participatif. La nouvelle organisation : « suivi par formés » est donc progressivement mise en place. Les personnes susceptibles d'être polyvalentes sont clairement identifiées. (Ajouter un point)

Les fiches de postes facilitent la formalisation des tâches et des responsabilités des employés. Elle a permis de clarifier l'organigramme mais aussi les responsabilités et les missions de chacun des employés.

La mise en place d'outils pour un management de la qualité n'est pas évidente, c'est une démarche transversale et longue à mettre en place. Ces outils sont des bases qui devront évoluer en fonction des activités et des acteurs. Ils correspondent à un besoin exprimé par les collaborateurs et permettent d'augmenter la responsabilisation et la reconnaissance en pérennisant les activités réalisées.

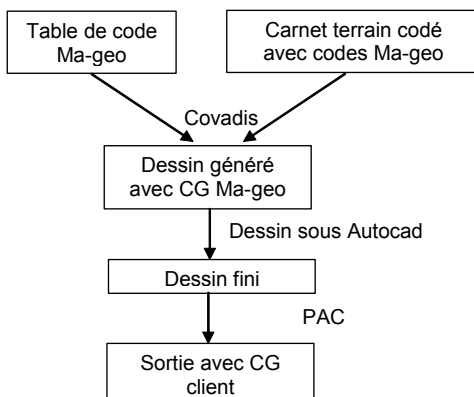
4. Optimisations et innovations pour un management de la qualité

Les améliorations apportées dans la codification et dans la chaîne de production ont permis de rendre celle-ci plus générale, plus complète et plus précise. Les précisions sémantique et géométrique ainsi que la cohérence logique des données produites ont été améliorées. L'utilisation d'une codification unique permet certainement d'augmenter la productivité et de diminuer les dysfonctionnements. Des nouveaux outils et méthodes ont été développés pour utiliser l'ensemble des possibilités des instruments et des logiciels de traitement afin d'optimiser la saisie et le traitement de la chaîne de production standardisée. L'utilisation de la codification est par exemple facilitée par l'insertion de celle-ci dans les instruments. La codification est davantage évolutive de part sa structure et les outils mis en place facilitant les améliorations.

L'uniformisation des outils de traitement facilite la cohérence de la chaîne de production et la qualité en termes d'exhaustivité. La méthode employée devrait permettre une meilleure satisfaction des clients. L'autre principal avantage constaté et apprécié des utilisateurs est que les outils installés simplifient les méthodes de travail en les rendant plus complètes.

Passerelle Adaptation Client

Cet outil a été créé pour répondre à la problématique récurrente des exigences des clients en termes de charte graphique et de structure des rendus des plans numériques. Il permet la mise en place des exigences du client en utilisant toujours les mêmes méthodes de travail et en particulier la codification comme le montre le schéma ci-dessous. Les optimisations réalisées sur la codification et le traitement sont pérennisées et facilitées par cet outil.

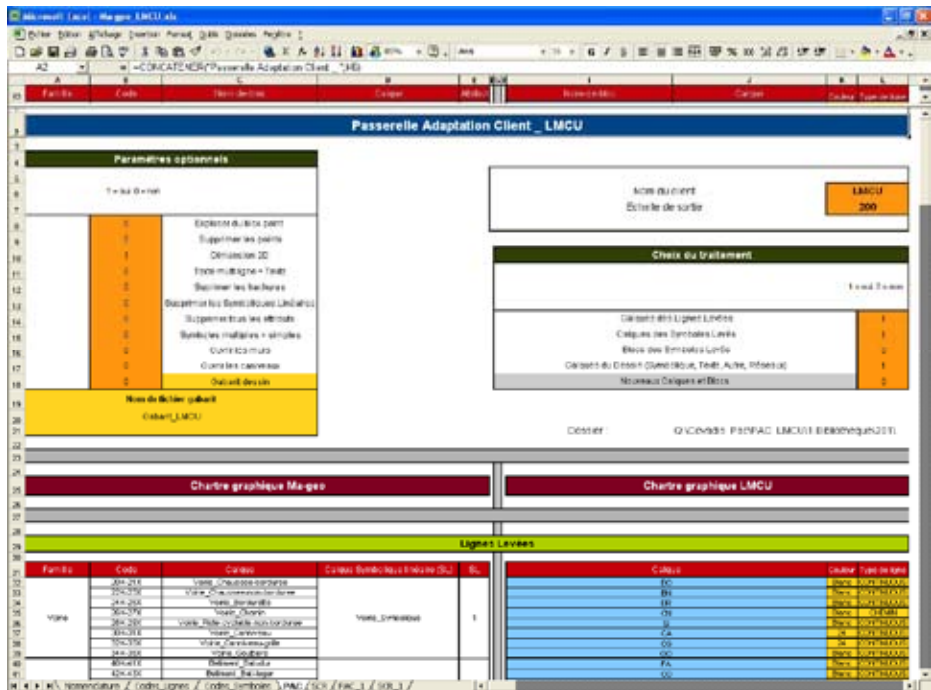
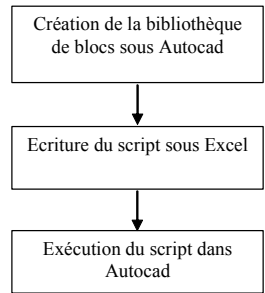


La création d'une passerelle s'effectue en trois étapes comme le présente la figure ci dessous

La bibliothèque de blocs du client est modifiée afin d'être compatible avec la charte graphique du cabinet. Des outils permettent de faciliter cette première étape.

La correspondance entre les éléments de la charte graphique du cabinet et celle du client est renseignée dans l'interface présentée ci-dessous. Des options permettent de modifier la structure du rendu. Le script est automatiquement écrit sous Excel.

Le script est ensuite exécuté dans Autocad, il modifie automatiquement le fichier afin qu'il soit aux exigences du client.



La PAC a concrètement été utilisée sur des chantiers et a satisfait l'ensemble de la chaîne de production et les clients. C'est donc un produit conçu et utilisé au service de la qualité, qui permet d'adapter le produit fini en conservant les méthodes de travail usuelles. Par conséquent, les optimisations réalisées sur la codification et le traitement sont pérennisées et facilitées grâce à cet outil. La productivité et la qualité sont donc améliorées avec ce nouvel outil.

Conclusion

L'analyse et la résolution des problèmes actuels permettent d'anticiper les futures difficultés. C'est pourquoi les notions d'évolution et d'adaptation dans les instruments mis en place étaient primordiales. En effet, les optimisations et innovations réalisées nécessiteront d'évoluer en fonction de la demande des clients, mais aussi avec les évolutions technologiques. Par ailleurs, la restructuration dans les ressources humaines a souligné l'importance de la remise en question perpétuelle au niveau humain.

Mise en œuvre d'un outil logiciel de conception de règlements de copropriété au sein des outils AutoCAD et Microsoft Word

- CONDORAMA -

<i>Société d'accueil :</i>	<i>SARL GEOSAT</i>
<i>PFE présenté par :</i>	<i>Bertrand CHATIN</i>
<i>Directeurs du PFE :</i>	<i>L. RAFFIN</i>
<i>Correcteurs :</i>	<i>E. ALBY</i>
	<i>G. KIEHL</i>

INTRODUCTION

En raison des besoins de la société dans le domaine de la copropriété, et n'ayant pas trouvé sur le marché un logiciel répondant à leurs attentes, les dirigeants de GEOSAT ont souhaité réaliser leur propre logiciel fonctionnant dans l'environnement d'AutoCAD (logiciel de DAO le plus répandu au sein des cabinets de Géomètres-Experts).

Pour concevoir cet applicatif, il a fallu :

- Etudier les différents logiciels de copropriété,
- Apprendre le langage informatique,
- Réaliser un modèle de données sur lequel est basé le programme,
- Créer des fenêtres,
- Ecrire différents modules de codes permettant le fonctionnement du logiciel.

Une version alpha non commercialisable du logiciel CONDORAMA a donc vu le jour après quelques semaines de développement. Elle permet d'ores et déjà, à partir d'un plan d'intérieur compensé ou digitalisé, l'édition d'un règlement de copropriété. Cependant, le manque de temps a rendu impossible la réalisation de tests en situation réelle.

1. DEFINITION DU BESOIN

Le souhait de la société est d'industrialiser leurs processus afin d'éviter les erreurs de saisie et/ou de report dans la réalisation des règlements de copropriété.

Les modifications qui pourraient être demandées par les clients, telles que l'annexion de parties communes, la suppression ou la réunion de lots et l'ajout de nouvelles charges, ont aussi motivé la réalisation de cet outil afin de pouvoir construire plus facilement une « nouvelle copropriété ».

GEOSAT désire enfin se concentrer sur l'analyse et la comptabilité juridique entourant le projet de découpe.

A ce jour, il existe sur le marché deux logiciels permettant d'assister l'utilisateur dans la création de règlements de copropriété : WINCOPROPRIETE et COPRODIV. Ils ne sont pas entièrement satisfaisants puisqu'avec WINCOPROPRIETE, la saisie des données ne passant pas nécessairement par la réalisation de plans, il n'existe alors pas de liens graphiques les unissant à l'édition des documents officiels. Quant à COPRODIV, il fonctionne uniquement sous l'environnement de TopStation, logiciel peu répandu en comparaison avec AutoCAD.

Les dirigeants ont donc souhaité concevoir un logiciel répondant à plusieurs exigences :

- Permettre un gain de temps par la création automatisée de la copropriété,
- Pouvoir stocker des informations utiles dans le dessin AutoCAD,
- Employer un langage informatique compatible avec AutoCAD et un éditeur de texte,
- Créer un lien graphique entre les données et le plan initial afin qu'il soit réactualisé lors de modification des données,
- Etre ergonomique pour faciliter son utilisation,
- Permettre une commercialisation éventuelle, car selon l'O.G.E. (Ordre des Géomètres-Experts) l'activité de copropriété représentait en 2006 environ 40 millions d'euros de chiffre d'affaires pour les cabinets. De plus, selon l'INSEE, le nombre de logements en copropriété devrait continuer à s'accroître.

L'application CONDORAMA ayant pour objectif d'être compatible avec AutoCAD, une étude de ce dernier a été nécessaire.

Bien qu'il ait été développé, à l'origine, pour les ingénieurs en mécanique, AutoCAD est, aujourd'hui, utilisé par de nombreux corps de métiers et notamment la topographie par l'ajout de modules complémentaires tels que Covadis.

Son succès est surtout dû au fait qu'il offre à l'utilisateur un environnement de personnalisation. En effet, la création de menus et le développement d'applications peuvent être réalisés par celui-ci grâce au langage AutoLISP dérivé de LISP et VBA.

2. CONCEPTION DU LOGICIEL – IDEES DIRECTRICES

La conception de CONDORAMA repose sur l'emploi d'un langage de programmation bien défini. Le logiciel AutoCAD en intègre quatre :

- DIESEL (Direct Interpretively Evaluated String Expression Language),
- AutoLISP : est un dérivé du langage de programmation LISP,
- DCL (Dialog Control Language),
- VBA (Visual Basic pour Application).

VBA étant un dialecte unifié, il permet d'interagir avec les applications d'Office Windows. Le choix de ce langage a donc semblé judicieux pour la création de CONDORAMA.

Une fois le langage choisi, et après avoir défini l'ensemble des données nécessaires, l'adoption d'un modèle de données est indispensable à la conception d'un logiciel. Pour CONDORAMA, le modèle choisi permet la création de la copropriété se faisant du plus petit élément vers le plus grand. Ainsi, les lots étant créés à partir des simplex, eux-mêmes définis à partir des pièces (idem pour les bâtiments, les niveaux et les communs), il n'y a aucun risque d'avoir des lots « vides ». De plus, il assure une gestion simplifiée des duplex, triplex, ...

Dans le but de répondre aux besoins et objectifs fixés, CONDORAMA devait, à l'origine, être développé en quatre parties : utilisation, aide, sécurité et protection, diffusion.

La partie utilisation est la partie la plus complète du programme. Après trois mois et demi de programmation, CONDORAMA est exploitable pour réaliser, à partir d'un plan d'intérieur compensé sous AutoCAD ou d'un plan digitalisé, les calculs de tantièmes de copropriété et de charges ainsi que l'Etat Descriptif de Division (E.D.D.). La construction de la copropriété se fait en plusieurs étapes par l'intermédiaire de fenêtres.

La partie « aide », où toutes les fonctionnalités du logiciel seront expliquées, reste à effectuer, tout comme la protection des codes.

A terme, les moyens de diffusion de l'applcatif seront à déterminer.

3. REPONSE DE L'OUTIL AUX BESOINS

CONDORAMA, bien qu'il ne soit pas abouti, a déjà été soumis à la critique. Il en résulte une liste de points positifs et négatifs qui restent à améliorer :

On note un défaut de programmation qui a rendu difficile l'accès au fichier d'initialisation dans lequel sont répertoriés notamment les différents coefficients.

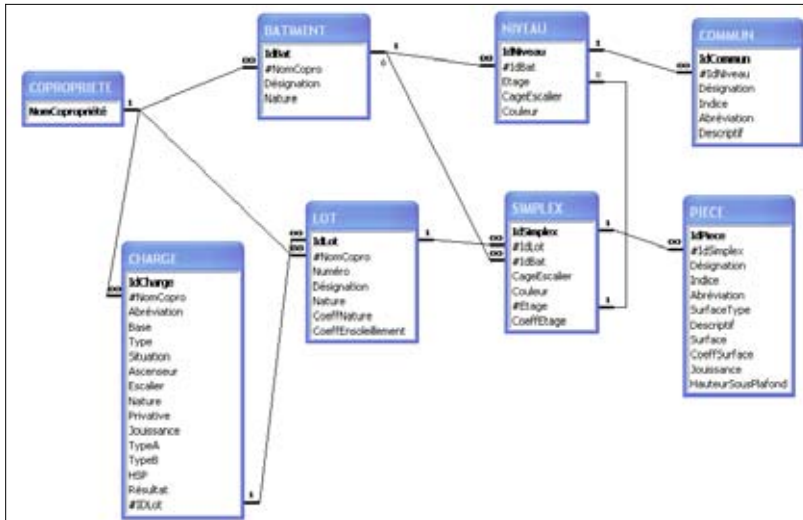
Les remarques soulevées sont pour la plupart dues à des problèmes esthétiques qui seront corrigés. En effet, il ne s'agit là que d'une ébauche du logiciel espéré par GEOSAT.

En raison de la façon dont sont organisés les liens entre les charges et les lots, CONDORAMA n'accepte à ce jour qu'un maximum de 88 lots.

Bien qu'inachevé, le programme assure déjà la réalisation d'un règlement de copropriété automatisé à partir d'un plan d'intérieur et répond majoritairement aux exigences imposées par GEOSAT à savoir, le gain de temps, le stockage d'informations et la compatibilité avec Microsoft Word.

Trois fonctions facilitant son utilisation et permettant l'édition de certificats CARREZ seront très prochainement incluses dans CONDORAMA.

Aux vues de toutes ces remarques, le modèle de données a été remanié afin de permettre une meilleure gestion des différentes relations inter-éléments (Cf. figure page 4).



Modèle de données final du logiciel CONDORAMA

CONCLUSION

Après l'étude des deux logiciels déjà existants WINCOPROPRIETE et COPRODIV, un langage de programmation a été défini afin de créer, étape par étape, les fenêtres de mise en place des différents éléments de la copropriété.

Au bout de six mois de développement, la première version de CONDORAMA est enfin disponible. Elle nécessite des perfectionnements esthétiques et le développement de 3 fonctionnalités qui accéléreront et faciliteront son emploi.

Il permet déjà la réalisation automatisée d'un règlement de copropriété mais il reste à produire la partie aide où toutes les fonctionnalités seront expliquées et les outils commentés, ainsi qu'à sécuriser l'accès aux codes.

La version alpha de CONDORAMA a, quant à elle, été déposée à l'Agence de Protection des Programmes le 29 juillet 2008. Elle est ainsi protégée d'éventuels plagiat au titre du droit de propriété littéraire et artistique.

La version aboutie de ce logiciel devra encore être testée en situation réelle. C'est seulement à la fin de toutes ces étapes qu'il sera alors envisageable de comparer CONDORAMA aux deux logiciels préexistants.

Le 26 juin 2008, la société GEOSAT a pris connaissance, par télécopie, du développement par COVADIS d'un logiciel permettant d'éditer les tableaux de calculs de tantièmes de copropriété et de charges.

Bien que COVADIS n'aboutisse pas à l'édition d'un règlement de copropriété, CONDORAMA subsistera-t'il longtemps face à cette concurrence ?

Une négociation est-elle envisageable ?

ÉTUDE ET MISE EN APPLICATION DE METHODOLOGIES DE TRAVAIL UNIFORMISEES AU SEIN D'UNE SOCIETE DE GEOMETRES-EXPERTS.

Société d'accueil : SELARL GETUDE
PFE présenté par : **Guillaume COMBES**
Directeur du PFE : M. Olivier BOUSQUET
Correcteurs : M. Jacques LEDIG
M. Guillaume KIEHL



La qualité du travail produit par une société de géomètres-experts passe obligatoirement par l'application de méthodologies de travail cohérentes et uniformisées. La société GETUDE souhaite réagir aux problèmes que pourraient entraîner une dispersion dans plusieurs directions. Cependant, avant de mettre en place et d'appliquer de nouvelles méthodes, il est nécessaire de prendre conscience de l'état actuel de la situation pour en faire un point de départ. Si le développement d'un logiciel de gestion est fortement utile à une évolution viable, il faut tout de même effectuer un travail en amont pour savoir quels sont les moyens afin de pouvoir structurer le logiciel.

1. Etat de l'art

Pour savoir quelle direction prendre, il faut en premier lieu établir un audit et analyser les éléments actuellement utilisés au sein de la société. J'ai donc effectué une première phase d'analyse qui m'a permis de comprendre le fonctionnement de la société de géomètres-experts GETUDE. Mes audits se sont portés sur toutes les méthodes de travail appliquées par chaque technicien quelque soit son domaine d'activité (topographie, bureau d'étude et foncier). J'ai également fait le point sur les logiciels de gestion présents et les méthodes d'archivage employées.

Cette phase est très importante car elle fixe les objectifs qui permettront d'améliorer la qualité des méthodes appliquées par la société mais aussi de déceler les éventuels problèmes dont on ne se rend pas obligatoirement compte.

2. Amélioration de la qualité

En réponse à la première phase, j'ai pu mettre en évidence quatre points principaux qui ont fait l'objet d'un remaniement afin d'être le plus adapté possible aux objectifs de la société de géomètres-experts. L'ensemble de ces éléments est également étroitement lié à la conception d'un logiciel de gestion dont j'ai détaillé les objectifs et le fonctionnement.

Procédure qualité

◆ Le premier point abordé concerne l'élaboration de tutoriaux pour chaque pôle d'activité. En effet, l'état de l'art a permis de mettre en évidence les points positifs et négatifs des méthodes utilisées. Les tutoriaux permettent d'expliquer la méthodologie de travail à appliquer par chaque employé suivant la nature du travail dont il a la charge. Ainsi, l'ensemble de la société peut utiliser les mêmes méthodes quelque soit le site de production. Chaque tutorial est accessible à tous et classé par pôle d'activité (topographie, bureau d'étude, foncier, logiciel interne et charte de nommage). Chaque tutorial reprend l'ensemble des étapes qui doivent être effectuées depuis le devis jusqu'à l'archivage du dossier.

Afin de rendre les documents à fournir plus uniformisés, j'ai créé des modèles de référence tels que les plans ou les formulaires. Ils permettent d'avoir un visuel concret du produit final. De plus, j'ai mis en évidence certains éléments (échelle, flèche Nord, légende,...) ce qui assure un premier contrôle de ce qu'il ne faut pas oublier. Ces modèles sont accessibles via des liens depuis les tutoriaux.

◆ Le deuxième point concerne les suites d'actions attestant de l'état d'avancement de chaque dossier. Ce système était déjà adopté par le cabinet mais son application est restée insatisfaisante. Un remaniement et une adaptation ont donc été entrepris pour simplifier ce processus et permettre à chacun de s'impliquer plus amplement dans cette démarche. Le but n'est pas de contrôler le travail des employés mais au contraire de connaître, avec le plus de précision possible, l'état d'avancement de chaque dossier. Le type de suites d'actions est en concordance avec les tutoriaux pour permettre de faire le parallèle.

Les courriers-types

Les courriers-types représentent un des liens directs avec la clientèle et ils doivent être rédigés de la façon la plus soignée qu'il soit. Un remaniement, par pôle d'activité, a donc été entrepris pour remettre à jour une liste incomplète ou incohérente. Une automatisation partielle a également été nécessaire afin d'améliorer la rédaction de ces documents. Leur utilisation au format « Word » couplé à du publipostage réalisant le lien avec la base de données, permet de garder une liberté d'action suffisante et une efficacité certaine.

Charte de nommage et nomenclature

L'organisation des fichiers représente un point négatif que l'audit a mis en évidence. Dans une société telle que GETude où les fichiers naviguent entre diverses personnes réparties dans plusieurs agences, il est important de mettre en place une charte de nommage commune à tout le monde afin d'homogénéiser l'ensemble du travail. Cette charte est couplée à une nomenclature claire et précise. Celle-ci est automatiquement générée lors de la création d'un nouveau dossier dans le logiciel de gestion « Moduleo ». Même si cela va modifier les habitudes des employés, il va falloir un effort de chacun pour la respecter. Cela facilitera la recherche ultérieure de dossier et la conservation des fichiers.

Archivage

Le dernier point abordé se concentre sur les moyens d'archivage. En effet, deux types de méthodes sont largement pratiquées à l'heure actuelle. La plus traditionnelle est l'archivage papier. Cette méthode suffisamment éprouvée a ses avantages et ses inconvénients. La deuxième méthode est l'archivage informatique qui permet un gain de place évident mais aussi des contraintes de sécurité des données à ne pas négliger. Le choix catégorique pour l'une ou l'autre des méthodes n'est pas des plus judicieux mais un archivage mixte mêlant les données numériques aux données papier permettrait de tirer partie des avantages de chaque méthode. L'équilibre doit être parfait et la limite doit être clairement fixée dès le départ pour permettre d'être le plus performant possible dans ce domaine.

3. Logiciel de gestion « Moduléo »

L'amélioration de la qualité au sein de la société passe par l'utilisation d'un logiciel de gestion performant. Au départ, l'ensemble de la gestion se faisait par le biais de trois logiciels (« Geoprod Quality » pour la gestion administrative des dossiers, « Gprod » pour la gestion des fichiers de production et le « planning » pour les rendez-vous ou les mails par exemple). Le but a donc été de combiner ces applications en une seule de façon à uniformiser les outils de gestion. Le second objectif, et non des moindres, a été de pouvoir connecter l'ensemble des sites de production à un même serveur pour permettre un meilleur échange des données. Cette connexion a été rendue possible grâce à Internet qui permet de transférer les données en haut débit, cependant des verrous ont été mis en place pour assurer la totale sécurité des données.

La conception du logiciel « Moduléo » se décompose en plusieurs phases suivant la conception des différents modules à la fois indépendants et complémentaires.

Module de gestion des fichiers de production « Filéo »

Ce module permet la gestion électronique des fichiers de production. En effet, l'interface gère la sauvegarde, la modification et la création de tous les fichiers informatiques de la société. Le principe de fonctionnement est le suivant :

- ◆ un utilisateur se connecte au logiciel via un identifiant et un mot de passe personnel.
- ◆ Il recherche le dossier dont il souhaite avoir accès puis il se l'« attribue ».
- ◆ Une fois cette opération effectuée, l'utilisateur peut visualiser l'ensemble des fichiers présents dans le dossier qui sont stockés sur le serveur général.
- ◆ S'il souhaite modifier l'un de ces fichiers, il doit au préalable le « télécharger », ce qui a pour effet de copier le fichier du serveur vers son disque dur. Ce dernier effectue les modifications qu'il souhaite et à la fin de son travail, il doit l'« archiver » pour remettre à jour le dossier présent sur le serveur. Ses manipulations sont transparentes grâce à divers outils qui permettent de savoir si le fichier est présent sur le serveur, le disque dur ou les deux, la personne qui l'a modifiée en dernier et la date de modification.

Nom	Verrou	Taille	Dernière modification	Dernier	Emplacement
(Dossier Parent)					
BDH91_20080609_PIEUX.rtf	🔒	3 Ko	06/06/2008 09:58:36	Guillaume Com.	Loc - Det.
CONTROLE_IMPLANTATION.xls		62 Ko	13/06/2008 12:01:02	Alan Des.	Det.

Figure 1 : Liste des fichiers et informations associées

Plusieurs avertisseurs précisent également l'état de chaque fichier pour prévenir l'utilisateur

- ◆ si tout est bien archivé,
- ◆ si un fichier est désynchronisé (version différente entre le disque dur et le serveur)
- ◆ si le fichier n'a pas été archivé.

Les protocoles de contrôle sont très importants pour garantir la sécurité des fichiers. Effectivement, il ne faut, en aucun cas, perdre des données sachant que plusieurs utilisateurs peuvent travailler sur un même dossier.

L'utilisateur qui modifie un fichier, peut le « verrouiller » afin que les autres utilisateurs n'y aient accès qu'en lecture seule. Cela évite des modifications multiples non désirées.

Au démarrage du module, une comparaison Disque dur - serveur permet de déceler les fichiers désynchronisés et les supprimer du disque dur de l'utilisateur. Ce dernier sera alors obligé de re-télécharger le fichier afin d'avoir la dernière version disponible sur le serveur.

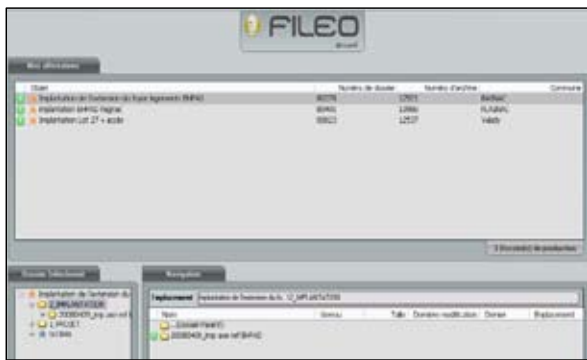


Figure 2 : Page d'accueil de « Fileo »

Un dernier avertisseur incite également tous les utilisateurs à « archiver » leur travail sur le serveur au minimum une fois par jour (lors de la fermeture du logiciel) pour permettre une mise à jour quotidienne des données du serveur.

Module de gestion administrative des dossiers « ExpertGéo »

Ce module permet la gestion administrative des dossiers et la comptabilité analytique. En effet, celui-ci rassemble toutes les informations relatives à un dossier. Cela concerne les données générales tels que, la localisation administrative (commune, section, N° parcelle, Lieu-dit), la localisation géographique (coordonnées planimétriques), le responsable du dossier, la date de commande et le type de procédure. En complément de cet ensemble, on trouve également les coordonnées et renseignements complets du client, la liste des suites d'actions propres aux dossiers suivant la procédure choisie ou encore la liste des courriers envoyés. Ce module assurera également la gestion des devis, des factures et des temps passés.

Parallèlement, il est possible d'accéder aux divers documents évoqués précédemment à savoir les tutoriaux et autres modèles de références que chacun peut consulter pour connaître la marche à suivre d'un dossier. Il y a également un accès à la liste des contacts et la gestion des temps

passés pour chaque employé. Ce module aboutit également à la réalisation de la facturation des dossiers par le biais des temps passés saisis ainsi que le suivi journalier des règlements.

Ce module est donc très complet pour permettre un suivi de dossier clair et précis. Il est lié au premier module « Filéo » tout en étant géré indépendamment.

4. Divers aspects techniques

Trois autres points ont également fait l'objet d'une réflexion pour permettre, soit d'envisager des évolutions futures vis à vis du cabinet, soit de faire le point sur les évolutions déjà en marche.

◆ Le premier point concerne la saisie d'information sur AURIGE, la base de données des géomètres-experts. Le principal problème mis en évidence est l'obtention des coordonnées géographiques de chaque dossier dans un système donné. En ce qui concerne les nouveaux dossiers, la possibilité la mieux adaptée est l'utilisation de l'outil expérimental « e-foncier » qui permet la saisie d'information via Internet. Par contre, la mise à jour de la base de données des dossiers existants s'avère plus délicate à traiter, étant donné son volume et le manque de rigueur dans la saisie d'information dans le logiciel de gestion « Geoprod Quality ».

◆ La seconde évolution qui a vu le jour depuis peu, est la mise en place des DMPC numériques. A ce jour, ils ne sont pas obligatoires mais il est fort à parier qu'il ne faudra que peu de temps pour franchir le pas. Il m'a donc fallu analyser quelles sont les attentes du service instructeur du cadastre, au niveau des formats d'échanges. De plus, j'ai pu constater que les logiciels de DAO tels que « Covadis » ou « Polaris », proposent via des modules similaires, de créer des DMPC numériques. Ceci dit, la méthode ne me semble pas encore assez aboutie et suffisamment viable pour être mise en application. En effet, en plus du surcroît de travail que cela engendre, les résultats atteints ne semblent pas être aussi limpides que l'on pourrait l'espérer. Cette option n'est toutefois pas à mettre de côté mais il est évident que des améliorations seront à envisager pour franchir le pas.

◆ Le dernier point concerne les changements apparus suite à la mise en application au 1^{er} octobre 2007 de la réforme des autorisations d'urbanisme. Dans ce cas, seul un constat et des perspectives d'avenir ont été apportés sur les changements que la société a du effectuer depuis l'entrée en vigueur de la réforme. Concrètement, cette réforme a engendré de nouvelles procédures telles que les déclarations préalables et généré de nouveaux courriers à envoyer. Leur mise en application a pris du temps et de la réflexion pour pallier le manque d'information à ce sujet. Dans l'avenir, il faudra probablement s'orienter vers les interprétations de la réforme qui amènent actuellement le plus d'interrogation afin de pouvoir apporter une réponse précise à la clientèle.

Conclusion

Ce projet de fin d'étude aura donc permis de faire évoluer la société GETude dans ses méthodologies de travail et sa gestion. En effet, l'audit de départ a révélé de nombreux points qui ont fait l'objet d'un remaniement dans le but d'améliorer la qualité du travail sur l'ensemble des sites de production de la société.

La conception et la mise en place du logiciel de gestion « Moduléo » fait également partie de l'évolution du cabinet. Son déploiement a permis de relier les bureaux secondaires et le siège social dans la gestion de fichiers de production. Il en est de même pour la gestion administrative qui va permettre d'une part de mieux s'organiser dans le travail mais aussi de visualiser l'état d'avancement de chaque dossier de façon plus transparente.

Le point, probablement le plus délicat, a été de convaincre chaque employé de changer ses habitudes de travail et de s'adapter aux nouveaux logiciels (en sachant que les méthodologies de travail sont plus une adaptation qu'un changement radical) mais la perspective d'utiliser un logiciel fait sur mesure, a permis d'estomper les éventuelles inquiétudes.

Le développement de modules supplémentaires tels qu'un planning, la gestion des boîtes mail ou encore une messagerie instantanée, dans le logiciel « Moduléo » s'inscrivent dans une suite logique de développement permettant d'améliorer encore un peu plus la gestion du cabinet. Il sera alors possible de gérer l'ensemble de la société, depuis un seul logiciel alors qu'il en fallait trois auparavant.

CONCEPTION DE LA CHAÎNE NUMÉRIQUE DE PRODUCTION DU RFU (REFERENTIEL FONCIER UNIFIÉ) ET DEPLOIEMENT DE eFONCIER, PORTAIL FONCIER DE L'OGÉ

Société d'accueil : **SOGEXFO**

PFE présenté par : **Benjamin HEYNDRICKX**

Directeur du PFE : **M. BEZARD-FALGAS**

Correcteurs : **MM. LEDIG & KOEHL**



I. INTRODUCTION

Les évolutions technologiques, juridiques et réglementaires actuelles ont permis à l'Ordre des Géomètres-Experts de se donner les moyens de moderniser sa mission de délégation de service public. L'OGÉ a donc décidé de mettre en place un référentiel parcellaire unique, juridique et géoréférencé avec une précision centimétrique pour être capable de garantir la cohérence, la pérennité et la valorisation du patrimoine foncier. Le produit de cette réflexion a été nommé le Référentiel Foncier Unifié (RFU).

L'OGÉ a donc mandaté le cabinet de Géomètres-Experts SOGEXFO pour expérimenter, à l'échelle de la région Midi-Pyrénées, la faisabilité du RFU. Une maquette destinée à être le support de diffusion du RFU, a donc été développée en collaboration avec les sociétés GEOSIGNAL et SOGEFI qui possèdent des compétences transversales à la fois en informatique et en géomatique.

Ainsi, cette étude cherche à analyser la faisabilité technique et financière du RFU au niveau régional grâce à la généralisation de la maquette dans la région Midi-Pyrénées et à la conception de la chaîne numérique de production et de diffusion des opérations foncières pour assurer la diffusion de la donnée RFU entre les cabinets de Géomètres-Experts et auprès de leurs partenaires de l'information géographique foncière (DGI, IGN, Collectivités, Notaires, Agents Immobiliers,...).

II. LE REFERENTIEL FONCIER UNIFIE



Figure 1: schématisation d'une parcelle du RFU

Le projet innovant et ambitieux du RFU vise à améliorer d'une part, la définition juridique et géométrique de la propriété foncière et d'autre part, la fiabilité de l'information donnée au citoyen en matière du droit de propriété et du droit des sols grâce à un Partenariat Public-Privé durable entre l'ensemble des acteurs de l'aménagement et du cadre de vie (DGI, IGN, AMF,...) et aux performances des nouvelles technologies (GNSS

TERIA, SIG,...). Le RFU est donc un concept visionnaire qui touche le cœur de métier de la profession de Géomètre-Expert : le « foncier ». Il faudra alors l'intégrer progressivement dans les idées afin que chacun puisse mieux comprendre l'intérêt et la nécessité de celui-ci. Ainsi, il a fallu dresser un état des lieux sur le RFU afin de constituer un véritable document de synthèse pour les Géomètres-Experts et leurs partenaires du foncier, directement concernés par le RFU. L'acquisition de ces

fondamentaux fût nécessaire avant de développer et déployer la maquette dans la région Midi-Pyrénées.

III. EFONCIER, LE FUTUR PORTAIL FONCIER DE L'OGÉ

1. Descriptif et architecture de la maquette

Le futur portail de l'OGÉ doit être à la fois la plate-forme du RFU et un outil de centralisation des données détenues par l'ensemble des acteurs de l'information géographique foncière. Ainsi, concernant les choix techniques, il a été décidé de développer un outil SIG en extranet, baptisé « eFoncier » afin d'assurer la cohérence et la pérennité des données foncières mais aussi pour sécuriser l'accès à l'outil. L'environnement MapServer (serveur cartographique) associé au SGBDRO PostgreSQL/PostGis (extension spatiale) a également été retenu pour le développement d'eFoncier. L'interface graphique PgAdmin III est également utilisée pour travailler sur les bases de données d'eFoncier.

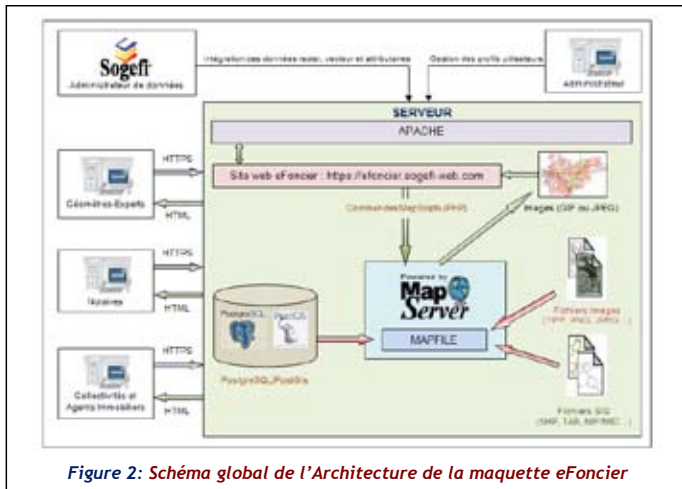


Figure 2: Schéma global de l'Architecture de la maquette eFoncier

2. Mise en œuvre du portail eFoncier

2.1. Evaluation de l'outil

L'objectif premier de la maquette eFoncier étant de constituer la plate-forme du RFU pour la diffusion, l'échange et le partage de la donnée foncière géoréférencée entre les cabinets de Géomètres-Experts et auprès de leurs partenaires institutionnels et fonciers, il a fallu tester, valider et affiner les fonctionnalités de l'outil. Les bogues, les modifications et les suggestions de développement à apporter à eFoncier ont donc été répertoriés d'une manière descriptive, puis mis en œuvre en collaboration avec la société GEOSIGNAL.

2.2. L'intégration des données sous eFoncier

Le portail eFoncier doit permettre, pour une meilleure connaissance et une meilleure maîtrise du foncier, une utilisation commune et cohérente des données foncières et réglementaires. Ainsi, un processus d'intégration des données doit être mené régulièrement pour enrichir eFoncier de données actualisées. Néanmoins, la résolution des conflits sémantiques, temporels, spatiaux et techniques reste complexe et risquée. Il fallait donc trouver une méthode permettant d'alléger ce processus

fastidieux. La comptabilité de MapServer avec le protocole WMS nous a orienté vers cette solution pour la consultation des données du RGE de l'IGN dans un premier temps. En effet, les serveurs WMS permettent de produire des représentations cartographiques dynamiques sous forme d'images, à partir de données géoréférencées, en masquant totalement le processus de constitution de la carte. Ce type de serveur est articulé autour de deux requêtes principales qui sont GetCapabilities et Getmap. La première retourne un fichier XML détaillant les possibilités offertes par le serveur. La seconde contient une demande de création de carte selon des critères spécifiés comme les dimensions de la vue, la taille de l'image ou encore la couche d'information à charger.

2.3. Vers une gestion dynamique et cartographique des dossiers du cabinet

La maquette du portail foncier de l'OGE, eFoncier, se doit d'être un logiciel de gestion des dossiers performant pour les Géomètres-Experts. Pour répondre pleinement à cet objectif, des outils permettant une gestion numérique dynamique et cartographique des dossiers ont été développés. Toutefois, aucune expérimentation à l'échelle d'un cabinet n'avait été réalisée. Le basculement en interne des 23 000 dossiers de SOGEXFO était nécessaire d'une part, pour vérifier la faisabilité technique et financière du processus et d'autre part, pour en tirer des enseignements techniques et organisationnels. Une liaison dynamique entre le logiciel de gestion analytique des dossiers du cabinet (GENESYS) et eFoncier a également été développée sous l'environnement de programmation DELPHI. Ainsi, la combinaison des deux logiciels permet d'aboutir à un archivage numérique, cartographique, simple, convivial et complet des dossiers.

2.4. Expérimentation de la dimension SIG d'AURIGE

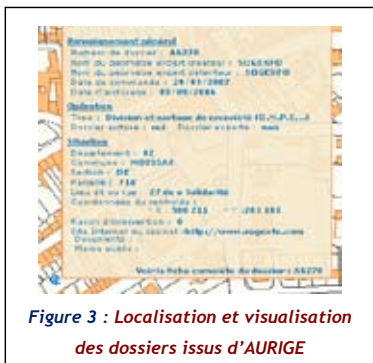


Figure 3 : Localisation et visualisation des dossiers issus d'AURIGE

L'augmentation du nombre de dossiers transmis vers AURIGE ces dernières années semble marquer la prise de conscience des Géomètres-Experts de cette obligation. Ainsi, l'OGE souhaite moderniser AURIGE en améliorant son attractivité et son ergonomie de saisie des dossiers, notamment grâce à une interface cartographique. Le portail eFoncier a permis d'expérimenter l'approche SIG d'AURIGE en proposant aux Géomètres-Experts une interface cartographique pour la saisie et l'échange des données de la région Midi-Pyrénées. Une méthode d'archivage des dossiers fonciers issus d'eFoncier vers

AURIGE a également été mise en place en collaboration avec les sociétés GEOSIGNAL et SOGEFI.

3. Déploiement d'eFoncier dans la région Midi-Pyrénées

Le déploiement d'eFoncier en Midi-Pyrénées s'est déroulé différemment selon le profil des utilisateurs. En effet, les Géomètres-Experts de la région ont obtenu à titre expérimental l'accès à eFoncier gratuitement, le projet étant initié à la base par l'OGE, contrairement à leurs partenaires du foncier (notaires et agents immobiliers) où l'ouverture d'eFoncier s'est effectuée dans le cadre d'une démarche commerciale. Ainsi, les notaires et les agents immobiliers ont dû souscrire à un

abonnement mensuel pour bénéficier d'un accès à eFoncier. La généralisation du portail eFoncier en Midi-Pyrénées a nécessité, le déploiement, la formation et l'accompagnement des utilisateurs.

Cette étape était indispensable afin de vérifier l'adéquation de la maquette eFoncier avec les besoins des Géomètres-Experts et de leurs partenaires mais aussi pour obtenir des éléments qualitatifs et quantitatifs pour étudier la faisabilité technique et financière du RFU à l'échelle régionale et ainsi définir les modalités techniques et organisationnelles pour la réalisation et le déploiement au niveau national du futur portail foncier de l'OGE.

IV. LA CHAÎNE NUMÉRIQUE DANS L'ACTE FONCIER

La conception et la production du RFU constituent un des axes majeurs de la modernisation de la délégation de mission de service public des Géomètres-Experts. La production du RFU par les Géomètres-Experts peut être considérée comme le premier niveau interne de mise en œuvre du RFU par et pour la profession de Géomètre-Expert. La définition d'un foncier géoréférencé numérique et juridique a pour objectif de moderniser les actes fonciers et apporter une valeur ajoutée aux propriétaires fonciers. Les Géomètres-Experts seront donc des acteurs permanents pour la conception et l'évolution du RFU.

La mise en œuvre de la chaîne numérique de production des actes fonciers à l'aide d'outils tels qu'eFoncier, le DAO et le GNSS TERIA dans les cabinets de Géomètres-Experts permettra d'assurer la production et la diffusion de la donnée RFU entre les Géomètres-Experts et auprès de leurs partenaires institutionnels et habituels du foncier. La définition et la mise en œuvre de nouvelles procédures intégrant le concept du RFU pour la réalisation des opérations foncières étaient donc indispensables pour accompagner les Géomètres-Experts dans cette démarche innovante et ambitieuse.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Fort de l'expérience réalisée en Midi-Pyrénées, l'OGE pourra engager une étude de faisabilité technique, financière et humaine pour définir les modalités de réalisation d'un portail foncier national de l'OGE qui sera le support de diffusion du RFU et au travers de la charte de développement durable élaborée par l'OGE, il affichera l'engagement pris par la profession de Géomètre-Expert en matière d'environnement et de développement durable. Ainsi, lorsque le portail foncier de l'OGE « eFoncier » et la chaîne numérique de production et de diffusion des opérations foncières seront généralisés sur le territoire national, la profession de Géomètre-Expert sera capable de garantir la cohérence, la pérennité et la valorisation du patrimoine foncier.

Le RFU constituera alors, au travers du portail foncier de l'OGE, la première infrastructure française de données foncières accessibles numériquement à tout citoyen.

INTEROPERABILITE ENTRE LES PLATES-FORMES CAO/DAO ET SIG DANS LE CADRE DE LA MODELISATION 3D DES PROJETS ROUTIERS DU DEPARTEMENT DU NORD

Société d'accueil : Conseil Général du Département du Nord
PFE présenté par : **Sébastien Delbour**
Directeur du PFE : M. Jérôme Vandeville
Correcteurs : M. Mathieu Koehl
M. Jean-Michel Hottier



L'étude menée porte sur les possibilités de mise en œuvre de la modélisation 3D des projets routiers du Département du Nord. Ce type de représentation du territoire et des projets d'aménagement est désormais très apprécié au sein des collectivités territoriales, car elle répond à un besoin de communication auprès des responsables dirigeants, des élus politiques et du grand public. En effet, il est plus difficile, sans être un spécialiste, de traduire et d'assimiler l'information représentée sur un plan en deux dimensions. En outre, les modèles virtuels 3D s'avèrent être un formidable outil de concertation et d'aide à la décision pour les équipes de maîtrise d'œuvre. Ainsi, à l'instar d'autres collectivités territoriales, le Conseil Général du Nord s'engage sur la voie de la 3D et la Direction de la Voirie Départementale a donc créé un comité technique, réunissant les services concernés, dans le but d'en étudier les conditions de mise en œuvre. J'ai piloté le projet en intégrant le service Information Géographique et Cartographie (IGC).

Cependant, vient se greffer à ce sujet d'étude une autre problématique, celle de l'interopérabilité entre les plates-formes convergentes CAO/DAO et SIG. De par les nombreux échanges de données de divers types en régie ou avec l'extérieur, elle constitue une condition indispensable à remplir pour que la modélisation 3D des projets puisse être envisagée sereinement. L'enjeu est donc de taille : assurer l'interopérabilité pour mettre en œuvre la représentation 3D des projets routiers.

Finalement, les objectifs de mon étude coïncident avec ceux du comité technique 3D :

- **Bilan complet de la situation actuelle en matière de gestion des projets de voirie**
- **Assurance d'une interopérabilité adaptée aux besoins entre les plates-formes convergentes CAO/DAO et SIG**
- **Définition claire de la part et des conditions de prise en charge de la modélisation 3D en régie et en externe**
- **Proposition à la hiérarchie d'une nouvelle démarche de travail, intégrant les fonctionnalités d'interopérabilité et la modélisation 3D**

1. Les bases du projet collaboratif

Une démarche collaborative précise a été mise en place pour mener l'étude dans les meilleures conditions possibles, à commencer par des rendez-vous réguliers du comité technique 3D. Ces réunions ont permis d'une part d'instaurer un vrai dialogue entre tous les interlocuteurs, avec un partage libre des opinions et des attentes, et d'autre part, de faire le point et d'informer sur l'avancé des travaux réalisés. En outre, pour compléter cette démarche participative, les membres du comité ont été sollicités tout au long du processus, afin d'apporter leur contribution à l'étude et de se sentir pleinement concernés. Enfin, la Direction de la Voirie a été régulièrement informée de l'avancement des travaux, pour donner son point de vue et réorienter si nécessaire les axes de recherche.

Au-delà d'une démarche de projet, pour démarrer en connaissance de cause, il fallait aussi établir l'état de l'existant au sein des services départementaux. A travers une enquête des usages, il est ressorti un premier bilan indiquant une homogénéité des équipements matériels et une hétérogénéité des logiciels orientés « métier », notamment pour la conception routière. Les outils de conception en 3D sont plutôt bien implantés au sein des services, mais sous-exploités, par manque de formation essentiellement. En outre, il ne ressort pas de typologie qui permettrait la distinction entre les projets routiers nécessitant une modélisation 3D de ceux qui n'en auraient pas besoin.

Ainsi, au vu du bilan sur les moyens et méthodes de travail, certaines difficultés apparaissent clairement et doivent être prises en compte pour la mise en œuvre d'une nouvelle démarche intégrant la modélisation 3D des projets routiers :

- Des moyens et des méthodes de conception routière hétérogènes (coexistence de plusieurs logiciels, conception 3D pas encore systématique) ;
- Un manque de cohérence et d'uniformité des fichiers CAO/DAO de données 3D produits par les bureaux d'études, aussi bien internes qu'externes ;
- Des outils de travail parfois peu ou pas maîtrisés, donc purement et simplement ignorés, à cause d'une carence en formation ;
- Des retards dans la mise à jour des licences de certains logiciels de conception routière (MX Road en particulier) et sous-équipement forçant l'externalisation.

2. Problématique de l'interopérabilité

Le but est de permettre une étroite collaboration entre tous les acteurs d'un projet, internes comme externes. Les échanges et l'exploitation des données doivent donc être aisés. L'interopérabilité ne sera possible que sous certaines conditions :

- **Disposer des outils adéquats** : c'est le cas, aussi bien pour le service IGC qui dispose de la plate-forme ArcGIS haut de gamme (ArcInfo 9.2), que pour les bureaux d'études qui possèdent le logiciel AutoCAD Map 3D. Ce produit présente une véritable vocation SIG et des fonctionnalités d'interopérabilité indéniables (technologie FDO). Le seul bémol reste le manque de formation du personnel sur les capacités offertes par Map 3D.
- **Echanger des données normalisées et de qualité** : les données SIG ne posent pas de problème, en revanche, les fichiers CAO/DAO produits par les bureaux d'études manquent souvent de lisibilité, de rigueur et d'uniformité dans leur constitution. Leurs moyens et méthodes de travail nécessitent clairement une rationalisation.
- **Travailler avec des acteurs motivés et collaboratifs** : le manque d'intérêt manifesté par les services de voirie au démarrage de l'étude a vite été remplacé par une réelle participation de leur part, du fait de la démarche collaborative mise en place.

Pour mettre en œuvre l'interopérabilité nécessaire, différentes actions ont été menées :

- La **normalisation des données CAO/DAO**, en imposant une production exclusivement en 3D quand une modélisation est envisagée, au format AutoCAD DWG et/ou DXF, et dans le système de référence en vigueur à l'heure actuelle. Les éléments d'habillage et de présentation sont alors proscrits. Une définition des nomenclatures de calques AutoCAD accompagne ce travail de normalisation.

- La **rationalisation des méthodes de travail** en proposant une conception systématique en 3D à l'aide des logiciels à disposition (AutoCAD Civil 3D et MX Road), globalement adaptés au besoin. Les fonctionnalités SIG (cartographie, interopérabilité) d'AutoCAD Map 3D ont aussi été présentées en réunion pour une réelle exploitation par les bureaux d'études départementaux (import/export, conversion de données CAO/DAO, SIG et raster).
- La **rédaction de prescriptions à ajouter aux Cahiers des Charges** relatifs aux prestations topographiques et de conception routière, en vue d'une éventuelle modélisation 3D. Il s'agissait de retranscrire les normes établies sur les données (contenu, structure, formats d'échange, ...) et de déterminer la forme et la qualité du rendu, afin que les prestations externalisées soient rigoureusement conformes aux attentes.

Le travail de fond sur la donnée, les pratiques et les échanges, validé par le comité, ne portera ses fruits que si les engagements pris sont tenus d'ici la fin de l'année 2008, à savoir :

- Une **étude détaillée des moyens matériels et logiciels**, à la charge de la Direction de l'Informatique, pour aboutir à une mise en adéquation du matériel informatique et des logiciels avec l'activité des services. Il s'agit en résumé d'augmenter les capacités des postes de travail, de mettre à jour les licences pour éviter les problèmes d'incompatibilité et d'acquérir de nouvelles licences de logiciels de conception.
- Un **programme de formation**, indispensable à tous les agents pour l'utilisation des fonctionnalités offertes par AutoCAD Map 3D. Une formation interne ou externe sur les logiciels de conception est aussi envisageable pour assurer une production en 3D.
- Le **respect des nouvelles normes et méthodes de travail**, pour faciliter aussi bien les échanges et l'exploitation des données en régie qu'avec les prestataires externes.

Une fois ces engagements honorés, l'interopérabilité entre les plates-formes CAO/DAO et SIG sera effective. Le panel de normes et de documents écrits définit une ligne directrice, à respecter pour des échanges de données de qualité impliquant un minimum de contraintes pour les acteurs concernés par l'élaboration d'un projet de voirie.

3. Etude des conditions de mise en œuvre de la modélisation 3D

La problématique de l'interopérabilité étant résolue, je me suis penché sur la thématique de représentation en 3D des projets routiers dans leur contexte. La modélisation 3D dans le domaine de l'aménagement du territoire apporte un véritable gain pour chaque phase d'avancement :

- L'analyse des contraintes et des enjeux du territoire d'implantation (représentation des zones sensibles ou à risques, des contraintes liées aux installations existantes, ...)
- La visualisation de plusieurs alternatives et options d'aménagement
- La concertation et la prise de décision sur le choix d'un projet
- La visualisation du projet définitif
- La communication et la sensibilisation auprès de tout public (plus-value pédagogique)

Pour les services départementaux, une représentation symbolique apparaît suffisante au moment des études préalables et de l'avant-projet, car seuls les spécialistes sont concernés. Mais dès lors que le projet routier se précise, le besoin d'un outil universel pour communiquer s'avère indispensable et il est exigé un modèle 3D réaliste, afin que le projet soit valorisé dans un environnement restitué avec soin et fidélité. De plus, concernant le rendu, il doit être possible de réaliser des images et vidéos, d'exporter les maquettes numériques et surtout de naviguer en temps réel. Finalement, le but est de produire des modèles virtuels réalistes (surtout pour le paysage), avec navigation 3D temps réel, afin d'offrir fluidité, liberté et interactivité pour mieux apprécier et évaluer l'impact paysager des projets.

Le besoin ainsi exprimé, j'ai étudié les possibilités de mise en œuvre de la modélisation 3D en régie. Etant donné la charge de travail, les données et les compétences nécessaires, c'est au sein du service IGC qu'elle peut être envisagée. Dans un premier temps, des tests ont été réalisés avec les outils disponibles, à savoir la plate-forme ArcInfo d'ESRI, avec extensions 3D et Spatial Analyst. Plusieurs maquettes numériques ont ainsi été réalisées à l'aide du module ArcScene. Le modeleur 3D Google SketchUp a permis de modéliser et texturer finement une partie du bâti et de l'intégrer dans ArcScene. Si les résultats sont plutôt satisfaisants, hormis pour la représentation des milieux naturels, les inconvénients sont trop nombreux et le processus long et fastidieux, du fait de capacités de traitement limitées et d'une solution (ArcScene) inappropriée à une restitution réaliste d'un territoire.

Par conséquent, dans un second temps, des logiciels de modélisation 3D paysagère ont été évalués, notamment SpacEyes 3D et surtout LandSIM 3D de la société Bionatics, leader pour la génération et la simulation 3D de végétaux. Après avoir constitué un modèle virtuel avec ce dernier logiciel, mon enthousiasme était bien réel, car LandSIM 3D répond correctement aux besoins exprimés. En effet, il permet une restitution rapide et réaliste d'un site à grande échelle, avec reconstitution fidèle et automatisée des milieux naturels et insertion aisée d'éléments 3D d'architecture ou d'infrastructure, modélisés et texturés finement via un modèleur comme SketchUp. Pour le service IGC, il est donc apparu évident que la modélisation 3D en régie ne peut se faire qu'à l'aide de tels outils spécialisés, caractérisés par une prise en main rapide, une interopérabilité adaptée, une grande ergonomie et des critères de qualité sur le rendu paysager indéniables, sans oublier la navigation en 3D temps réel.

Néanmoins, une part des projets routiers (moins d'une dizaine par an) nécessite un haut niveau de réalisme (notamment en milieu urbain) ou plus qu'une simple modélisation du paysage (études acoustiques, hydrologie, ...). Pour ces situations, l'externalisation s'impose. J'ai donc rédigé deux modèles de Cahiers des Charges pour les prestations de modélisation et simulation 3D, l'un adapté pour la phase d'études et d'avant-projet, afin d'évaluer les différentes variantes d'aménagement, et l'autre pour la phase « Projet », quand le projet routier a été conçu et arrêté. Ainsi, sur la base des documents existants, j'ai intégré dans ces modèles une meilleure expression du besoin et formulé précisément les exigences pour la conception des maquettes numériques, sans oublier les critères de forme et de qualité du rendu.

4. Proposition d'une nouvelle démarche de travail

A l'issue de mes études sur les conditions de mise en œuvre de la modélisation 3D des projets routiers, j'ai proposé au comité technique et à la Direction un nouveau processus orienté 3D pour mener les projets de manière plus performante, étape par étape. Cette démarche prend en considération les normes et conditions à respecter pour les échanges et l'interopérabilité, ainsi que la mise en œuvre de la représentation en 3D des projets. J'ai donné à cette proposition la forme d'un dossier, contenant une **Charte d'échanges et de mutualisation des données**, document de référence pour les acteurs concernés, et l'ensemble des prescriptions rédigées pour les Cahiers des Charges. Dans la Charte figure la chaîne de travail innovante, qui illustre les différentes alternatives à chaque phase d'avancement et identifie clairement les rôles et objectifs de chacun des intervenants.

Pour que cette nouvelle démarche de travail soit opérationnelle, il faudra remplir certaines conditions, à savoir :

- Optimiser les conditions de travail au sein des bureaux d'études départementaux (mise à niveau des matériels et logiciels, formation) ;
- Investir sur une plate-forme 3D opérationnelle pour le service IGC (matériel et logiciel dédié à la 3D, rentabilité assurée à court terme) ;
- Prendre en considération la charge de travail supplémentaire (20 à 30 semaines temps homme pour une estimation de 20 projets/an).

Afin d'accompagner le lancement et le suivi de cette démarche, un club d'utilisateurs 3D se réunira chaque mois à compter de septembre 2008. L'objectif à terme pour la Direction de la Voirie Départementale semble donc la concrétisation du « projet 3D » à partir du second trimestre 2009.

En conclusion, je suis parvenu à atteindre les buts que je m'étais fixé au départ. En outre, ma proposition de démarche de travail « rénovée », formalisée au travers d'un dossier synthétique incluant une Charte, a convaincu la Direction de la Voirie de s'investir, dans la perspective de voir naître une véritable expertise de la 3D au sein de ses services. L'arrivée du SIG WEB en intranet en cette fin d'année 2008 et la part de modélisation 3D prise en charge par le service IGC devrait enfin susciter l'envie de rebondir sur de nouveaux sujets d'étude. Je pense notamment à des projets tournés vers la valorisation des données en 3D et l'ouverture sur des solutions innovantes de communication (*web services*).

Société d'accueil : **SCANLASER**
PFE présenté par : **Thomas LECLERC**
Directeur (directrice) du PFE : **M. DUBREUIL**
Correcteurs : **M. LEDIG et M. HOTTIER**



1. Introduction

À l'heure où les coûts en carburant explosent, les délais qui se raccourcissent, la haute exigence de la qualité qui est exigée, le guidage d'engin de chantier par station totale robotisée et GPS est de plus en plus demandé par les entreprises de terrassement et de travaux publics. Les enjeux financiers des grands chantiers sont considérables, si bien que les entreprises de travaux publics cherchent constamment à augmenter leur productivité et à améliorer leurs méthodes.

La société, qui évolue au sein du groupe HEXAGONE commercialise un système de guidage de pelle hydraulique ou excavateur dans un marché français encore sous équipé. En effet, par rapport au nombre de machines totales du parc, très peu sont équipées en guidage, mais SCANLASER est en train de développer son activité en équipant de plus en plus de machines chaque année. Les entreprises de gros terrassement et de travaux publics sont les principaux clients de SCANLASER.

SCANLASER commercialise, réalise le montage et la formation des chauffeurs et des géomètres à l'utilisation du système de guidage de pelle qui comporte une partie logicielle et une partie matérielle. La base logicielle qui réalise le couplage des informations tridimensionnelles issues des capteurs topographiques avec les informations délivrées par les capteurs montés sur la machine, a été conçue pour n'importe quelle machine.

Cette interface est totalement nouvelle et permet d'intégrer des projets topographiques à l'aide d'un logiciel spécifique donc avec un format spécifique et protégé.

Ce projet a pour but de faire pénétrer le lecteur dans le monde du guidage d'engin en expliquant les aspects techniques et le principe de fonctionnement des systèmes dits 2D et 3D. Les géomètres topographes, par leur formation, sont des acteurs privilégiés dans l'utilisation des systèmes de guidage qui seront de plus en plus utilisés sur les chantiers de France et du Monde. Ce mémoire peut être une opportunité pour attirer des géomètres et topographes dans les travaux publics à travers le domaine du guidage d'engins.

2. Système de guidage de pelle SCANLASER

En réponse à la problématique évoquée dans l'introduction, SCANLASER commercialise des systèmes de guidage pour pelle. Il existe deux gammes de systèmes : le système dit 1D/2D composé de capteurs, des inclinomètres et des capteurs de direction et d'un boîtier de commande appelé XC2. La version 3D consiste en l'addition d'un ou deux récepteurs GPS ou GNSS RTK de la gamme LEICA RED LINE, nouveaux instruments de topographie dédiés spécialement au marché des travaux publics et du couplage des données issues des capteurs et des informations tridimensionnelles issues des récepteurs par un ordinateur embarqué appelé GEO-ROG.

Etat de l'art

Depuis déjà deux décennies, de nombreux procédés de guidages sont utilisés par les systèmes comme le laser (laser rotatif), les stations robotisées, ou les récepteurs GPS ou GNSS RTK. Le système de pelle SCANLASER 2D peut être employé avec un laser pour définir un plan de référence alors que le système 3D utilise exclusivement le système de positionnement GPS ou GNSS en mode RTK (temps réel cinématique), l'emploi d'une station robotisée est très contraignante car la pelle est un engin qui effectue de nombreuses rotations, les pertes de prismes affecteraient l'efficacité du système.

Mise en œuvre

Comme nous l'avons vu, le système 1D/2D se compose de différents capteurs (inclinomètres, capteurs de direction) qui utilisent la technologie CANBUS, comme dans le secteur de l'automobile. Ces capteurs donnent les valeurs angulaires de l'inclinaison des éléments de la pelle (flèche, balancier, godet)

Matériel					
Description	Inclinomètre $\pm 90^\circ$ monté sur flèche et/ou balancier	Inclinomètre $\pm 90^\circ$ avec cellule laser monté sur le balancier	Inclinomètre $\pm 180^\circ$ monté sur le godet ou l'attache rapide du godet	Capteur de direction 360° monté sur la carcasse de la pelle	Boitier de commande XC2

Le guidage 3D s'effectue donc par l'installation de récepteurs GPS ou GNSS temps réel de la gamme LEICA RED LINE. Ces récepteurs de dernière génération sont au niveau hardware identiques au système 1200 utilisé en topographie courante, seul l'aspect logiciel change : en effet, le logiciel développé par SBG, membre du groupe HEXAGONE MACHINE CONTROL, se veut simple d'utilisation et orienté vers les travaux publics.

Matériel			
Description	PowerAntenna : antenne GPS ou GNSS et récepteur intégré	PowerBox : récepteur GPS ou GNSS	Antenne AX1202 GPS ou GNSS

SCANLASER réalise donc l'installation du système sur la machine, mesure les éléments géométriques de la pelle (métrologie) en vue de la calibration du système, puis forme le chauffeur et le géomètre à l'utilisation du système de guidage d'engin.

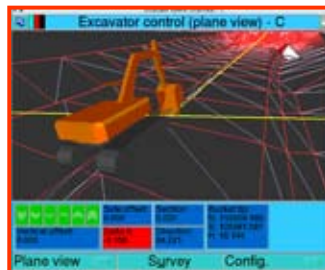
Etude technique du système 3D

On appelle système de guidage 3D pour pelle un système qui permet de fournir les coordonnées XYZ du centre de la lame du godet en temps réel ainsi que l'écart avec le projet théorique en temps réel tout en tenant compte des mouvements de la machine via les capteurs 2D.

Le principe du système 3D est de coupler les données issues des capteurs et les informations tridimensionnelles issues des récepteurs par un ordinateur embarqué appelé GEO-ROG. Celui-ci propose une multitude de visualisation très graphique pour faciliter son utilisation.



Principe de fonctionnement du système 3D



Interface machine du système 3D

4. Etude commerciale et marketing

Le marché des pelles à chenilles est en expansion constante: Le nombre de pelle a augmenté de 27% entre 2006 et 2007. Les excavateurs constituent le plus gros parc de machines en France, cependant, il est encore sous équipé en système de guidage. SCANLASER France a réalisé 12 ventes en 2007 et dépassera les 15 ventes cette année. Pourtant nous sommes loin des 80 systèmes de guidage pour pelle vendus par SCANLASER Suède en 1 mois seulement...

Cette différence s'explique par les différentes méthodes de travail entre la France et les pays scandinaves : Nous utilisons traditionnellement davantage les niveleuses et bouteurs en réglage de couche ou de plateforme mais presque jamais la pelle. On observe que celle-ci est de plus en plus employée pour des phases de réglages ce qui montre que les mentalités changent.

Malgré l'expérience de SCANLASER France dans le domaine du guidage et les gains avérés du système de guidage de pelle, celui-ci a encore du mal à se faire un nom dans les Travaux Publics. Une partie de l'étude porte sur tout le travail marketing et commercial qui est réalisé pour développer les ventes de ce produit.

5. Conclusion

Le domaine du guidage d'engin est un domaine passionnant car il constitue une application pratique de la topographie par l'utilisation du GPS, par la gestion des projets mais également parce qu'il constitue une solution aux différents enjeux des entreprises : Contrôle de la qualité, augmentation du rendement, optimisation de la productivité, gain en temps et carburant, sécurité du personnel, ... Cette étude expose les aspects techniques du guidage pour pelle : calcul de la position du godet et couplage des données 2D avec des informations tridimensionnelles.

Mais ce système qui équipe encore trop peu de machines en France est très prometteur : les ventes ne devraient que s'accroître dans les années à venir. Il faut rester à l'écoute des professionnels pour améliorer l'ergonomie et les fonctionnalités ; il est nécessaire que les géomètres topographes, par leurs relations avec les conducteurs d'engin et les chefs de chantier participent au développement des systèmes.

**DIAGNOSTIC ET HIERARCHISATION
DES RESEAUX ECOLOGIQUES
DANS LE PERIMETRE DU SCOT DE METZ**

Société d'accueil : CETE de l'EST
PFE présenté par : Anne-Laure KOCH
Directeur du PFE : Jean CARSIGNOL
Correcteurs : Mathieu KOEHL
Jacques LEDIG



1. INTRODUCTION

Présentation du CETE : Les Centres d'Études Techniques et de l'Équipement (CETE) sont des services extérieurs du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) apportant des prestations d'ingénierie dans les domaines touchant aux infrastructures et à leur exploitation, à l'équipement, à l'aménagement du territoire ainsi qu'à l'environnement. J'ai réalisé mon projet au sein de la Division Environnement du CETE de l'Est.

Contexte et objectifs du projet : Depuis une dizaine d'années, des réflexions et des études sont menées sur les réseaux écologiques. Des expériences multiples sont tentées et permettent d'obtenir des résultats qui sont discutés. Ce domaine de l'écologie fonctionnelle appliquée à l'analyse des territoires est à ses débuts. Cela se traduit par des échanges d'expériences, des discussions, des remises en cause. La méthodologie se met en place progressivement. C'est dans ce contexte que les services de l'État (cellule Aménagement, Écologie urbaine, Sites et Paysages de la DIREN Lorraine) confient au CETE de l'Est (Division Environnement) la mission de cartographier les réseaux écologiques dans l'aire géographique du SCOT de l'Agglomération Messine.

Le rôle fonctionnel des réseaux écologiques est fondamental. Il détermine pour une grande part le maintien d'une biodiversité élevée et durable et contribue aussi au confort des populations humaines en offrant un cadre de vie équilibré et de qualité.

Dans ce projet, les réseaux étudiés sont associés aux milieux suivants :

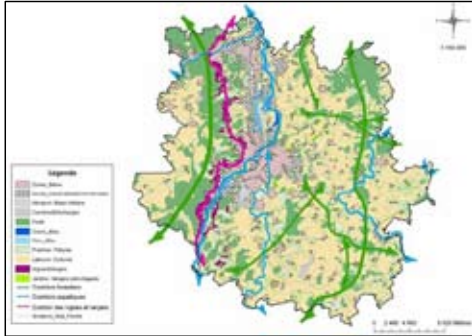
- × Le **milieu thermophile** dont les corridors sont associés aux pelouses calcaires. Les orthoptères et les reptiles sont les espèces animales inféodées à ce milieu ;
- × Le **milieu forestier** auquel sont associés les chevreuils et les sangliers ;
- × Le **milieu aquatique** et des zones humides, représenté par l'ensemble des rivières, ruisseaux et rus du territoire, auquel les batraciens et les reptiles aquatiques sont associés ;
- × Les **territoires d'agriculture extensive** (prairies) assimilés à une matrice paysagère dont les lièvres et les perdrix sont les espèces étudiées.

Mon travail est essentiellement cartographique et comprend trois phases :

- × Le **recueil des données** disponibles auprès des services de l'État ;
- × **L'identification des réseaux écologiques** selon la terminologie des spécialistes : trame verte (corridors forestiers), trame bleue (corridors des milieux aquatiques), zones nodales ;
- × La réalisation d'une **cartographie des coûts de déplacements** de la faune terrestre à partir d'applications sur le logiciel IDRISI.

2. METHODES

2.1. Première approche



On trouve :

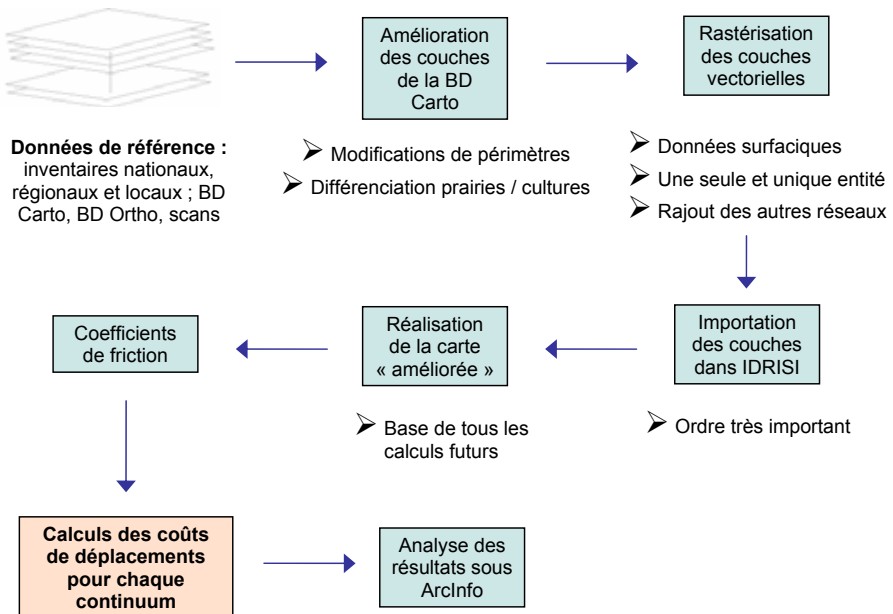
La cartographie du territoire avec les zones bâties, les zones d'activités, les étendues prairiales, les cultures, les massifs forestiers...

Les corridors forestiers : deux corridors partagent le territoire du SCoT avec, à l'Ouest, les massifs de la côte de Moselle, et à l'Est, les massifs de la côte de Delme, du bois de Rémilly et au-delà, les grands ensembles boisés en rive droite de la Canner (Nord-Est du territoire) ;

Les corridors aquatiques (et des zones humides) de la vallée de la Moselle, de la Seille, de la Nied Française, de la Nied Allemande (très en limite Est du territoire) et de l'Orne.

Le corridor thermophile (des vignes et vergers) aussi appelé corridor des pelouses calcaires sèches, il est situé en position de front de la côte de Moselle.

2.2. Étapes pour la réalisation des cartes de coûts de déplacements



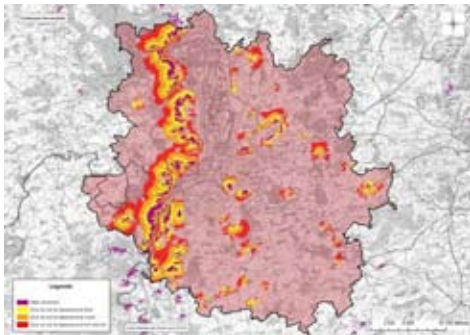
Les coefficients de friction composent des matrices de rugosité. Ces matrices sont au nombre de quatre, égales au nombre de milieux étudiés. Le terme de coût de déplacement défini par des coefficients, représente la difficulté pour un animal à se déplacer dans des zones accueillantes ou hostiles. Ces coefficients s'échelonnent de 0 (milieu structurant du milieu étudié) à 1000 (infranchissable) et sont calculés selon un linéaire maximal défini que l'espèce animale peut traverser (prairies, jardins) ou selon le nombre d'éléments qu'il peut franchir (routes, cours d'eau).

3. RESULTATS ET ANALYSES

Les résultats des calculs des coûts de déplacements pour chaque continuum sont présentés sous forme de cartes de dispersion, une modélisation du paysage obtenue après la simulation grâce à IDRISI. Ces quatre cartes de dispersion présentent cinq milieux, définis après des reclassements en zones :

- Un milieu structurant (ex. : massifs boisés pour le milieu forestier) ;
- Une zone de coût de déplacement faible : c'est le milieu attractif ;
- Une zone de coût de déplacement moyen : c'est le milieu peu fréquenté ;
- Une zone de coût de déplacement fort : c'est le milieu répulsif ;
- Une zone qualifiée d'infranchissable.

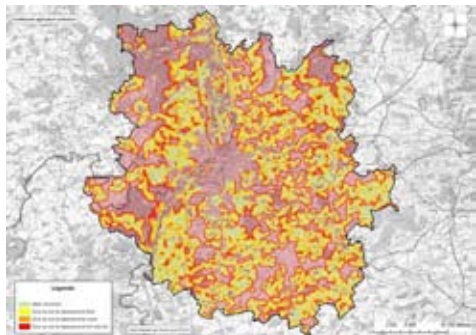
Le continuum thermophile :



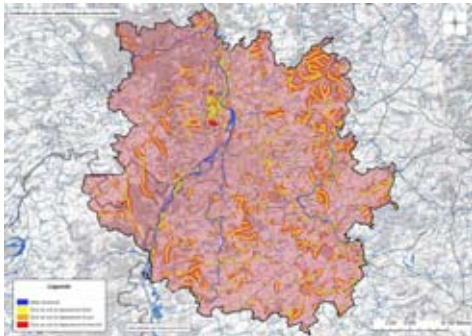
- Corridor organisé de façon simple
- Corridor principal situé sur les côtes de Moselle qui est partiellement fragmenté du fait des infrastructures
- Quelques îlots sont dispersés sur le territoire dont la connexion est réalisable mais délicate
- Certaines zones sensibles à restaurer

Le continuum d'agriculture extensive :

- Milieu quasi continu à première vue
- Pas de réels corridors mais plutôt une matrice paysagère
- Milieu relais pour la grande faune
- Quelques contradictions au niveau des gravières situées au Nord de Metz
- Résultat convenable pour les déplacements de la petite faune



Le continuum des milieux aquatiques et des zones humides :



- Résultat le moins concluant
- De nombreuses incohérences dans le modèle surviennent à proximité des autres milieux (zones bâties, cultures) : coupures, discontinuités
- Le modèle de dispersion ne représente pas correctement les déplacements des espèces assimilées à ce milieu, la dispersion aurait dû se faire le long des cours d'eau et non de manière transversale

Le continuum forestier :

- Corridor principal situé à l'Ouest, également en position de front de côtes de Moselle
- Corridors les plus nombreux mais aussi les plus fragmentés du fait des infrastructures
- Quelques massifs isolés pouvant être reconnectés
- Étendue forestière importante sur la partie Est du SCoT
- Liaisons Est-Ouest à conserver pour la biodiversité



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La méthode de calcul des déplacements à moindre coût et l'obtention des cartes de dispersion n'est pas encore une méthode standardisée et fonctionnelle. Les résultats obtenus s'avèrent être de bons indicateurs malgré quelques incohérences résiduelles. Ils sont un outil d'aide à la décision lors de la mise en place de lignes stratégiques de gestion du territoire et permettent aux politiques publiques d'avoir une cartographie des réseaux à prendre en compte lors de projets d'aménagement. Cette étude a permis de mettre en évidence les grands axes de déplacement de la faune. Pour améliorer davantage la précision de ces axes, cette étude doit être affinée à des échelles plus précises comme au niveau des PLU et des agglomérations, par exemple.

L'identification des axes de déplacement pour la faune ne s'inscrit pas seulement dans le but de rétablir des connectivités entre les habitats mais aussi pour mettre en garde et préserver des lieux de vie pour certaines espèces. Une intégration paysagère ainsi qu'une revitalisation des zones périphériques doivent être prises en compte dans l'intention de favoriser la multifonctionnalité des continuités écologiques.

CONCEPTION ET IMPLANTATION DU MODULE DE REDRESSEMENT D'IMAGES DE LA SOLUTION GEOSKETCH

DEVELOPPEE AU CENTRE DE RECHERCHE EN GEOMATIQUE DE L'UNIVERSITE LAVAL, QUEBEC

Société d'accueil : CRG de l'Université Laval
PFE présenté par : **Mathieu BACH**
Directeur du PFE : M. Stéphane ROCHE
Correcteurs : M. Pierre Grussenmeyer
M. Mathieu Koehl



INTRODUCTION

Le Centre de Recherche en Géomatique regroupe une vingtaine de professeurs-chercheurs de l'université Laval aux côtés d'une soixantaine d'étudiants chercheurs, de stagiaires postdoctoraux et de professionnels de recherche. Articulés autour d'un noyau principal situé au Département des sciences géomatiques de l'Université Laval, les chercheurs consacrent la totalité ou une part importante de leurs énergies à effectuer des recherches novatrices en géomatique. L'équipe possède notamment des expertises en géodésie, positionnement GPS, photogrammétrie, topométrie, cartographie, télédétection, altimétrie laser, système d'information géographique (SIG).

Dans ce contexte, le projet Géosketch consiste à concevoir et développer un logiciel de réalisation de croquis sur unité mobile. Le projet est né de l'intérêt du réseau de centres d'excellence GEOIDE pour le travail de maîtrise de Mathieu Rondeau^a, et vise spécifiquement l'extension du concept de réalisation de croquis en mobilité à d'autres domaines d'application que l'archéologie. La plate-forme choisie pour le développement du logiciel est un Smartphone, une solution hybride entre un téléphone mobile et un assistant numérique personnel. Cet appareil est en outre muni d'une caméra numérique de 2Mpix, laquelle permet d'acquérir directement les clichés sur lesquels le travail de réalisation du croquis peut s'appuyer. Les objectifs principaux du projet Géosketch sont les suivants :

- La refonte du prototype Arch-Tablet, en vue de créer une version avancée, baptisée "Géosketch_core", qui serait le noyau central de la solution
- Le développement des modules spécifiques à chaque application métier, sous forme de plugins, qui permettront de constituer la suite logicielle "Géosketch_suite"

Mon mandat, dans le cadre du projet, a consisté à concevoir et développer un module de redressement d'images. Ces images devant ensuite pouvoir servir de support au croquis de terrain. Ce besoin fut identifié à la suite des tests du logiciel Arch-Tablet par des archéologues, lesquels avaient précisé vouloir dessiner sur une image à l'échelle de leur carré de fouille. Le principe du redressement d'une image consiste à simuler une prise de vue orthogonale à un objet plan, à partir d'une vue inclinée, prise à hauteur d'homme le plus souvent. Le but est d'obtenir une image de la scène aux proportions réelles et surtout à l'échelle, permettant ainsi de faire des mesures métriques à partir de ces photographies.

Compte tenu de la nature et des caractéristiques de la plate-forme choisie, un Smartphone, un certain nombre de verrous technologiques ont été identifiés, lesquels ont constitué autant de problèmes qu'il a fallu résoudre avant d'aboutir à un programme fonctionnel :

- Puissance et capacité mémoire bien inférieures à celle d'un PC
- Fonctions de programmation limitées par la compacité du langage de développement mobile
- Taille de l'écran et pointage au stylet, moins confortables que sur un Tablet PC

^a Mathieu Rondeau a effectué une maîtrise à l'Université Laval en 2007, dont le sujet consistait à développer un logiciel de réalisation de croquis sur Tablet PC à destination des archéologues.

I. AVANCEE DU PROJET A MON ARRIVEE ET SOLUTIONS EXISTANTES

L'équipe du projet a développé dès le départ l'idée d'une solution de redressement d'image entièrement automatique et embarquée sur le Smartphone. Elle s'est inspirée du travail de Michel Boulianne¹ et de ses collaborateurs qui avaient conçu un repère de redressement de la forme d'une croix. Pour satisfaire la contrainte d'embarquement du système de redressement, un laser projetant une croix a été fixé sur le Smartphone (*Figure 1*). Concernant l'automatisation, un algorithme de traitement d'image devait reconnaître la croix sur le cliché et en extraire les coordonnées des extrémités.



Figure 1 : Laser monté sur le Smartphone

Aucun logiciel sur plate-forme mobile ne propose actuellement de fonction de redressement d'image. Dans le domaine de la géomatique on retrouve classiquement des applications SIG ou encore des logiciels de dessin raster parfois vectoriel, sur ce type de plate-forme. Mais aucun ne combine le dessin vectoriel et le redressement d'images, Géosketch constitue donc une innovation dans ce champ d'application.

Les principales méthodes de redressement d'un cliché peuvent se résumer ainsi :

- La méthode la plus classique consiste à relier les coordonnées-images et les coordonnées-objets de 4 points au minimum à l'aide des relations suivantes :

$$X = \frac{ax' + by' + c}{gx' + ky' + 1}, Y = \frac{dx' + sy' + f}{gx' + ky' + 1}$$

(Équation 1)

X, Y : coordonnées-objets

x', y' : coordonnées-images

a, b, c, d, e, f, g, h : coefficients de redressement

- Il existe également des méthodes moins classiques, basées sur certaines caractéristiques géométriques de l'objet :
 - Y. Chen et H.S.Ip Horace² utilisent des lignes de fuite de l'image ainsi qu'un cercle pour corriger la perspective dans l'image. Ces derniers³ proposent également un procédé tirant profit de l'intersection de deux cercles dans le plan objet,
 - X.-C. Yin et al⁴ ont pu redresser des clichés de documents en utilisant l'alignement des blocs de texte ainsi que l'inclinaison des caractères,
 - F. Guo⁵ quant à lui extrait un cercle dans le plan objet ainsi que deux distances connues entre 2 points et ce cercle,
 - Enfin D. Liebowitz et A. Zisserman⁶ suggèrent de décomposer le processus en 3 étapes (*Figure 2*). D'abord extraire les lignes de fuite pour corriger la perspective [1], puis certaines contraintes géométriques pour calibrer la caméra [2], enfin la dernière étape permet de géoréférencer l'image [3], en appliquant deux translations, une rotation et un facteur d'échelle global.

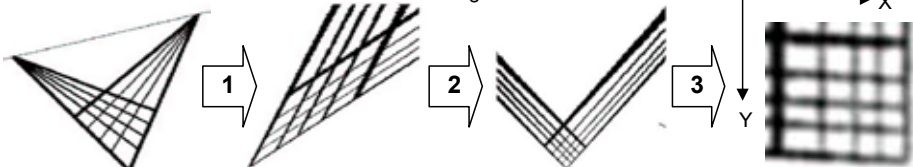


Figure 2 : Stratification du processus de redressement d'image

II. ÉTUDE ET CONCEPTION DES SOLUTIONS RETENUES

Nous avons rapidement constaté que l'image de la croix laser variait très peu quelle que soit l'orientation de la caméra. Une modélisation sous Excel du système a rapidement confirmé la délicatesse du procédé. Nous avons donc décidé d'abandonner les recherches dans cette direction, pour se consacrer au développement d'une méthode plus fiable, et plus universelle, articulée autour de deux étapes principales : l'orientation du cliché et la génération de l'image finale.

ORIENTATION DU CLICHE A L'AIDE DE POINTS D'APPUIS

Nous avons opté pour un repère physique en forme de croix de taille connue, lequel permet d'affecter des coordonnées-objets à chacune de ses extrémités. Pour obtenir les coordonnées-images de cette croix, nous avons conçu un système de pointage à plusieurs niveaux de zoom (Figure 3). L'utilisateur clique successivement les 4 sommets à l'écran, les coordonnées-écrans sont ensuite transformées en coordonnées-images pour pouvoir déterminer les coefficients de redressement de l'équation (1).

Le module d'extraction automatisé prévu initialement n'étant pas fonctionnel, nous avons développé un algorithme pouvant déterminer les coordonnées-images des 4 extrémités d'une croix noire. À la manière du pot de peinture de *Paint* une première partie de la routine balaye les pixels noirs, alors que la seconde teste la position de chaque pixel trouvé pour en déterminer l'appartenance ou non à une extrémité.



Figure 3 : Système de saisie des points d'appuis

ORIENTATION DU CLICHE A L'AIDE DE CONTRAINTES GEOMETRIQUES

A cette étape, l'outil doit pouvoir repérer des caractéristiques géométriques connues de l'objet plan. Pour satisfaire à l'étape [1] du point 1, l'utilisateur doit indiquer 2 paires de lignes parallèles (lignes rouges et bleues de la Figure 4). Ensuite pour valider l'étape [2], il doit choisir ces paires perpendiculaires entre elles, et pointer 2 distances connues non parallèles. Enfin, l'étape [3] n'est pas requise dans son intégralité, seul le facteur d'échelle global nous importe, et en réalité nous profitons des distances pointées à

l'étape 2 pour le calculer. Ces données servent à calculer une transformation de forme différente de celle basée sur des points d'appuis.

Pour éviter d'avoir à écrire un nouvel algorithme de génération de l'image utilisant ces nouvelles équations, nous avons imaginé simuler une croix physique pour faire ainsi une analogie avec la première méthode. Les coordonnées-objets et images sont calculées à l'aide des équations propres à cette seconde méthode, le reste des opérations se fait de manière transparente pour le logiciel, dans la mesure où les données de redressement ont exactement la même forme que celles de la première méthode.



Figure 4 : Système de saisie des contraintes géométriques

GENERATION DE L'IMAGE REDRESSEE

A l'issue de l'étape précédente, les coefficients de la transformation de l'image brute vers l'image redressée ont été déterminés. Pourtant, pour générer l'image redressée, nous utilisons l'application inverse, c'est-à-dire, balayer un par un les pixels de l'image redressée et chercher les pixels correspondants dans l'image brute. Se faisant, nous évitons l'apparition de trous dans l'image finale causée par la présence de pixels non affectés. Nous devons en revanche fixer par avance la taille de l'image de sortie et, pour optimiser cet espace de sortie, nous proposons à l'utilisateur de sélectionner une zone de l'image à redresser (Figure 5), de manière à optimiser le nombre de pixels "utiles" dans l'image finale.

De nombreuses optimisations de la vitesse d'exécution ont été obtenues en appliquant diverses astuces de programmation, notamment en travaillant directement depuis un fichier BMP, ou encore en convertissant l'image sous forme d'un tableau de pixels.



Figure 5 : Fenêtre de paramétrage de l'image finale

III. TESTS ET RESULTATS

La vitesse d'exécution est l'un des paramètres testé. Elle dépend essentiellement de la taille de l'image de sortie. L'étape d'orientation du cliché ne subit pas de ralentissement notable, mis à part le temps de chargement de l'image brute. Typiquement nous avons relevé un temps de 15s pour générer une image de 500 pixels de large, et jusqu'à 107s pour 1500 pixels. La capacité mémoire réduite du Smartphone limite toutefois la génération d'une image supérieure à 1500 pixels.

Sur le plan de la visualisation, une image de sortie de grande taille est beaucoup plus fine dans les détails qu'une image générée de petite taille.

La précision est un autre paramètre testé. Nous avons effectué une série d'essais sur une zone-test, les écarts relatifs vont de $\pm 0,2\%$ dans le meilleur des cas, à l'aide de la méthode basée sur les contraintes géométriques à $\pm 3\%$ dans le pire des cas, avec une croix physique de petite taille par rapport à la scène (25% de la zone). Nous avons pu noter que si l'on oriente une photo à partir d'une image haute résolution (2Mpix), la variation dans les mesures était très faible selon que l'on ait généré une image en 500 pixels ou en 2000 pixels (sur ordinateur), en revanche le gain de temps est très grand.

Nous avons enfin procédé à divers tests d'ergonomie avec la coopération d'utilisateurs. Ces tests consistaient dans un premier temps à suivre sur une fiche, pas à pas, des instructions nécessaires pour redresser une image. Les actions des utilisateurs ont été enregistrées ainsi que les commentaires audio. Dans un second temps, nous demandions à l'utilisateur de mesurer une zone test à l'aide des méthodes de son choix. Ces tests nous ont permis d'apprécier la compréhension globale du logiciel, ainsi que les points sur lesquels l'utilisateur ne s'applique pas forcément.

IV. CONCLUSION

Cette étude nous a donné l'opportunité d'explorer une nouvelle ressource technologique servant de support à une application photogramétrique : le Smartphone. Cette étude fut très expérimentale, étant donné le peu de travaux similaires menés sur ce type de plate-forme, nous n'avions que très peu d'idées sur les résultats que l'on pouvait attendre de ce type d'exercice.

Bien que le choix du laser ait été très avant-gardiste, le procédé ne fut pas jugé assez fiable, en grande partie due à la faible puissance du laser, et à la mauvaise qualité de la caméra.

Par manque de temps, il nous fallait très rapidement développer une version fonctionnelle du module de base de la solution Géosketch. Ce que nous avons fait en étudiant une méthode basée sur une croix physique comme l'avait fait Michel Boulianne.

Une fois cette version fonctionnelle et utilisable nous avons pu nous consacrer à un peu de recherche. Cela nous a permis d'étudier des méthodes moins classiques de correction de perspective, et d'en développer une en particulier. Grâce à cette méthode nous pouvons rectifier des scènes de taille plus importante, tout en maintenant une précision acceptable compte tenu des critères de qualité de la caméra, de pointé.

Au travers des tests de précision que nous avons réalisés par la suite, nous avons pu remarquer que la précision globale de cette dernière méthode était à chaque fois meilleure que celle basée sur des repères physiques.

Nous avons enfin bouclé ce développement par des tests d'utilisabilité et d'ergonomie, ce qui nous a donné un point de vue d'utilisateur sur notre solution, et de l'adapter en fonction de ces remarques.

Sur le plan des perspectives, nous avons imaginé développer un module de reconnaissance des lignes de fuite dans une image. Nous pouvons également tenter d'améliorer la précision des mesures en utilisant plus de points d'appuis, ou plus de lignes de fuite, et d'appliquer alors le principe des moindres carrés pour trouver les paramètres optimaux. Enfin nous voulions encore développer l'export des dessins en DXF2000, car cette version gère les images raster et toutes les fonctionnalités que nous n'avions pu trouver en étudiant le format DXF R13.

¹ Boulianne M., Pigeon L. et Côté M., [1995], *Croquis d'accidents routiers réalisés par redressement d'images*, Géomatica vol 49(3), Ed. Association Canadienne des Sciences Géomatiques, pp.289-29

² Chen Y., Horace H.S.Ip, [2004], *Planar metric rectification by algebraically estimating the image of the absolute conic*, In Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004

³ Chen Y., Horace H.S.Ip, [2005], *Planar rectification by solving the intersection of two circles under 2D homography*, Pattern Recognition 38, Publication Elsevier, pp.1117-1120

⁴ Yin et al, [2007], *A Multi-Stage Strategy to Perspective Rectification for Mobile Phone Camera-Based Document Images*, In Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition, 2007

⁵ Guo F., [2006], *Plane Rectification Using a Circle and Points from a Single View*, In Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition, 2006

⁶ Liebowitz D. and Zisserman A., [1998], *Metric Rectification for Perspective Images of Planes*, In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1998

Société d'accueil : **AUDRR**
 PFE présenté par : **Alexandre BOUREZ**
 Directrice du PFE : **Mme Silvina RODRIGUES-GARCIA**
 Correcteurs : **M. Emmanuel ALBY**
 M. Claude WERLE



1. Contexte de l'étude et méthodologie

Le développement des infrastructures viaries et l'amélioration des vitesses de circulation ont favorisé une croissance urbaine extensive, impliquant une pression foncière de plus en plus importante en zone périurbaine.

Or, de nombreux éléments plaident pour le renforcement de l'articulation entre transports et urbanisme :

- les coûts croissants des déplacements
- une sensibilité environnementale accrue
- la loi Solidarité et Renouvellement Urbains.

De ce fait, conformément au Schéma de Cohérence Territoriale de la Région Rémoise, la politique de développement s'oriente vers une urbanisation maîtrisée des franges d'agglomération et notamment de la frange Nord de Reims.

Le parti pris pour ce territoire (d'une superficie d'environ 2800 ha) s'explique particulièrement depuis l'annonce récente de la fermeture probable en 2011 de la base aérienne 112 (représentant plus de 542 ha), conduisant la frange Nord à être la dernière grande réserve foncière de la Communauté d'Agglomération de Reims.

C'est pourquoi, pour éviter toute consommation « inappropriée » de l'espace foncier, ce Projet de Fin d'Etudes se fonde, tout d'abord, sur un diagnostic de l'état actuel du territoire, s'appuyant sur les documents réglementaires, sur des données statistiques ainsi que sur l'analyse des dynamiques urbaines en cours.

Ce dernier permettra alors de dégager les principaux atouts, faiblesses et enjeux du territoire afin que soient proposés et étudiés différents scénarii d'aménagement. Ceux-ci devront prendre en compte à la fois les contraintes particulières, et principalement environnementales, l'accroche aux espaces déjà urbanisés ainsi que les possibilités de desserte.

Le scénario le plus convaincant sera alors approfondi pour aboutir à un projet de développement durable, établi aussi bien au niveau fonctionnel que spatial.

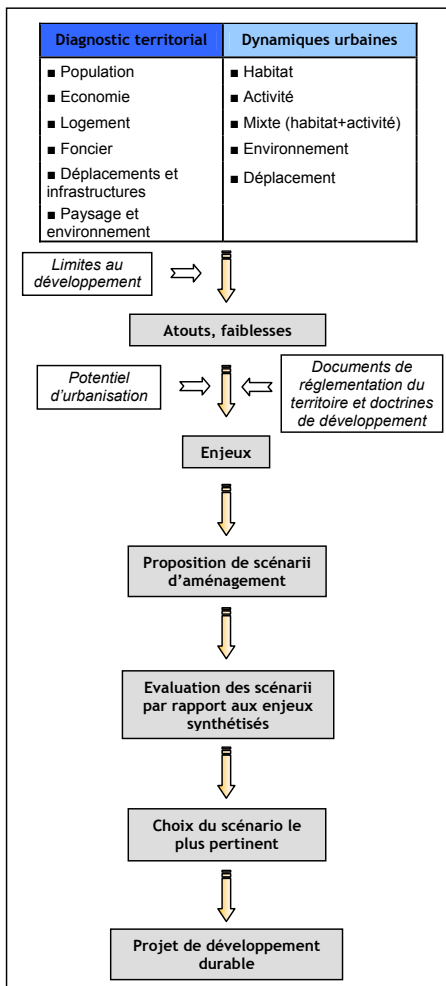


Figure 1 : Schéma de synthèse de la méthodologie employée

2. Diagnostic territorial

Le diagnostic territorial fondé sur une analyse thématique (population, économie, logement, foncier, déplacements - infrastructures, paysage - environnement) et transversale, s'appuyant notamment sur :

- les principaux documents de planification stratégique et de développement local
- le traitement de données provenant de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

fait ressortir les atouts et faiblesses du territoire pouvant être synthétisés sous forme d'enjeux globaux et d'enjeux locaux.

DEPLACEMENTS		
Enjeux globaux		
- Mettre en œuvre le schéma de déplacement et le Plan de Déplacements Urbains [Schéma de Cohérence Territorial]	Accroître les possibilités de liaisons avec le centre de l'agglomération par les modes doux: - redonner une place aux piétons - promouvoir l'usage du vélo avec la création de pistes cyclables reliant le centre de Reims à Bétheny et au terminus tramway [Plan de Déplacements Urbains]	- Accroître les parts de marchés des Transports en Commun dans la mobilité des personnes [Charte du Pays Rémois]
Enjeux locaux		
- Alléger le trafic sur le Boulevard des Tondeurs	- Profiter de la diversité et de la multiplicité des infrastructures de déplacement pour desservir efficacement le territoire	- Sécurisation du réseau viaire départemental

Figure 2 : Exemple d'enjeux identifiés pour les déplacements

3. Propositions et évaluation de scénarii

Compte tenu des enjeux de développement, des volontés et des engagements politiques pouvant être plus ou moins importants selon chaque commune, cinq scénarii ont été proposés :

- **Scénario 1** : la base aérienne demeure, volonté politique d'un développement limité restreint au foncier déjà mobilisé

- **Scénario 2** : la base aérienne demeure, volonté politique d'un développement maximal, toutefois limité par le Plan d'Exposition au Bruit de l'aérodrome et le dépôt de munitions situés tous deux sur la zone étudiée

- **Scénario 3** : la base aérienne disparaît, volonté politique d'un développement maximal

- **Scénario 4** : la base aérienne disparaît et est réaffectée en foncier agricole car, une volonté de maintien et de développement des activités agricoles est souhaitée

- **Scénario 5** : la base aérienne est réaffectée pour de l'aviation civile « Lowcost » et de l'aviation d'affaire, la volonté politique du développement est maximale

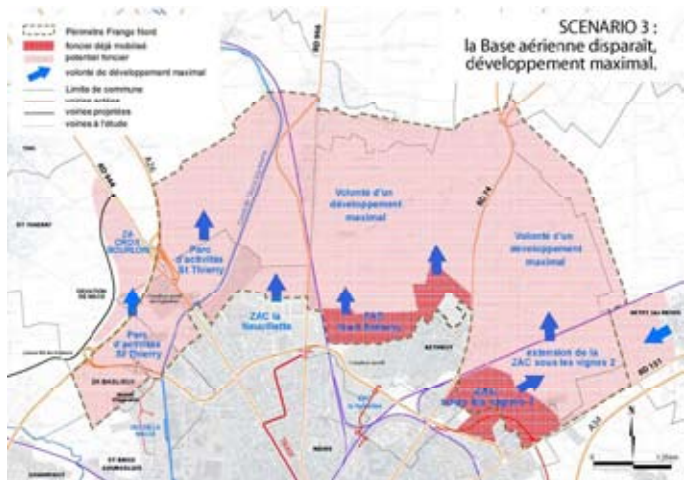


Figure 3 : Schématisation des principes du scénario 3

L'évaluation de chacun de ces scénarii, prenant en compte non seulement les conséquences et impacts du développement sur l'agglomération et sur la frange Nord, mais aussi l'analyse détaillée des conditions d'intégration ou de réponses aux enjeux, amène à choisir le scénario 3 comme scénario le plus pertinent.

En effet, celui-ci offre la possibilité de concentrer l'ensemble du développement de l'agglomération sur la frange Nord de Reims, permettant ainsi d'organiser des réflexions à grande échelle, soucieuses des besoins et de l'avenir commun.

DEPLACEMENTS	Scénario 1		Scénario 3	
	Evaluation	Conditions d'intégration ou de réponses aux enjeux	Evaluation	Conditions d'intégration ou de réponses aux enjeux
Enjeux globaux				
- Mettre en œuvre le schéma de déplacement et le Plan de Déplacements Urbains	-	- La taille de la zone à aménager ne permet pas une organisation d'ensemble des déplacements	+++	-La taille de la zone à aménager permet de mettre en place une organisation d'ensemble des déplacements sur la totalité de la frange
Accroître les possibilités de liaisons avec le centre de l'agglomération par les modes doux: - redonner une place aux piétons - promouvoir l'usage du vélo avec la création de pistes cyclables reliant le centre de Reims à Bétheny et au terminus tramway	-	- L'utilisation de la Voiture Particulière est favorisée - Le caractère diffus du développement ne justifie pas un investissement supportable par les collectivités dans des aménagements cyclables	+++	-Promotion des modes doux par le développement d'une offre attractive -Priorité à la qualité et à la fonctionnalité de l'espace public dans le plan d'aménagement d'ensemble -Développement d'un maillage cyclable attractif tout particulièrement dans le franchissement des coupures
- Accroître les parts de marchés des Transports en Commun dans la mobilité des personnes	-	- Le risque de développement éparpillé, au grès des opportunités foncières en dehors de la frange ne favorise pas les Transports en Commun	+++	-Articulation à créer entre desserte des Transports en Commun et développement urbain -Potentialité d'implantation de haltes ferroviaires ou de Transports en Commun Site Propre en liaison avec le centre de l'agglomération

Figure 4 : Exemple d'évaluation des scénarii 1 et 3 selon les enjeux globaux de déplacements

4. Projet de développement durable

Le scénario 3 ayant été retenu, il conduit à l'élaboration d'un projet de développement durable dans lequel les actions à mettre en œuvre suivantes ont été identifiées :

- ✓ Etablir une gouvernance entre l'ensemble des acteurs (organisation du secteur public et des aménageurs)
- ✓ Mettre en œuvre une politique foncière soit par création d'un Etablissement Public Foncier Local, soit par convention avec la Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural.
- ✓ Préciser le projet urbain (délimiter l'affectation précise des zones, déterminer les nouvelles centralités à créer, définir des normes de densité en matière de logement,...)
- ✓ Produire une urbanisation innovante (réalisation d'éco quartiers, d'éco constructions, d'espaces publics multi usage, ...)
- ✓ Desservir les territoires à urbaniser par les Transports en Commun et les modes doux (mise en place d'un tram train, création de haltes ferroviaires, extension du réseau de bus de l'agglomération, aménagement d'un chemin de halage...)
- ✓ Améliorer la desserte par les infrastructures (réalisation d'une liaison entre l'A26, l'A34 et le pôle Industrie Agro Ressources de Bazancourt, amélioration des connexions avec le centre ville...)
- ✓ Réviser les documents d'urbanismes des communes concernées (POS/PLU...)

Après avoir également identifié les partenaires à réunir, une spatialisation du projet est enfin proposée pour que les grands principes à intégrer puissent être localisés.

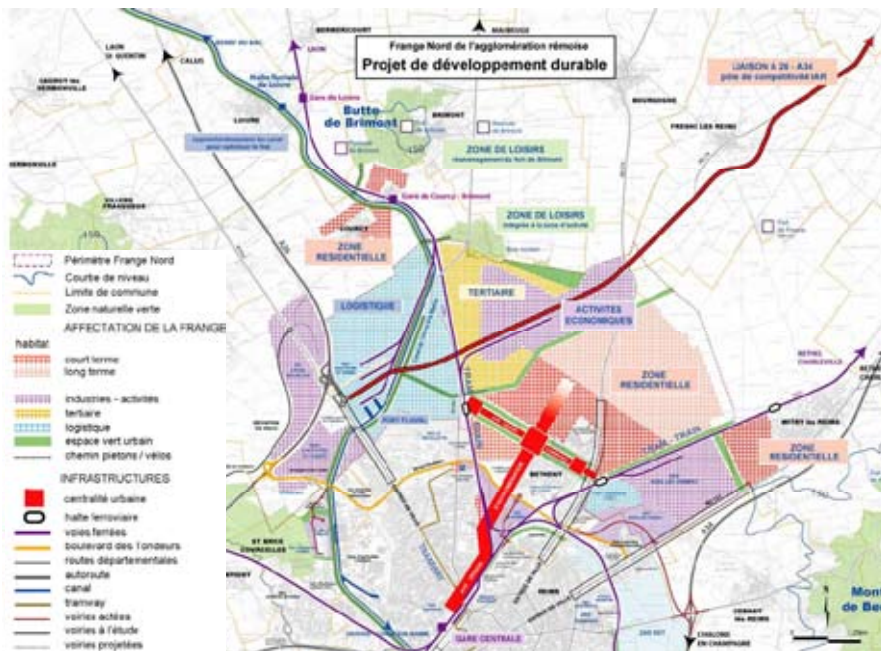


Figure 5 : Proposition de spatialisation du projet de développement durable

5. Conclusions et perspectives

Ce travail transversal et pluridisciplinaire, fondé sur un diagnostic territorial et basé sur des thématiques diverses, a fait ressortir les atouts, faiblesses et enjeux de l'espace étudié. Les différents scénarii proposés par la suite, correspondant à des volontés ou à des possibilités de développement, ont alors été confrontés aux enjeux inscrits dans les documents réglementaires du territoire et aux enjeux déduits localement.

L'évaluation globale de chaque scénario, aboutit au choix de celui conduisant à une urbanisation entière et cohérente de la frange Nord.

Au premier abord, cette décision peut paraître contraire aux volontés de limitation de la consommation du foncier agricole mais, compte tenu des besoins fonciers futurs (importants) de l'agglomération rémoise et des faibles réserves foncières actuelles, ce choix est justifié.

En effet, si le développement ne se fait pas sur la frange Nord (seule réserve foncière importante) il se fera en dehors de celle-ci et de manière non maîtrisée. C'est pourquoi, le Nord de Reims est considéré comme territoire privilégié, pour concentrer une grande partie du développement à venir. Dans ce cas, une disparition des activités militaires, serait envisagée pour répondre à des enjeux communs.

Toutefois, un espace aussi important, d'environ 2800 ha peut offrir de nombreuses possibilités qu'il ne s'agit pas de « gaspiller » par des opérations désorganisées.

Ainsi, un aménagement d'ensemble, offrant une cohérence du développement, est proposé dans le cadre d'un projet de développement durable, mettant particulièrement l'accent sur les actions à mettre en œuvre et les partenaires à réunir.

Ce mémoire pourra alors faire l'objet d'un document d'information et d'un outil d'aide à la décision, pour les élus et acteurs concernés par l'étude.

ENRICHISSEMENT DES DONNEES HISTORIQUES PAR DES RELEVES LASER- ET PHOTOGRAMMETRIQUES POUR LA REALISATION D'UNE MAQUETTE 3D.

MISE EN VALEUR DU SITE DE L'EGLISE ABBATIALE DE NIEDERMUNSTER. -

Société d'accueil : Laboratoire MAP-PAGE de l'INSA de Strasbourg
PFE présenté par : Camille LOTT
Directeur du PFE : M. Mathieu KOEHL
Correcteurs : M. Mathieu KOEHL et Mme. Elise MEYER



1. Introduction

Fondé en 1996, le laboratoire MAP-PAGE de l'INSA de Strasbourg accueille régulièrement des étudiants dans le cadre des Projets de Fin d'Etudes. Les principaux axes de recherches sont la photogrammétrie et la modélisation tridimensionnelle des objets topographiques et architecturaux. Suite à l'acquisition du scanner laser *Trimble GX* par le laboratoire en 2006, les données lasergrammétriques ont fait l'objet de nombreux sujets d'études.

C'est dans le cadre de la Charte de Valorisation du Massif du Mont Sainte Odile (Alsace, France), que le projet de Mise en Valeur du Site de l'église abbatiale Sainte Marie de Niedermunster a vu le jour. Plusieurs phases sont à prévoir :

- collecte des données et modélisation 3D du site actuel (état « ruiné » de l'édifice)
- évolution de cette modélisation vers une maquette d'extrapolation d'après les hypothèses archéologiques (état « hypothétique » de l'église abbatiale lors de sa construction au VII^{ème} siècle)
- création d'une interface interactive permettant d'accéder à une banque d'informations attachées à la maquette

D'autres axes de recherches ont également été évoqués, comme la réhabilitation de la grange annexe en vue d'y installer une exposition lapidaire, etc.

Mon projet constitue la première des phases citées ci-dessus. Son but est de mettre en place une méthodologie qui permettra d'extraire des données acquises sur le terrain, les informations utiles à la création d'une maquette virtuelle 3D texturée. Celle-ci permettra de rendre accessible au public, de manière indirecte, ce site d'une grande richesse.

2. Modéliser des Monuments Historiques

Les maquettes tridimensionnelles qui représentent le monument tel qu'il est au moment de l'étude sont nécessaires pour deux raisons majeures. Elles permettent la gestion du patrimoine (documentation et conservation) et constituent des aides précieuses à la décision (documentation préalable à d'éventuels travaux de rénovation). Elles sont nécessairement associées à une idée de « simplification systématique », qui en font une « vue abstraite de la réalité ».

Parmi les modèles 3D créés par modélisation informatique nous pouvons distinguer quatre grandes catégories :

- les modèles par balayage : ils sont obtenus par déplacement (translation, rotation) d'une surface (fixe ou variable) selon une trajectoire. Cette technique permet de créer des objets très simples, réductibles à des formes géométriques simples.

- les modèles volumiques : ils sont obtenus par un ensemble de volumes contigus et sans intersection ou par construction à partir de primitives plus ou moins complexes. Seule la représentation des objets réduits à des formes dérivées du parallélépipède est aisée avec cette méthode.
- les modèles par frontière : ils sont obtenus d'après les coordonnées des points de l'objet et des segments qui les relient. Leur visualisation peut être ambiguë à cause de la « superposition » en plan des primitives qui les composent.
- les modèles par maillage polygonal : ils sont obtenus par triangulation d'un ensemble de points qui créé un modèle composé de multiples facettes. Ils sont très utilisés pour la modélisation d'objets complexes (chapiteaux, sculptures, blocage, etc.)

Suivant l'objet à modéliser, il faudra choisir parmi ces méthodes la plus adaptée pour obtenir le résultat souhaité.

3. Présentation, décomposition logique du site

Pour mener à bien la modélisation des ruines de l'église abbatiale, un travail préliminaire de « catégorisation » des éléments présents doit être réalisé. Il permettra de structurer et hiérarchiser en parties et sous-parties l'ensemble des données générées.

Pour ce faire, l'église a été structurée de manière sémantique et géométrique dans un Modèle Conceptuel de Données (MCD).

4. Acquisition des données et Modélisation

4.1. Acquisition des données primaires

Les données primaires regroupent l'ensemble des données originales, saisies sur l'objet lui-même.

- mesures GPS : pour l'établissement d'un canevas de points d'appuis.
- levé topographique :
 - classique : relevé de points permettant de créer un Modèle Numérique de Terrain, par exemple
 - particulier : relevé de points caractéristiques pour la restitution de géométries particulières (voûtes, escaliers en colimaçons, etc.)
- levé lasergrammétrique : pour la numérisation complète des ruines du monument : plus de 30 millions de points acquis.
- levé photogrammétrique : génération d'une couverture photographique dense de l'édifice : plus de 1000 photographies qui créent une archive importante de l'évolution du site au cours du temps.

Ces campagnes de mesures permettent de produire un ensemble de données métriques de grande précision ($\pm 2\text{cm}$ pour le GPS et $\pm 1\text{cm}$ pour les données laser).

4.2. Acquisition des données secondaires

Les données secondaires regroupent les données déjà traitées et présentées sous forme de cartes ou de plans, par exemple.

- numérisation automatique : utilisé pour la numérisation de documents d'archives, mais aucune structuration de données n'est possible lors de la scannérisation.
- digitalisation manuelle : l'utilité est la même, mais l'opérateur peut hiérarchiser les données vecteur produites par la création et la gestion de "couches" contenant des entités de même nature.

Ces techniques permettent de numériser les quelques documents d'archives existants (en particulier le plan de l'église abbatiale dessiné en 1986 par l'archéologue J. Preiss), les rendant ainsi exploitables lors de la modélisation informatique.

4.3. Modélisation

- maquette "Tel que Construit" simple et partielle

Faisant suite au géoréférencement, la digitalisation manuelle hiérarchisée du plan de l'archéologue permet de produire les premières données métriques. Bien que très théorique (il est relevé pour la moitié Nord, et dessiné par symétrie pour la partie Sud), ce plan constitue une base pour débiter les travaux de modélisation.

Importées dans le logiciel *SketchUp Pro6*, ces lignes fermées créent des surfaces. Par extrusion de ces surfaces suivant des hauteurs mesurées lors de précédentes missions sur le terrain, les premiers volumes apparaissent.

Interprétable comme une mise en 3D du plan 2D de l'archéologue, cette première maquette constitue désormais un nouvel outil de travail. Elle est qualifiée de "simple" à cause de la nature très théorique du plan duquel elle découle ; de "partielle" car elle ne représente que les restes de l'église présents sur le site (en faisant abstraction des dégradations causées par le temps), alors qu'une maquette "Tel Que Construit" représente généralement l'édifice entier tel qu'il est supposé avoir été lors de sa construction.

- vers la maquette "Tel que Construit ajustée à la Saisie"

Les campagnes de mesures sont menées en parallèle de la réalisation de la maquette "Tel que Construit" simple et partielle. Elles m'ont permis de réaliser une phase importante d'ajustement des éléments (extrudés précédemment) aux nuages de points issus des campagnes de scan. La création de "groupes" (ensembles de lignes et surfaces indissociables et déplaçables d'un seul tenant) permet de gérer facilement ces remaniements spatiaux effectués comme suit :

- à partir des nuages complets, on crée des sous-nuages par filtrage pour conserver uniquement les points caractérisant les arêtes saillantes
- à partir de ces points caractéristiques, les arêtes sont dessinées par une composition de primitives géométriques.
- importées dans *SketchUp Pro6*, ces arêtes permettent d'ajuster les éléments de la maquette "Tel que Construit" simple et partielle aux données réelles acquises sur le terrain.

De la première maquette découle à présent un modèle 3D fidèle à la géométrie de l'objet modélisé.

- augmentation de la pertinence géométrique

Bien que les éléments de la maquette soient correctement placés dans l'espace, la maquette est encore dans un état de description très simple. Seules les formes régulières sont restituées, alors que l'objet d'étude présente différents éléments aux formes singulières. Pour augmenter le réalisme de la maquette, il convient de la développer en y ajoutant des détails.

La solution du maillage polygonal exécuté dans *3DReshaper* est alors appliquée pour restituer les parties effondrées de l'édifice, où apparaît le blocage.

L'extrusion de surfaces complexes le long d'un axe (réalisée directement dans le logiciel de modélisation) est mise en œuvre pour représenter certaines particularités architecturales, en particulier certaines bases de pilastres, colonnes ou piliers.

- application des textures

La description géométrique est maintenant bien détaillée. Mais elle ne suffit pas à restituer le monument dans son intégralité : l'application de « matières » est indispensable pour produire une maquette visuellement réaliste. Nous distinguerons deux techniques d'habillage :

- par texture : l'habillage se fait par placage d'une photographie sur la surface à enrichir. Le logiciel *RealWorks* présente des outils très efficaces pour mener à bien ce travail fastidieux.
- par couleur : l'habillage se fait par la colorisation de la face choisie

La volonté de créer une maquette de niveau de détail homogène et les limites informatiques m'ont poussés à faire le choix d'appliquer des textures sur les faces géométriquement simples (issues des extrusions du plan 2D ajustées à la Saisie) et des matières sur les faces géométriquement très détaillées (maillages, bases de colonnes, etc.).

5. Vers l'outil pédagogique

La maquette 3D texturée est un premier outil permettant de rendre accessible au public les ruines de l'église abbatiale, mais son intégration dans un Système d'Information l'enrichit considérablement. L'utilisateur est alors en mesure d'interroger chaque élément de la maquette dans le but d'en obtenir des informations supplémentaires. Au-delà de l'outil visuel et d'analyse, cela permet d'accéder à un outil pédagogique, vecteur d'informations multiples, destiné à commenter et expliquer ce monument.

6. Conclusion et perspectives

De l'acquisition des données à la maquette 3D texturée, le travail a été réalisé suivant une logique d'organisation et de hiérarchisation des données, en vue de son intégration dans un Système d'Information. Une attention particulière a été portée tout au long de la modélisation à la taille du fichier généré, puisque les limites informatiques actuelles ne sont pas extensibles. Ainsi, pour apporter une réponse satisfaisante à la demande de la Communauté de Communes du Canton de Rosheim, des choix ont dû être faits pour mettre en valeur les détails les plus pertinents, tout en montrant le site dans sa globalité, et cela dans un fichier le moins lourd possible. Ainsi, la maquette actuelle permet une navigation relativement fluide sur un ordinateur de bureau classique, en utilisant un logiciel gratuit.

L'objectif prévu au commencement du travail est donc atteint. Cependant, certaines frustrations persistent, notamment en ce qui concerne le temps de travail requis. Celui-ci m'a limitée dans la volonté d'explorer la création du Système d'Information qui y sera associé. Cela est explicable par le fait que le logiciel utilisé pour la modélisation n'est certainement pas le mieux adapté, car d'autres applications sont plus spécifiquement dédiées à ce genre de projets.

Ce modèle, terme de la première phase du projet global, constitue la base d'un travail d'extrapolation vers un modèle de reconstitution. Le public, consultant alors le système interactif sera invité à se projeter du temps de Sainte Odile, lors de la construction de l'église, pour l'appréhender telle qu'elle est supposée avoir été bâtie.

L'ensemble des travaux ont été menés conjointement avec différents corps de métier. Une dimension interdisciplinaire humainement très enrichissante m'a alors permis de me rendre compte des attentes de chacun. En effet, les modèles tridimensionnels de monuments historiques suscitent aujourd'hui l'intérêt de bon nombre de personnes. Que ce soit les architectes, archéologues, scientifiques ou simples admirateurs du patrimoine, chacun apprécie de pouvoir travailler, émettre des hypothèses ou interagir avec cette source de connaissances. Moyen idéal pour sauvegarder les trésors patrimoniaux actuels pour le futur, les maquettes 3D sont ainsi très convoitées et appréciées.



Fig. 1 : vue Est du Massif Occidental de l'église abbatiale.



Fig. 2 : vue depuis le Nord de la Crypte

CONCEPTION ET SUIVI OPERATIONNEL D'UN LOTISSEMENT A USAGE D'HABITATION A NIEDERLAUTERBACH

Société d'accueil : TOPOS Aménagement

PFE présenté par : Victor Tarroux

Directeurs du PFE : Frédéric Wisselmann

Correcteurs : Emmanuel Alby – Claude Werlé



Introduction

La société TOPOS est une agence d'urbanisme et d'aménagement urbain spécialisée dans l'élaboration de documents d'urbanisme (modification et révision de POS, PLU etc.) et de travaux de maîtrise d'œuvre en infrastructures (rues, voiries et réseaux divers, lotissement, AFU, etc.). En qualité d'assistant d'études stagiaire, j'ai eu la charge de mener à bien la réalisation d'un lotissement à usage d'habitation à Niederlauterbach, commune du Bas-Rhin. Un lotissement correspond à « toute division d'une propriété foncière en vue de l'implantation de bâtiments et qui a pour objet ou qui, sur une période de moins de 10 ans, a eu pour effet de porter à plus de deux le nombre de terrains issus de la dite propriété »¹. Il fait partie des procédures d'aménagement urbain qui permettent à une personne privée ou publique de réaliser des projets visant à créer de l'habitat à petite, moyenne ou grande échelle. L'étude de Niederlauterbach regroupait l'ensemble des procédures depuis l'étude préliminaire à l'établissement du permis d'aménager.

1. La maîtrise d'œuvre

Tous les travaux de bâtiment ou d'infrastructure qui mettent en relation le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et les entreprises :

- **Le maître d'ouvrage** : « c'est la personne physique ou morale pour le compte de qui les travaux ou les ouvrages sont exécutés ». Il est l'acheteur de la construction. Il fixe les objectifs et contraintes de l'opération dans les domaines économiques, environnementaux, urbanistiques, partis d'aménagement etc..
- **Le maître d'œuvre** : « c'est la personne physique ou morale qui, pour ses compétences, est chargée par le maître d'ouvrage de diriger l'exécution du marché et de proposer la réception et le règlement des travaux ». Il a deux grandes missions : la conception du projet et le suivi des travaux.
- **Les entreprises** : les entreprises vont réaliser les travaux afin de mettre en œuvre l'opération. Elles vont établir un contrat de travaux avec le maître d'ouvrage qu'il aura préalablement mis en place grâce au « dossier de consultation des entreprises » élaboré par le maître d'œuvre.

2. Le développement durable

De nos jours, un projet urbain ne peut pas se concevoir sans inclure les notions de développement durable. Les préoccupations à l'échelle du lotissement sont bien sûr différentes de celles que l'on peut retrouver au niveau planétaire. Néanmoins, le projet devra insérer les composantes économique, sociale et environnementale dans la conception du projet.

- **Environnementale** : il faut permettre aux écosystèmes présents de survivre à l'implantation du projet et préserver les caractéristiques paysagères du site. Le projet doit s'intégrer à l'existant et minimiser son impact sur l'environnement. Enfin, on peut créer le projet afin d'utiliser les matériaux locaux et de faible consommation en énergie.

¹ Article R 315-1 du code de l'urbanisme

- **Sociale :** tout d'abord, quelque soit le projet, celui-ci doit être élaboré en concertation avec ses habitants. Cela évite toute ambiguïté dans les objectifs du projet et toutes contestations futures. Il faut étudier l'impact d'un projet sur la vie de la commune et veiller à la mixité sociale. Eviter de stigmatiser la population avec un projet destiné exclusivement à une catégorie sociale particulière. De plus, le projet doit être accessible à tous et assurer la sécurité des usagers. Ainsi le projet doit respecter un ensemble de facteurs afin d'assurer l'intégration des futurs habitants de la commune et proposer un projet qui assure un confort et une qualité de vie à ses occupants.
- **Economique :** on doit veiller à l'impact sur l'économie locale et sur les finances de la commune. Le projet doit permettre l'instauration de constructions économes et durables. Enfin, l'étude de l'aménagement urbain devra effectuer des investissements permettant une économie sur l'énergie, la consommation d'eau, le recyclage des déchets.

Ces trois composantes doivent être traitées selon les thèmes de : l'énergie, le déplacement, l'eau, la biodiversité, les formes urbaines, la mixité, les déchets, le cadre de vie et la participation citoyenne.

3. Présentation et contraintes du projet.

Pour la réalisation du lotissement un contrat de maîtrise d'œuvre a été établi entre l'agence TOPOS et le promoteur du projet. Le lotissement se situe à Niederlauterbach commune du nord du Bas-Rhin et composée de moins de 1000 habitants. Le secteur du projet, d'une superficie de 2,3 ha environ, est un terrain situé au nord-ouest de la commune en continuité de la partie agglomérée. Le futur lotissement se situe sur un terrain défini par le POS en « Zone INA1 » (annexe 11). Cette dernière est une « zone naturelle actuellement peu ou pas équipée réservée à l'habitat dans le cadre de la mise en œuvre préalable d'une opération d'aménagement d'ensemble ou de constructions prévues dans des projets de lotissements, ZAC, AFU ou de permis groupés ».



Figure 1 : plan de situation de la commune



Figure 2 : plan de situation du lotissement

Le projet doit respecter plusieurs contraintes imposées par le maître d'ouvrage, la commune et la configuration du site.

- **Contraintes imposées par le maître d'ouvrage :** le lotissement devra respecter des impératifs fonciers, parcellaires et conceptuels. En effet, après des négociations avec les différents propriétaires, le promoteur nous a demandé de respecter certaines consignes. Ainsi, il a fallu créer des parcelles à rétrocéder à des emplacements précis, aménager des lots à dimensions variables (2 lots de 20 ares pour de l'habitat mixte, des lots de 5 ares environ pour de l'habitat individuel et des lots de 3 ares environ pour l'aménagement de petites maisons individuelles) et proposer un projet innovant et fonctionnel.

- Contraintes imposées par la commune : le projet devra empêcher l'extension de l'habitat à l'ouest du site, limite de la zone constructible définie par le POS. Par ailleurs, le projet ne devra pas présenter un parcellaire trop dense (des parcelles de 5 ares sont préconisées). Enfin, les travaux devront être réalisés en deux tranches.
- Contraintes imposées par le site : le projet est en limite de la zone constructible définie par le POS. Ainsi, le projet devra faire la transition entre la partie urbanisée et les campagnes environnantes en s'intégrant dans la trame urbaine existante. Par ailleurs, la configuration du site ne permet la création que d'un seul accès pour les véhicules motorisés. Pour éviter l'enclavement du lotissement, des accès piétons devront être créés. Enfin, le site possède une vie qu'il conviendra de conserver.

4. Partis d'aménagement

Le projet a pour partis d'aménagement :

- Créer une perspective et une trame paysagère : l'axe principal du lotissement sera constitué d'un axe de 190 mètres environ. Pour éviter la monotonie de celle-ci une perspective sera créée (création d'une placette et aménagement d'un arbre remarquable en bout de l'axe) et une trame paysagère sera mise en place au sein du lotissement (aménagement paysager de part et d'autre de la chaussée avec plantation d'arbres et d'un engazonnement).
- Favoriser la circulation douce : deux accès piétons seront créés. Le premier au nord pour relier le lotissement au complexe sportif existant et le second à l'ouest pour préserver l'accès de l'association foncière. De plus, une voirie de 5 mètres sera mise en place pour sécuriser la circulation et ainsi favoriser une circulation douce.
- Organiser le stationnement en dehors des voies de circulation : aucune aire de stationnement n'est prévue sur l'emprise de la voie. En effet, le projet comporte l'aménagement, sur le domaine privé, d'une bande de 5 mètres de part et d'autre de la voie. Cet aménagement va permettre de créer du stationnement temporaire (2 par lot).

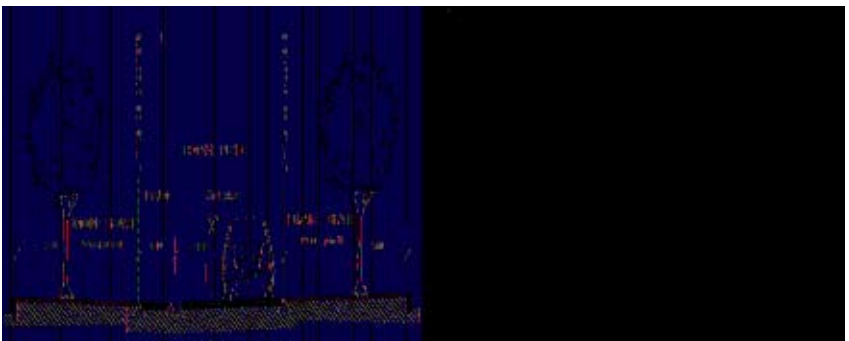


Figure 3 : profil en travers type de la voirie

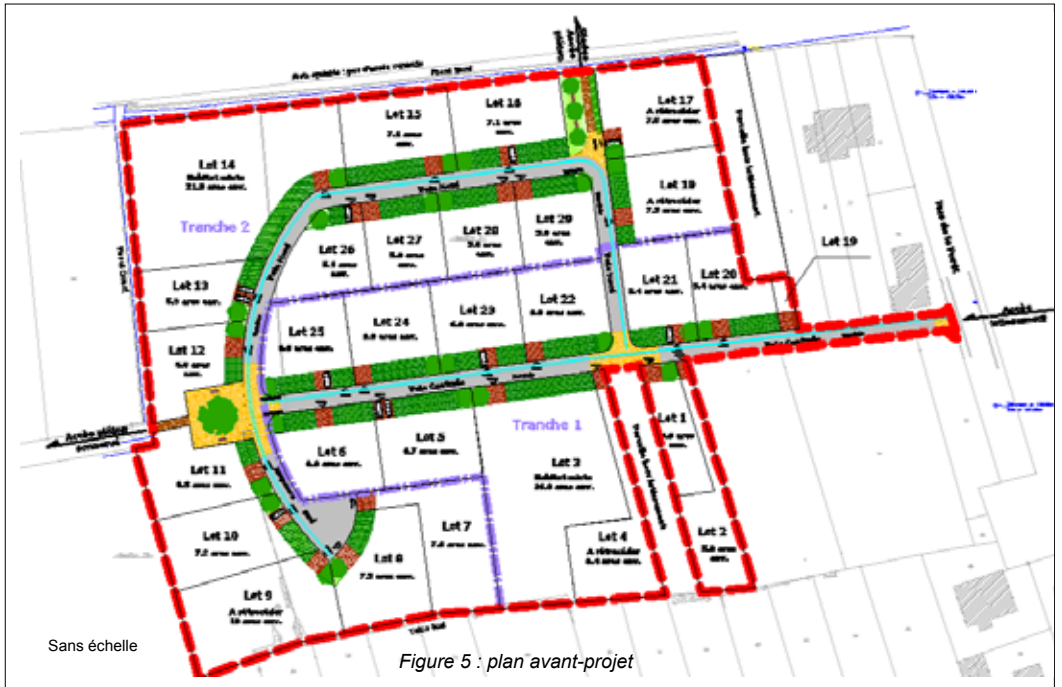
- Mettre en place le développement durable : le projet va favoriser le lien social avec la mise en place d'un espace de convivialité au nord du site qui va permettre de relier le lotissement au complexe sportif. Une placette sera installée au cœur du lotissement et encouragera la rencontre des nouveaux habitants. Par ailleurs, le projet d'aménagement de lots de tailles variées va permettre de créer de la mixité (jeunes, personnes âgées, foyers aux revenus modestes ou élevés etc.)
- S'inscrire dans la trame urbaine existante : le projet doit s'inscrire dans la trame urbaine de la commune. C'est dans cet objectif que les hauteurs des bâtiments sont limitées à 10 m au faîtage et les mouvements de terre sont limités afin de garantir une logique architecturale avec les bâtiments voisins. L'article 10 du règlement du lotissement permet de renforcer cet objectif.

5. Établissement de variantes d'aménagement.

Après avoir établi les contraintes et les partis d'aménagement du site, il a fallu établir plusieurs variantes d'aménagement. Ces variantes étaient accompagnées d'une première estimation des travaux, de la superficie des espaces privés et de la superficie des espaces publics à rétrocéder et la surface cessible. Cela a permis de déterminer les rapports Voirie/Surface totale et Coût/Surface totale ainsi que le Coût à l'are cessible (surface totale moins les surfaces publiques et privées à rétrocéder). Lors d'une réunion trois variantes réalisées furent présentées au maître d'ouvrage. Ce dernier a ainsi pu choisir, en concertation avec TOPOS, les orientations d'aménagement qu'il souhaitait instaurer dans le lotissement. Cette réunion a permis de valider l'étude préliminaire.

6. Établissement du plan d'avant-projet et du permis d'aménager.

Après que le maître d'ouvrage ait confirmé une variante d'aménagement, il a fallu dessiner le plan de l'avant-projet et réaliser l'ensemble des pièces nécessaires à l'établissement du permis d'aménager.



Ce plan est le résultat de multiples changements. En effet, le périmètre du lotissement et la disposition parcellaire ont varié en fonction des négociations entre le maître d'ouvrage et les propriétaires. Par ailleurs, une seconde estimation des travaux (pour la tranche 1) a été établie.

Conclusion

Mon travail a permis l'élaboration de l'étude préliminaire, du plan d'avant-projet, du permis d'aménager et des premières études d'exécution. Ainsi, le permis d'aménager vient d'être déposé et TOPOS Aménagement est aujourd'hui dans l'attente d'une réponse au dossier. D'un point de vue personnel, cette étude m'a permis de comprendre l'originalité propre du travail d'urbanisme et de la fonction de maître d'œuvre. Ainsi, on ne se décrie pas urbaniste sans avoir suivi une formation adéquate. Cette expérience me pousse à penser que l'aménagement urbain est un domaine où les synergies doivent être valorisées et associées.

OPTIMISATION DU NOMBRE DE STATIONS POUR LE CALCUL DE TRAJECTOIRES, SOLUTIONS EXISTANTES ET INTERNES AU GROUPE FUGRO

Société d'accueil : FUGRO GEOID
PFE présenté par : Florent PIERSON
Directeurs du PFE : Claude MICHEL, Sylvain LACOMBE
Correcteurs : Gilbert FERHAT, Jacques LEDIG



Mots clés : GNSS cinématique post-traité, réseaux permanents, VRS post-traitée, PPP.

1. Contexte de l'étude

FUGRO GEOID est une société pionnière en France dans le positionnement par satellites. Elle réalise des levés aéroportés de type FLI-MAP mais aussi des campagnes bathymétriques qui nécessitent de connaître les coordonnées tridimensionnelles d'un mobile afin de calculer sa trajectoire. Cette dernière est pour l'heure déterminée à partir de la solution GNSS cinématique post-traitée faisant intervenir des stations de références.

La mise en place de ces stations nécessite une logistique lourde car les chantiers se trouvent pour la plupart à l'étranger. De plus, dans certains pays l'accès au sol peut être compliqué voire même dangereux.

Ainsi dans le cadre de son plan de recherche et développement, la société FUGRO GEOID a décidé d'investiguer les apports des solutions **cinématiques post-traitées** permettant d'utiliser un seul récepteur GNSS ou de limiter le nombre de stations de référence tout en conservant une précision de positionnement sub-décimétrique. Les solutions temps réel ont été écartées à cause des contraintes opérationnelles et des besoins de la société.

2. Etat de l'art

Le GNSS cinématique avec point de base est par définition un mode différentiel qui consiste à déterminer le vecteur tridimensionnel séparant la station du mobile. Compte tenu de la précision recherchée, les mesures sont réalisées sur les phases L1 et L2. Ces mesures de phases introduisent le problème de la résolution des ambiguïtés entières sur chacune de ces porteuses. Lors d'un calcul cinématique deux étapes sont à distinguer :

- une étape d'initialisation pendant laquelle les ambiguïtés sont résolues
- une étape de conservation du signal sur les mêmes satellites afin de conserver le même nombre d'entiers

La résolution des ambiguïtés entières se fait principalement en mouvement, dans ce cas l'algorithme est de type OTF (*On the Fly*).

Pour l'heure, le calcul d'une trajectoire se réalise en quatre étapes :

- calcul des lignes de bases de chacune des antennes du mobile
- contrôle par calcul *forward* et *reverse*
- réduction des trajectoires en une solution unique
- lissage de la trajectoire

Ces calculs sont réalisés avec le logiciel POSPac 4.4. L'un des avantages de ce logiciel réside dans le contrôle par calcul *forward* et *reverse* que l'on peut réaliser. Le logiciel, qui dédouble en fait une trajectoire en deux solutions, nous permet de comparer ces deux solutions grâce à un graphique présentant les écarts suivant les trois dimensions en fonction du temps.

Dans mon étude, seules des trajectoires brutes sont considérées car le lissage aurait fait intervenir des capteurs qui auraient empêchés de tirer des conclusions sur les données GNSS seules.

3. Le GNSS cinématique sans point de base

Nous considérons que l'on réalise des mesures GNSS en cinématique et sans point de base dès lors que la trajectoire d'un mobile est calculée sans avoir recours à la mobilisation de nos propres stations de référence. Il existe plusieurs solutions qui permettent d'optimiser ce nombre de stations, c'est le cas notamment des réseaux permanents et des stations virtuelles. Ces dernières sont pour l'heure un concept nouveau en France. Il existe aussi des solutions qui permettent de s'affranchir de toute station de référence comme le positionnement ponctuel précis ou des solutions en devenir qui s'appuient sur l'augmentation GNSS.

- Les stations virtuelles (VRS post-traitées)

La notion de VRS post-traitées est très peu développée dans la littérature. Elle est employée par la société Trimble car elle intègre un module de calcul de VRS dans son logiciel Trimble Total Control (TTC). Ce dernier crée en fait un fichier RINEX virtuel aux coordonnées d'un point saisi par l'utilisateur à partir d'observations GNSS brutes collectées par trois stations qui forment donc un triangle. Certaines conditions sont à respecter mais pour l'heure les tests démontrent que les fichiers virtuels générés sont relativement pauvres en observations, même en utilisant des éphémérides précises. A ce jour, seules les VRS propriétaires d'un réseau peuvent être considérées comme des stations pouvant prétendre à déterminer une trajectoire.

- Les réseaux permanents

En France, il existe deux grandes familles de réseaux. Les réseaux publics qui fournissent des données brutes pour des applications post-traitées et les réseaux privés qui fournissent des informations en temps réel. Ces réseaux qui ne sont pas encore totalement déployés sont nettement en retard par rapport à certains pays européens comme la Suisse, l'Allemagne ou la Belgique. Au niveau mondial, seuls les pays développés disposent de ce genre d'infrastructures.

- Le Positionnement Ponctuel Précis (PPP)

Le principe du PPP est assez simple et proche de celui d'un récepteur de poche calculant sa position en temps réel. La différence majeure réside dans les orbites utilisées car le PPP utilise les orbites précises. Le PPP ne met pas en œuvre de calcul différentiel, la solution est flottante et il n'est donc pas possible de fournir une solution avec les ambiguïtés fixées. Ainsi pour que la solution flottante converge, un certain temps d'observation est nécessaire. De plus, lorsque l'on utilise des observations non différenciées, le défi consiste à modéliser ou à éliminer tous les effets affectant le signal depuis le satellite jusqu'au récepteur ainsi que d'autres artefacts tels les biais matériels des satellites et les erreurs d'horloge. Ainsi cette méthode de calcul est limitée pour des applications au sol, car les signaux peuvent être affectés de masques. Cependant en mer ou dans les airs, ceci n'est normalement pas un problème.

- L'augmentation GNSS

Les systèmes de navigation satellitaire se densifient et proposent des constellations de plus en plus fournies. Ainsi, le système américain GPS proposera à partir de 2013 un projet de modernisation avec le lancement des satellites du block III. Le système GLONASS, d'origine russe, compte désormais 16 satellites actifs mais ils souffrent encore de défauts fonctionnels. D'autres systèmes devraient être utilisables dans les années à venir. C'est le cas notamment du projet européen GALILEO et du système chinois COMPASS. Le premier, victime de retards suite à des problèmes économiques, a lancé ses deux satellites expérimentaux et devrait être opérationnel à partir de 2013. Concernant le système chinois, son développement se fait dans le plus grand secret et pourrait être opérationnel avant le système européen bien que ce premier bénéficiait d'une grande avance.

Enfin, les systèmes de densification Omnistar, WAAS ou EGNOS qui sont opérationnels, utilisent des satellites géostationnaires pour envoyer des corrections calculées à partir d'un segment contrôle. Ces solutions n'ont pas été retenues car leurs précisions sont en deçà de nos attentes.

4. Tests et expérimentations sur des données acquises

J'ai réalisé des calculs de trajectoires à partir de deux campagnes d'acquisition différentes :

- **un lever héliporté de type FLI-MAP**. L'objectif est de montrer qu'il est possible de **diminuer** le nombre de stations de référence.

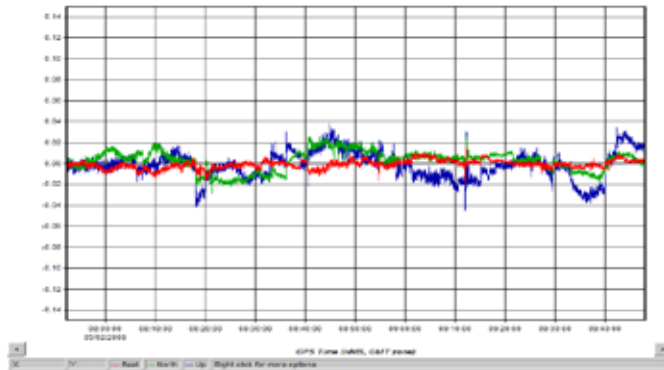
Un vol de 2 heures m'a permis de déterminer la trajectoire de référence issue d'un calcul GNSS cinématique post-traité faisant intervenir quatre stations distantes de 25 km et situées à proximité directe du site. (Voir Figure 1)

Le premier test a permis de quantifier la perte de précision en fonction de l'éloignement du mobile. Pour ce faire, j'ai comparé la trajectoire de référence à une trajectoire calculée à partir de la seule station ST06. Les écarts entre ces deux trajectoires montrent qu'une ligne de base de 45 km peut entraîner une déviation de ± 3 cm.

J'ai ensuite calculé une trajectoire mettant en œuvre seulement 2 stations de bases distantes de 75 km que j'ai comparée à la trajectoire de référence. Les résultats suivant les 3 composantes sont présentés dans le graphique 1.



Figure 1 : Trajectoire de référence (75 km)



Graphique 1 : Ecarts en mètres entre la trajectoire de référence et celle calculée à partir des stations ST03 et ST06

Cette trajectoire dévie d'un maximum de 5 cm et l'écart type vaut au maximum 1,3 cm suivant la composante verticale.

J'ai ensuite utilisé les stations permanentes du RGP les plus proches de la zone du lever pour déterminer une nouvelle trajectoire. Celles-ci sont relativement distantes de la zone du levé comme le montre la figure 2. En comparant cette trajectoire à la trajectoire de référence, j'ai pu dresser le tableau 1.

	Ecarts entre la trajectoire de référence et la trajectoire calculée à partir des stations du RGP		
	Est (cm)	Nord (cm)	Élévation (cm)
Moyenne des écarts	0.5	1.4	3.0
Ecart type à 1σ	1.4	1.7	3.9
Ecart maximum	4.4	3.5	7.6

Tableau 1 : Bilan de la trajectoire calculée à partir des stations du RGP

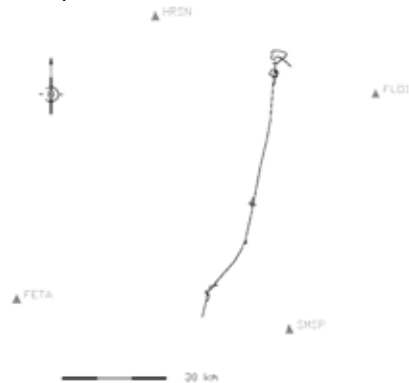
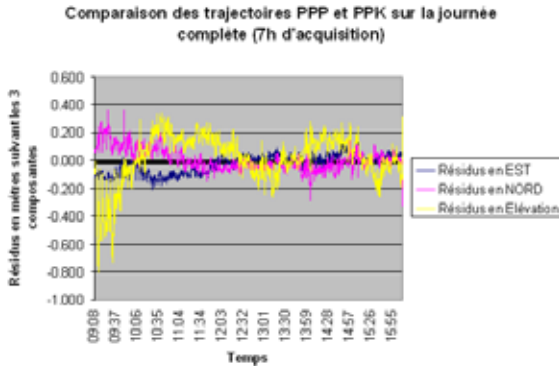


Figure 2 : Situation des stations permanentes et de la trajectoire

Enfin, j'ai généré des stations virtuelles à proximité de la trajectoire à partir de ces quatre stations du RGP. Celles-ci ont malheureusement un positionnement géographique qui ne semble pas être adapté à la génération de VRS post-traitées. En effet, elles se présentent sous la forme d'un triangle relativement plat. Malgré cela, des VRS post-traitées ont pu être intégrées au calcul de trajectoire mettant en œuvre les stations du RGP et aident le logiciel à résoudre les ambiguïtés entières notamment lorsque les lignes de base sont longues. Au final, les VRS n'ont pas eu l'impact que l'on attendait puisqu'elles ont seulement permis de diminuer l'écart type de quelques millimètres.

- un lever en mer avec un bateau afin d'évaluer les limites du PPP.

J'ai proposé et réalisé ce lever en mer après avoir calculé la trajectoire de l'hélicoptère citée au préalable avec la solution PPP. Les résultats étaient médiocres car l'acquisition était trop courte, elle avait duré moins de deux heures.



Ce test a nécessité un bateau équipé de récepteurs GPS ainsi que des stations de base installées entre Palavas-les-Flots et le Grau-du-Roi. L'acquisition s'est déroulée durant 7 heures et a mis en œuvre un enregistrement en statique de 3 heures précédant une acquisition cinématique de 4 heures, le tout s'effectuant sans interruptions de signal. Les résultats de ce test calculés à l'aide du site internet SCRS-PPP sont présentés dans le graphique 2 et dans le tableau 2.

Graphique 2 : Ecarts entre la trajectoire PPP et la trajectoire de référence sur la journée entière (Calculs réalisés avec le site internet SCRS)

	Ecarts entre la trajectoire de référence et la trajectoire PPP calculée à partir du site internet SCRS (acquisition cinématique seule)		
	Est (m)	Nord (m)	Élévation (m)
Moyenne des écarts	0.016	-0.031	0.027
Ecart type à 1 σ	0.037	0.051	0.107
Ecart maximum	0.157	0.293	0.279

Tableau 2 : Bilan de la solution PPP en ne considérant que l'acquisition cinématique de 4h

Ce test mettant en œuvre la solution PPP montre qu'il est possible de déterminer une trajectoire à partir d'un seul récepteur GPS tout en conservant une précision sub-décimétrique. Pour cela l'enregistrement doit être continu et long. On remarque qu'il faut plus de deux heures pour que les solutions convergent.

5. Conclusion et perspectives

Cette étude propose plusieurs solutions pour déterminer des trajectoires tout en optimisant le nombre de stations de référence. Lorsque celles-ci sont placées à proximité de la zone de lever, un espacement de 75 km peut permettre une déviation inférieure à 5 cm. Les tests réalisés sur les stations permanentes montrent aussi qu'il n'est pas toujours nécessaire de placer des stations à proximité du lever, cela offre donc plus de souplesse dans leur répartition. La déception vient des stations virtuelles générées par le logiciel TTC car elles ne peuvent prétendre qu'à densifier un réseau de stations permanentes.

Enfin, à l'échelle globale, la solution PPP semble pouvoir garantir un positionnement sub-décimétrique lorsque l'acquisition cinématique est précédée d'un enregistrement en statique de trois heures. Cependant cette solution est exigeante envers le matériel car elle nécessite un enregistrement ininterrompu au cours de toute l'acquisition.

ALIGNEMENT DU COLLISIONNEUR LHC PAR LE DEPARTEMENT TS-SU DU CERN : BILAN ET ANALYSE RETROSPECTIVE.

Société d'accueil : CERN
PFE présenté par : Laure BERNON
Directeur (directrice) du PFE : M. MISSIAEN
Correcteurs : Mme. LANDES
M. FISCHER



Introduction

Les recherches menées au CERN ont pour vocation la physique fondamentale, la découverte des constituants et des lois de l'Univers. Les instruments utilisés par le CERN sont des accélérateurs et des détecteurs de particules. Les accélérateurs portent des faisceaux de particules à des énergies élevées pour les faire entrer en collision avec d'autres faisceaux ou avec des cibles fixes. Les détecteurs observent et enregistrent le résultat de ces collisions.

Le CERN dispose de dix accélérateurs. Le dernier, qui est sur le point d'aboutir, est le grand collisionneur d'hadrons, le LHC (*Large Hadron Collider*) approuvé en 1995, qui a nécessité plus de 18 ans d'études et plus de 8 ans d'installation. Il est composé de plus de 1700 aimants positionnés le long d'une orbite circulaire dans un tunnel de 27km de circonférence.

Les géomètres du groupe SU (*Large Scale Metrology*), avec lesquels j'ai effectué mon projet de fin d'études, ont été chargés de la **métrologie interne** de ces milliers d'aimants et de leur **alignement dans le tunnel**.

Devant l'ampleur du projet, le groupe SU s'est vu contraint de faire appel à des sous-traitants pour réaliser ces opérations de métrologie et d'alignement, ce qui a contraint les géomètres à réaliser un important travail de rédaction de spécifications. En effet, afin d'assurer la qualité des mesures et dans le cadre du plan d'assurance qualité mis en place pour le projet LHC, les géomètres devaient pouvoir transmettre aux sous-traitants toute leur expérience en matière de métrologie d'accélérateur.

Mon projet a pour but de faire un bilan et de justifier les instruments et les méthodes utilisés pour le LHC, de voir comment les sous-traitants ont appliqué les spécifications et les moyens mis en place pour contrôler la qualité des mesures.

1. Présentation du LHC

Le LHC sera traversé par deux faisceaux de particules qui circuleront en sens opposé à 7Tev chacun. Les aimants sont composés de bobines supraconductrices permettant de fournir un champ magnétique de 8.5Tesla lorsque les aimants sont refroidis à 1.9K (-271°C) grâce à un Hélium superfluide. Les collisions frontales des faisceaux, à une vitesse proche de celle de la lumière se produiront au sein de quatre « expériences » situées dans de grandes cavernes réparties en quatre points de l'accélérateur.

Les aimants composant le LHC sont, principalement, des **dipôles** courbés qui guident les faisceaux de particules le long de la trajectoire curviligne de l'accélérateur et des **quadripôles** rectilignes qui assurent la focalisation des paquets de particules. Ils sont tous les deux traversés par deux tubes laissant circuler les faisceaux en sens opposé et dont la position moyenne définit l'axe de référence.

Tous les aimants sont positionnés par rapport à leur axe de référence, mais une fois dans le tunnel, cet axe n'est plus accessible et l'alignement ne peut se faire qu'à partir de points de référence extérieurs, que l'on appelle « fiduciales », positionnés sur le dessus des aimants.

La métrologie interne des aimants a pour but de contrôler leurs différentes étapes d'assemblage et de déterminer la géométrie interne des aimants. Les deux tubes faisceaux doivent être mesurés et leur géométrie transférée aux fiducielles extérieures. Les géomètres se servent ensuite de ces références pour aligner les aimants dans le tunnel.

2. Métrologie interne des aimants

Les aimants du LHC sont des éléments très longs, qui peuvent atteindre jusqu'à 15m avec une courbure de plus de 9,14mm pour les dipôles. La connaissance de leur forme géométrique est primordiale pour assurer la circulation des faisceaux à travers chaque aimant tout au long de l'orbite. Cette géométrie est néanmoins difficile à obtenir avec des moyens traditionnels qui permettent seulement de mesurer la géométrie aux extrémités des aimants.

Il était donc nécessaire de trouver une méthode permettant de mesurer la géométrie globale des aimants. L'idée d'utiliser des instruments associés à des sondes matérialisant l'axe des tubes faisceaux semblait être la meilleure solution pour déterminer cette géométrie mais aussi pour améliorer la fabrication des aimants. En effet, le CERN recherchait également à inclure les mesures de contrôle géométrique dans le processus de fabrication des aimants afin d'introduire des solutions métrologiques en amont sans attendre les tests de réception au CERN, pour constater d'éventuels défauts de production.

Différents instruments utilisant des sondes ont été testés, tels que la lunette Taylor-Hobson, le laser détecté par un PSD (*Position Sensor Detector*) sur table de déplacement et la station totale TDA5005. Cependant, aucun ne répondait aux attentes du CERN.

L'apparition du laser de poursuite sur le marché a poussé les géomètres du groupe SU à tester le LTD500 de Leica. Cet instrument de mesure tridimensionnel portable s'est rapidement révélé être l'outil idéal répondant à toutes les attentes du CERN :

- Il présente une très haute précision de 5ppm.
- Il présente une très bonne fiabilité avec un écart-type de $\pm 0.03\text{mm}$ pour le test de répétabilité.
- Il permet une grande redondance dans les mesures, et donc de nombreux contrôles sur le terrain.
- Il permet une très grande polyvalence puisqu'il mesure à l'intérieur des tubes mais aussi à l'extérieur sur les points de réseaux ou sur les fiducielles.
- Il est le seul type d'instrument, actuellement sur le marché, qui mesure dans un tube sans intervention de l'œil humain.
- Des programmes développés en interne permettent l'automatisation complète des différentes opérations de métrologie, ce qui permet d'utiliser le LTD500 après une courte formation même par des non géomètres.
- Les fichiers de mesures peuvent être recalculés par le CERN, ce qui permet de contrôler le travail des sous-traitants à n'importe quel moment.

Le LTD500 a été choisi pour réaliser toutes les mesures dans l'industrie durant les différentes phases de production et d'assemblage des aimants ainsi que les différentes opérations métrologiques au CERN.

Des **tests de réception** ont permis de contrôler la conformité des aimants livrés au CERN par les industries et de mettre en évidence des déformations survenues lors des transports. Le CERN a ainsi adapté les tables de tolérances mécaniques, les procédures d'assemblage et a mis en place des contrôles adaptés qui n'étaient pas prévus dans les spécifications de départ.

Les géomètres ont ensuite réalisé l'opération de « **fiducialisation** » qui consiste à mesurer au LTD500 l'intérieur des tubes faisceaux à partir des deux extrémités de l'aimant et de transférer la géométrie calculée sur les fiducielles. Les paramètres de fiducialisation sont déterminés pour chaque aimant avec une précision de $\pm 0,1\text{mm}$ et sont stockés dans la base de données SURVEY du groupe SU pour les mettre à disposition des géomètres chargés de l'alignement des aimants dans le tunnel.

La « **cartographie des extrémités** » permet de déterminer la position des tubes aux extrémités par rapport aux fiducielles pour assurer la connexion des aimants dans le tunnel après le premier alignement.

C'est la première fois au CERN que les opérations de métrologie ont été incluses dans tous le processus de fabrication des aimants. Ceci a permis de valider chaque étape d'assemblage de chacun des milliers d'aimants.

3. Alignement des aimants dans le tunnel

Des opérations préalables sont nécessaires avant de pouvoir aligner les aimants dans le tunnel.

Détermination de réseau géodésique du tunnel :

Ce réseau est constitué de points, appelés GGPSO, scellés dans le sol du tunnel espacés de 53m environ. Le tunnel était au préalable occupé par l'ancien collisionneur, le LEP (*Large Electron-Positron Collider*), qui a fonctionné de 1989 à 2000.

Durant les dernières années de fonctionnement du LEP, les positions de ses quadripôles permettaient d'avoir une circulation optimale des faisceaux le long de l'orbite. Il a donc été décidé d'utiliser les quadripôles du LEP comme référence pour les mesures du nouveau réseau du LHC et de ne pas réaliser de nouvelles mesures géodésiques de surface.

Des choix ont été faits quant aux instruments et aux méthodes utilisés pour la détermination de ce nouveau réseau :

- les angles ont été observés avec la station totale TDA5005,
- les distances ont été observées avec la station totale TDA5005 et avec le mécomètre ME500 de KERN,
- les visées d'orientation ont été observées au gyro-théodolite Gyromat2000,
- les écarts horizontaux orthogonaux à une droite (dans le plan XY) ont été observés à l'écartomètre.

Des simulations, basées sur le processus de « Monte Carlo », ont permis de confirmer l'emploi de ces instruments pour la détermination planimétrique du réseau géodésique du LHC :

- ✓ la station totale TDA5000 participe à la détermination des angles et des distances du réseau mais sert surtout au rattachement de l'ancien réseau,
- ✓ le mécomètre ME500 participe à la bonne détermination des distances entre les nouveaux points,
- ✓ le gyro-théodolite Gyromat2000 permet de limiter les incertitudes radiales sur la géométrie absolue du réseau,
- ✓ l'écartomètre assure une bonne précision relative des points et permet le lissage du réseau.

Il a été démontré qu'il est préférable de multiplier et de mixer les différents modes d'observation pour générer des redondances afin de pouvoir déceler des systématismes cachés dans des familles de mesures et de limiter les risques.

Les différentes mesures ont permis d'obtenir un réseau de points dont la précision planimétrique relative entre trois GGPSO consécutifs est de $\pm 0,3\text{mm}$.

De plus, les nivellements réalisés pour la détermination altimétrique du réseau ont permis d'obtenir une précision altimétrique relative entre trois GGPSO consécutifs de $\pm 0,1\text{mm}$.

Tracer au sol :

Les géomètres tracent la position des supports des aimants (vérins) au TDA5005 à $\pm 3\text{mm}$ de leur position théorique en s'appuyant sur le réseau géodésique du tunnel.

Positionnement des vérins :

Les géomètres positionnent les supports des aimants au TDA5005 à $\pm 3\text{mm}$ de leur position théorique en s'appuyant sur le réseau géodésique du tunnel. Les vérins sélectionnés pour le LHC, disposent d'une plage de réglage assez limitée ($\pm 10\text{mm}$ en planimétrie et $\pm 15\text{mm}$ en altimétrie). S'ils sont mal positionnés, les vérins risquent d'être hors course dès le premier alignement et le réaligement futur des aimants sera impossible. L'alignement des vérins est donc une étape clé pour la réussite de l'alignement du LHC.

Les aimants peuvent ensuite être alignés suivant deux phases :

Le premier alignement :

Chaque aimant est aligné indépendamment par rapport aux GGPSO à $\pm 0,2\text{mm}$ en radial et en vertical en mesurant les fiducielles. Puis un lissage local est réalisé à l'aide d'un fil tendu pour obtenir une meilleure position relative. Ce lissage a pour but de limiter l'influence des petites erreurs relatives entre les points de GGPSO. Les aimants sont ensuite connectés entre eux.

Le lissage :

Cette dernière étape permet d'obtenir une position relative radiale et verticale de $\pm 0,15\text{mm}$ sur une fenêtre de 110m pour assurer le lissage de l'accélérateur et la bonne circulation des faisceaux

tout au long de l'orbite. Les géomètres utilisent un niveau NA2 avec micromètre à lames à faces parallèles pour le lissage vertical et un écartomètre permettant de mesurer des écarts par rapport à une ligne de référence pour le lissage radial. Les références sont directement prises sur les fiducielles des aimants adjacents et le réseau de GGPSO n'est plus maintenu.

4. Les relations contractuelles

Afin d'assurer la qualité des mesures, toutes les opérations de métrologie interne et d'alignement des aimants ont été décrites avec soin dans les spécifications. Les sous-traitants retenus disposaient également de nombreux outils informatiques permettant l'automatisation des mesures. Des formations sur les outils et les méthodes ont été données aux sous-traitants, complétant ainsi le processus de transfert d'expérience. Le groupe SU a également fait en sorte d'impliquer les contractants dans l'amélioration des processus de mesure afin de créer une relation d'échange dépassant la simple relation contractant - maître d'œuvre.

Des réunions de coordinations hebdomadaires étaient également prévues avec le géomètre du groupe SU en charge du contrat afin de traiter de l'avancement des travaux et des problèmes rencontrés. En plus des contrôles manuels longs, rébarbatifs mais parfois insuffisants, le groupe SU a développé des programmes informatiques capables d'ouvrir et de contrôler automatiquement des fichiers de mesures insérées dans la base de données SURVEY.

Le plan d'assurance qualité mis en place pour le projet LHC a ainsi été appliqué au sein du groupe SU pour assurer et maintenir le niveau de qualité des mesures tout au long des opérations de métrologie et d'alignement.

Le groupe SU est très satisfait des sous-traitants sélectionnés qu'il juge très compétents, bien formés, assimilant rapidement, travaillant vite et attachés à rendre un travail de qualité. La qualité des mesures a très bien été maintenue tout au long des contrats malgré la répétitivité des mesures et des conditions de travail parfois difficiles, mais aucun incident majeur n'est à déplorer.

Conclusion

Cette étude réalisée sur l'alignement du collisionneur LHC et sur la métrologie des aimants qui le compose a permis de mettre en évidence la place du géomètre dans un tel projet. Elle a également permis de faire un bilan de l'ensemble des instruments et des méthodes de mesures utilisés afin de répondre aux exigences du plan d'assurance qualité du projet LHC.

Malgré un bilan très positif, un travail d'une telle ampleur aurait nécessité plus de personnel CERN pour réaliser des contrôles plus nombreux et plus réguliers qui ont manqué pour certaines opérations. Fort de cette expérience, les futurs projets devraient mettre davantage l'accent sur les contrôles manuels, longs et répétitifs mais indispensables. Il serait aussi souhaitable que la personne CERN qui effectue les calculs soit plus impliquée dans la phase de mesure réalisée par le contractant. La restriction du personnel CERN au sein du groupe SU, rend néanmoins cette perspective difficile.

Les différents entretiens et études des rapports et des fichiers de mesures que j'ai pu réaliser durant mon projet a permis de mettre en évidence, dans une certaine mesure, les écarts entre les spécifications et procédures rédigées par le CERN et les travaux réellement réalisés par les contractants. Dans le cadre de la politique d'assurance qualité et afin de finaliser le travail de transfert de connaissances, il serait intéressant de mettre à jour ces différents documents pour la communauté de géomètres concernés par l'alignement d'accélérateurs et pour les générations futures de géomètres travaillant au CERN. Ce travail de mise à jour sera possible lorsque l'activité des géomètres sera quelque peu réduite par le fonctionnement du collisionneur LHC.

Au final les sous-traitants ont su maintenir un très bon niveau de qualité tout au long des contrats et aujourd'hui, le LHC est sur le point de voir ses premiers faisceaux de particules circuler. Les premiers tests sont prévus le 10 septembre 2008, achevant ainsi 8 ans d'installation et de travail de la part des géomètres qui ont été présents à toutes les étapes, de la préparation à l'installation et qui seront encore présents pour l'entretien, à chaque arrêt de la machine.

ETUDE DE LÉL@, PREMIER RESEAU GNSS PERMANENT DE L'ILE DE LA REUNION

Société d'accueil : Cabinet MECHY-BROYON
PFE présenté par : Luc Straub
Directeurs du PFE : Thomas Roethlisberger
Thomas Monsch
Correcteurs : Jacques Ledig
Gilbert Ferhat



1. Introduction

Depuis 2 ans, le réseau GNSS permanent Lél@ s'est déployé à la Réunion. Il utilise la même technologie que celle développée par Leica Geosystems, en France, pour le réseau Orphéon. La précision de positionnement est annoncée au centimètre, mais pour les cabinets de géomètres experts ainsi que pour les collectivités et les entreprises du bâtiment, le manque de recul ne permet pas de le garantir et doit être vérifié.

Au cours de ces dernières années, l'émergence des réseaux GPS (et par extension GNSS) en France a permis d'avoir un certain recul sur la fiabilité et la qualité des données qu'ils transmettent. Cependant, l'île de la Réunion, avec sa topographie et son climat insulaire quasiment unique au monde, pose le problème de la compatibilité des technologies réseaux, actuellement utilisées en métropole et ailleurs, avec les particularités réunionnaises.

Ce projet s'articule autour de trois points.

Le premier fait l'état des lieux des réseaux permanents et des technologies GNSS utilisés en France.

Le deuxième s'articule autour du fonctionnement du réseau Lél@ et des caractéristiques (géographiques, topographiques,...) réunionnaises.

Enfin, le dernier point fait une analyse des tests mis en place pour évaluer la qualité de positionnement en temps réel (=RTK) et en post-traitement.

2. Les réseaux GNSS permanents existants

Un réseau de stations permanentes est un ensemble de plusieurs capteurs GNSS géoréférencés, stables, sécurisés, régulièrement contrôlés et qui enregistrent sur un serveur les observations des satellites GNSS en continu tous les jours et à tout moment.

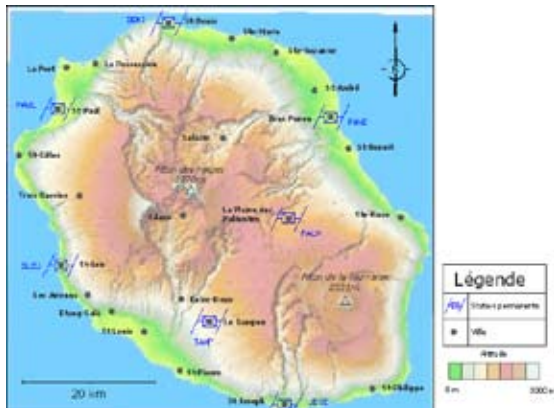
S'il s'agit de réseau temps différé, les fichiers RINEX sont disponibles et permettent d'effectuer du post-traitement. Pour un réseau temps réel, l'utilisateur reçoit directement les données de corrections réseaux par GPRS-GSM.

Bien souvent ces 2 modes sont disponibles, cependant les technologies temps réel sont celles qui se développent le plus rapidement ces dernières années. Actuellement, nous en distinguons trois :

- Le concept VRS (Virtual Reference Station) dont le principe est la détermination d'une référence virtuelle située à proximité de l'antenne mobile dont on souhaite le calcul des coordonnées en temps réel. Les observations issues des stations permanentes et les coordonnées approchées de l'antenne mobile sont utilisées à cette fin. Le récepteur mobile est ensuite en mesure de calculer sa position à partir de cette référence. Le réseau S@t-Info fonctionne selon ce principe.
- Le concept FKP (FlächeKorrekturParameters) qui repose sur le principe de la modélisation de corrections par plans. Il s'agit d'une méthode diffusée, le serveur modélise les erreurs dépendantes de la distance et envoie au mobile des données temps réel depuis une station de référence. Le réseau Teria, initié par l'Ordre des Géomètres Experts utilise cette technologie.
- Le concept MAC (Master Auxiliary Concept) qui utilise un serveur qui envoie au mobile toutes les observations brutes et les coordonnées d'une station de référence : la Station Maîtresse. Pour les autres stations, nommées stations auxiliaires, ce sont uniquement leurs observations réduites à la même ambiguïté, et les différences de coordonnées (par rapport aux observations et aux coordonnées de la station Maîtresse) qui sont transmises. Le mobile choisit ensuite de calculer sa position à partir de plusieurs lignes de bases ou de simplement

interpoler les corrections comme pour le FKP. C'est la seule technologie à être internationale et standardisée. Les réseaux Orphéon et Lél@ utilisent ce concept.

3. Le réseau Lél@ et les spécificités de la Réunion



Le réseau Lél@, c'est :

- 7 stations situées de 0 à 1100m
- un serveur situé à Saint-Denis
- des lignes de bases toujours inférieures à 20 km
- l'utilisation de la technologie Leica Geosystems (récepteur GNSS et technologie MAC)
- des lignes ADSL privées garanties en débit
- une convention avec l'IGN : 2 stations incorporées au RGP
- la réception des signaux GPS et GLONASS
- les données RINEX des stations téléchargeables via Internet
- 3 modes de fonctionnement possibles :
 - « +proche » : avec station unique
 - « i-MAX » : similaire au VRS
 - « MAX » : suit la norme MAC

La Réunion présente de nombreuses caractéristiques qui la différencient du reste de l'Europe :

- Petit territoire de 2500 km² avec une topographie très tourmentée (de 0 à 3070 m)
- Forts dénivèlés influençant le positionnement altimétrique
- Position géographique proche de l'équateur : l'activité ionosphérique est plus importante
- Nombreux microclimats (> à 200) : le milieu atmosphérique traversé par les ondes satellitaires varie rapidement (quelques kilomètres) suivant les endroits
- Activité volcanique intense : petits séismes réguliers pouvant provoquer des légers mouvements de terrains
- Risque cyclonique provoquant vents violents et pluies abondantes : les antennes permanentes doivent être solidement fixées

Par ailleurs, le géoïde réunionnais, permettant l'obtention d'une altitude normale à partir de la hauteur ellipsoïdale déterminée avec le réseau, est chahuté (variation de la cote du géoïde de 5 m) et difficile à modéliser. Le GGR99 (Géoïde Géométrique Réunionnais 1999) annoncé avec une précision (à 1 σ) de 30 à 50 cm est utilisé. Il sera remplacé par le GGR07, de précision (à 1 σ) de 7 cm, fin 2008. C'est ce dernier, dans sa version beta, que j'ai eu l'occasion de tester.

B. Expérimentations et résultats

La plupart des tests que j'ai réalisés durant mon étude ont été faits avec la réception des signaux GPS seuls, ou associés aux signaux GLONASS (au début de l'étude, le réseau Lél@ ne recevait pas encore les signaux de la constellation russe). Pour mes expérimentations, j'ai utilisé plusieurs récepteurs Leica GPS1200. Tous les clients du réseau travaillent avec ce même matériel.

Lors des mesures de points, nous pouvons rencontrer diverses sources d'erreurs :

- les erreurs physiques : orbites, ionosphère, troposphère
- les erreurs liées à l'environnement : masques, multitrajets
- les erreurs liées au matériel : horloge, sauts de cycle, excentrement et centre de phase de l'antenne, non verticalité du support de l'antenne, mauvais choix des paramètres pour le mobile
- les erreurs liées au réseau : temps de latence trop élevé, coordonnées des stations de référence imprécises

➤ En post-traitement :

Afin de tester la qualité du positionnement fourni avec cette méthode, j'ai recalculé des points théoriques (stations utilisées) et un point déterminé préalablement sur une longue durée

d'observation (que j'ai également jugé théorique). J'ai fait ces calculs à partir d'enregistrements de données brutes sur différentes périodes, en faisant varier les paramètres de calcul ainsi que le nombre et la longueur des lignes de bases. J'ai ensuite analysé les écarts entre les coordonnées calculées et les coordonnées théoriques.

- J'ai fait ces tests pour des durées de 24 h pour connaître la précision absolue du point qui me servira de comparaison pour mes tests en temps réel (voir ci-dessous).
- J'ai également travaillé sur des durées d'observation oscillant entre 5 et 60 minutes.

Avec réception des signaux GPS seuls :

En choisissant des paramètres de calcul adéquats, dès 10 minutes d'observation, la précision absolue (à 1σ) planimétrique est de 1 à 2 cm pour un écart maximum inférieur à 6 cm. La composante altimétrique est plus délicate à déterminer. Il faut attendre 45 minutes pour l'utilisation d'un modèle troposphérique calculé. On obtient alors une précision absolue (à 1σ) sur la hauteur ellipsoïdale de 3 à 4 cm pour un écart maximum inférieur à 10 cm.

Avec réception des signaux GLONASS en plus :

Sur des durées identiques, nous ne constatons pas de changement significatif en planimétrie, mais la précision absolue et les écarts maximums sur la hauteur ellipsoïdale semblent améliorés d'un facteur de 2.

➤ En temps réel :

Afin d'estimer la qualité des coordonnées mesurées en temps réel avec le réseau Lél@, j'ai effectué des tests avec les différents modes proposés par le réseau. J'ai aussi testé différentes configurations matérielles au niveau du récepteur GNSS (version 4 et 5.5 de la firmware du mobile GNSS).

Ces tests ont été mis au point en se basant sur la constellation GPS (GLONASS n'étant pas disponible au début). La durée des tests repose sur la période de révolution des satellites américains qui est de 11 h 58 min. A cause de la rotation terrestre, une durée d'observation de 2 périodes de révolution est nécessaire pour faire des mesures dans toutes les géométries possibles de la constellation.

Les tests reposent sur l'enregistrement d'un jeu de coordonnées par seconde, en temps réel, sur des durées de 24h et sur l'enregistrement, en simultané, des données brutes. Ces dernières me permettent de déterminer les coordonnées du point au sol avec une précision absolue sub-centimétrique sur les composantes planimétriques et altimétriques.

J'ai comparé les écarts des coordonnées obtenues en temps réel avec les coordonnées déterminées par post-traitement.

Après un test préalable, j'ai choisi d'utiliser un angle de coupure de 10° sur les mobiles GNSS pour l'ensemble des tests RTK. Le gain en précision pour un angle supérieur à cette valeur n'était pas suffisamment significatif pour justifier d'un moins grand nombre de mesures possibles.

Avec réception des signaux GPS seuls :

Quels que soient le mode et la ligne de base (toujours inférieure à 20 km) utilisés, la précision absolue (à 1σ) instantanée (= 1 s) en planimétrie est comprise entre 1 et 2 cm. Les écarts maximums sont de l'ordre de 6 à 8 cm.

De même, quels que soient le mode et la ligne de base employés, la précision absolue (à 1σ) instantanée sur la hauteur ellipsoïdale est comprise entre 3 et 4 cm. Les écarts maximums sont de l'ordre de 15 à 20 cm.

Les écarts maximums sur les coordonnées semblent légèrement moins importants en mode « MAX », mais plus importants si on utilise le mode « i-MAX » avec l'ancienne version du mobile. En effet, dans cette configuration, ils peuvent atteindre les 25 cm en planimétrie et les 35 cm pour la hauteur ellipsoïdale.

Durant mes tests, je me suis limité à une valeur seuil du CQ3D¹ de 5 cm. Cette dernière permet de faire des mesures dans plus de 95% des cas. Pour n'importe quelle valeur seuil inférieure à 5 cm, les résultats des tests sont restés sensiblement les mêmes. En comparant les écarts réels observés pour chaque point mesuré en temps réel avec le CQ3D, il ressort que seulement 20 à 30% de ces écarts sont inférieurs à cette valeur.

¹ CQ3D (Critère Qualité en 3 Dimensions) : valeur qu'affiche le Leica GPS1200 lors des observations RTK qui est censée donner l'écart maximum réel que l'on risque d'observer sur le point

Les mesures avec des écarts supérieurs à 10 cm sur la hauteur ellipsoïdale ne sont pas isolées. Elles interviennent en continu sur des durées supérieures à 1 minute et représentent environ 1% des observations.

J'ai également analysé la précision relative des mesures qui est légèrement meilleure que la précision absolue (à 1σ). Quel que soit le mode utilisé, elle est d'environ 1 cm en planimétrie et de 2 à 3 cm pour la détermination de la hauteur ellipsoïdale. Comme précédemment, le mode « MAX » semble donner les meilleurs résultats.

La durée d'observation en temps réel ne semble pas influencer fortement les résultats. Le gain en précision absolue est d'environ 0.5 cm pour une durée de 10 minutes.

Avec réception des signaux GLONASS en plus :

Nous constatons une légère amélioration des précisions de l'ordre de 0.5 cm sur les 2 composantes. Cette dernière serait à vérifier avec des tests supplémentaires. L'intérêt principal de l'acquisition de satellites supplémentaires réside dans l'extension des possibilités de travail : mesures envisageables dans des zones où des masques importants existent et où auparavant, avec la réception des signaux GPS seuls elles n'étaient pas réalisables.

La disponibilité du réseau est tout à fait acceptable au vue de la couverture GPRS qu'offrent les opérateurs de téléphonie mobile à la Réunion. Il y a cependant des problèmes de coupures GPRS qui empêchent à certains moments l'acquisition d'une position centimétrique.

J'ai fait une comparaison du temps réel avec d'autres méthodes topographiques : le levé topographique tachéométrique, le nivellement, le GPS différentiel classique avec pivot et référence en liaison radio.

J'ai également testé la matérialisation du système géodésique en vigueur avec l'observation de bornes IGN et j'ai expérimenté le géoïde GGR07 beta. Pour ce dernier, j'ai effectué des mesures avec le réseau Lél@ à proximité de repères de nivellement. J'ai décelé un certain nombre d'erreurs.

C. Conclusion

L'étude réalisée fut motivée par le besoin commun, de l'ensemble des utilisateurs actuels du réseau GNSS permanent Lél@, de connaître la précision et la disponibilité du positionnement que l'on peut espérer sur l'île de la Réunion. A l'image de ses homologues métropolitains, le réseau étudié permet d'atteindre un positionnement centimétrique.

En post-traitement, il est atteint en quelques minutes uniquement en planimétrie, mais nécessite une durée plus importante et la maîtrise des paramètres de calcul pour la hauteur ellipsoïdale.

En temps réel, il est atteint instantanément. Cependant, la composante altimétrique pose le problème des écarts importants (de l'ordre de 20 cm) que l'on risque d'observer ponctuellement. Il est donc nécessaire de se contrôler lorsque l'on veut atteindre la précision absolue (à 1σ) de 3 à 4 cm énoncée plus haut.

Le concept MAC se présente comme le concept réseau le plus au point à l'heure actuelle. C'est le seul à proposer une méthode de temps réel internationale standardisée et à utiliser l'ensemble des informations du réseau. Par ailleurs, il laisse toute l'intelligence du traitement au mobile, et donc à la compétence et à la sagacité des constructeurs de matériels.

La technologie GNSS, et par extension les réseaux permanents, sont autant d'outils à manier avec précaution. En effet, il ne suffit pas de savoir appuyer sur un bouton pour avoir des coordonnées en temps réel, il faut également analyser la réalité du terrain et être capable, le cas échéant, de ne pas prendre une mesure. Dans un futur proche, les outils d'aide à la décision vont redonner aux géomètres toute la maîtrise de la prise de mesure. Par ailleurs, la règle de base en topographie est de toujours se contrôler : cette dernière est d'autant plus vraie avec les réseaux GNSS permanents.

Potentialités des données satellitaires radar polarimétriques à haute résolution pour la gestion des risques naturels

Société d'accueil : SERTIT
PFE présenté par : Emilie ABRIBAT
Directeur du PFE : M. Kader FELLAH
Correcteurs : Mme Tania LANDES
M. Pierre GRUSSENMEYER



Introduction

Face à l'ampleur et à l'occurrence grandissante des catastrophes naturelles dans le monde, le développement et l'amélioration des méthodes de prévention et de gestion du risque sont indispensables. La cartographie de l'occupation du sol et la reconnaissance des infrastructures sont essentielles pour la gestion d'une catastrophe naturelle puisqu'elles permettent d'évaluer les enjeux et les impacts de l'évènement.

Depuis peu, des nouveaux capteurs permettant d'acquérir des images radar polarimétriques à haute résolution sont en service. Il s'agit entre autres de ALOS PALSAR, RADARSAT-2 et TerraSAR-X. Ces images sont disponibles au public depuis seulement quelques mois et elles offrent un potentiel pour répondre aux besoins de la cartographie radar grâce à deux atouts : la capacité d'acquérir des données polarimétriques et la possibilité d'obtenir des images à haute résolution.

Ces atouts ont été explorés afin de déterminer quels éléments du paysage pouvaient être extraits pour la gestion des risques naturels. Cette étude s'est focalisée sur la détection de la forêt à partir de classification des images en polarisation quadruple en amplitude et en complexe, et la détection de l'urbain et du bâti à partir d'une détection des contours dans les images à haute résolution.

La zone d'étude se situe dans le bassin de la Moselle, autour des villes de Thionville et Metz.

1. Intégration des nouveaux capteurs

Les images radar dont nous avons disposé étant les premières reçues au SERTIT, l'étape initiale a été de les intégrer. Bien connaître un capteur et les images qu'il génère permet d'une part d'être plus efficace dans les traitements, particulièrement en cas de crise où une carte de l'évènement doit être réalisée dans les plus brefs délais, et d'autre part d'être efficace lors de l'acquisition de données, en choisissant le format le mieux adapté à l'étude qui va être réalisée grâce à la connaissance préalable de leurs potentiels et de leurs limites.

C'est dans cet objectif que l'intégration des capteurs a été réalisée. Des études comparatives ont été menées pour que l'on puisse savoir directement, en fonction du type d'image dont on dispose, quel logiciel est le plus approprié pour l'importation des données, et où sont localisées les informations importantes concernant les images ou les paramètres des capteurs. Ces connaissances sont notamment importantes en cas de catastrophe car l'utilisateur dispose de peu de temps pour traiter les données de crise.

2. Classification des images radar en polarisation quadruple

a. Classification supervisée des images en amplitude

Les classifications radiométriques des données radar à polarisation quadruple ont été réalisées dans le but de déterminer quels éléments du paysage peuvent être extraits à partir des images ALOS PALSAR et RADARSAT-2. Le résultat le plus probant concerne la forêt, c'est donc cet élément qui a été plus particulièrement étudié.

Un masque de la forêt a été réalisé pour chaque image à partir de ces classifications, puis comparé avec le masque de référence. Les résultats obtenus sont les suivants :



Figure 1 : Comparaison du masque issu de l'image ALOS PALSAR avec celui de référence

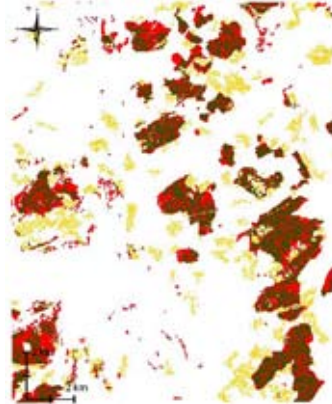


Figure 2 : Comparaison du masque issu de l'image RADARSAT-2 avec celui de référence

Ces images représentent la comparaison des masques issus des classifications supervisées et de référence. Nous obtenons en vert les pixels bien classés (bonne détection), en jaune les pixels classés comme étant de la forêt alors que ce n'est pas le cas (fausse détection) et en rouge les pixels non classés comme de la forêt alors qu'ils devraient l'être (non détection).

Malgré un taux de détection élevé (presque 90%), les images ALOS PALSAR ne donnent pas entière satisfaction. En effet, trop de pixels sont mal classés (taux de fausse détection de plus de 50%) car il n'y a pas de différenciation totale avec certains autres éléments du paysage. Concernant RADARSAT-2, l'extraction de la forêt basée sur la radiométrie ne donne aucun résultat convenable. Le taux de détection est d'à peine un peu plus de 30%. La confusion avec les autres classes est trop importante.

b. Classification des images complexes

Disposant aussi d'images RADARSAT-2 polarimétriques, nous avons pu tester si une classification de ces dernières peut apporter une amélioration dans la détection de la forêt. Les classifications utilisées sont basées sur une segmentation du plan H/α et $H/\alpha/A$, qui sont des paramètres spécifiques à la polarimétrie radar, correspondant respectivement à l'entropie, l'angle alpha et l'anisotropie. Cette segmentation permet de déterminer les mécanismes de rétrodiffusion qui entrent en jeu pour chaque cible.

Les couleurs de la figure suivante correspondent à : vert, bonne détection ; jaune, fausse détection ; rouge, non détection.

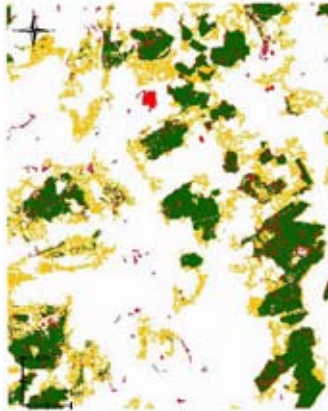


Figure 3 : *Comparaison du masque issu de la segmentation du plan H/α avec le masque de référence*

Cette méthode a permis d'améliorer fortement la détection de la forêt à partir des images RADARSAT-2. Elle permet de détecter deux fois et demi plus de pixels appartenant à la forêt (81%). En revanche, il y a toujours trop de fausse détection, ce qui rend le résultat pas complètement satisfaisant. Cependant, ce travail a permis de montrer que l'étude des mécanismes de rétrodiffusion laissait entrevoir un potentiel pour améliorer et affiner la détection.

3. Réalisation d'enveloppes urbaines et du bâti à partir d'une détection de contours d'images radar à haute et très haute résolution

Dans la gestion des risques, la localisation des zones habitées est importante. C'est pourquoi nous avons étudié ce que pouvait apporter la haute résolution dans la détection de l'urbain et du bâti. Nous nous sommes appuyés sur une méthode déjà utilisée au SERTIT pour les images optiques, basée sur la détection des contours. Nous avons créé des masques urbains et du bâti à partir des images TerraSAR-X.

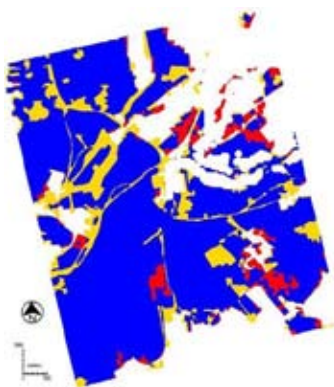


Figure 4 : *Comparaison du masque urbain issu de la TerraSAR-X 3m avec celui de référence*

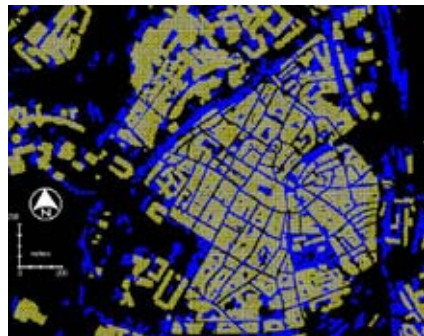


Figure 5 : *Superposition du masque du bâti issu de la TerraSAR-X 1,5m (en bleu) et du masque de référence (en jaune)*

Concernant la figure de gauche, le bleu correspond à la bonne détection, le jaune à la fausse détection et le rouge à la non détection.

Dans le contexte d'une cartographie rapide, où nous avons besoin d'obtenir rapidement une carte des zones bâties afin de localiser la population, les masques urbains réalisés à partir des images TerraSAR-X à 1,5 et 3 m sont satisfaisants. En effet, elles donnent un bon taux de détection (autour de 90%) dans un laps de temps très court grâce à l'automatisation des traitements. En revanche, pour une analyse plus détaillée des impacts d'un évènement, il serait utile d'affiner ces résultats. En effet plus de 10% des pixels classés conduisent à une fausse détection. Une phase de photo-interprétation de l'image radar et/ou l'utilisation d'images optiques en parallèle peuvent être nécessaires pour améliorer la classification.

Les résultats obtenus avec les masques du bâti sont plus mitigés. Une majorité du bâti est détectée, mais si la densité de construction est trop élevée, nous n'arrivons plus à discerner les groupes de bâtiments, les rues, les places, etc. De plus, nous pouvons aussi observer beaucoup de fausses détections, avec en particulier la détection des chemins de fer, de certains axes routiers ou des bordures de rivière. Cependant, nous avons noté quelques points positifs. Tout d'abord, les images à très haute résolution permettent de localiser une bonne partie du bâti, chose qui était impossible avec des images radar à plus basse résolution (telles que ERS ou ENVISAT). Ensuite, les images radar peuvent être un bon complément des images optiques pour la détection du bâti. En effet, la détection du bâti avec les images radar est meilleure dans les zones de bâti moins dense telles que les zones industrielles. Or c'est justement dans ces endroits que la détection du bâti à partir des images optiques est la plus délicate (elles discernent par exemple difficilement les parties minéralisées, de type parking, du bâti). Enfin, ces masques pourraient permettre d'évaluer une densité de constructions, qui serait probablement utile pour donner une estimation de l'importance des zones sinistrées en cas de crise.

Conclusion

L'étude qui a été menée a permis d'approfondir les connaissances sur les nouveaux capteurs radar polarimétriques à haute résolution et leurs potentialités, en particulier pour la gestion de crise. Du fait de leur récente mise à disposition au public, cette étude de la polarimétrie radar concernant des données satellitaires est une des toutes premières dans le milieu scientifique. De nombreuses recherches ont déjà été réalisées sur des données polarimétriques aéroportées ou issues d'essais en laboratoire. Elles ont mené entre autres à l'élaboration de paramètres nouveaux en télédétection radar permettant une étude des mécanismes de rétrodiffusion, et donnant ainsi des informations supplémentaires dans l'image.

Notre recherche a d'une part permis de démontrer que l'utilisation de ces données polarimétriques peut améliorer la détection de certains éléments du paysage. Elle a révélé d'autre part l'intérêt que peuvent avoir des images radar à très haute résolution pour la détection de l'urbain, qui est un élément d'étude majeur lors de la gestion des risques naturels.

OPTIMISATION DE LA SURVEILLANCE D'OUVRAGES PAR TACHEOMETRIE ROBOTISEE

Société d'accueil : **SITES**
PFE présenté par : **Matthieu Hansen**
Directeur (directrice) du PFE : **M Dominique Reith**
Correcteurs : **M Jacques Ledig**
M Mathieu Koehl



Introduction

La Société d'Instrumentation et de Traitement d'Essais sur Sites (SITES) est spécialisée dans le suivi d'ouvrages. A travers ses 120 salariés répartis dans quatre entités, le pôle Métrologie, Instrumentation, Relevés (MIR) de Lyon m'a accueilli afin d'y effectuer mon Projet de Fin d'Etudes. Confronté à des activités d'auscultation d'ouvrages d'art, mon étude a consisté en l'optimisation de la surveillance d'ouvrages par tachéométrie robotisée. Alors que les activités d'auscultation sont réalisées ponctuellement à intervalles de temps réguliers, SITES fait face à une demande grandissante de suivi d'ouvrages en temps réel. Il s'agit soit des cas de surveillances en temps réel sur des ouvrages à proximité de zones de travaux, soit sur des ouvrages sensibles. Les spécialistes en instrumentation du pôle réalisent déjà ce type de prestation avec l'installation de capteurs de mouvements, d'accélération, d'inclinaison... Ces capteurs enregistrent des informations transmises à un portail internet.

Un logiciel de surveillances topographiques a déjà été créé par les pôles informatiques et topographiques de SITES. Il permet à un ordinateur de commander un tachéomètre. Son but est de quantifier en temps réel d'éventuels déplacements sur des points visés à intervalles de temps réguliers. Ces écarts s'affichent sur notre écran d'ordinateur et déclenchent, lors du dépassement d'un seuil, une alarme sonore et visuelle. Cela implique l'astreinte continue d'une personne sur le chantier. Le manque de critères de qualité et de communication avec l'extérieur implique des opérations de maintenance et des vérifications sur place.

Le but de mon Projet de Fin d'Etudes est d'intégrer l'auscultation topographique automatique au portail internet existant. Ce type de surveillance comprend un tachéomètre motorisé commandé par une Tablette PC visant des réflecteurs considérés comme trois capteurs de déplacements selon X, Y et Z.

Après une étude du matériel nécessaire ainsi que des contraintes d'utilisation, l'étude logicielle porte sur le travail en temps réel dans un système de coordonnées prédéfini tout en intégrant un ensemble de facteurs de qualité. Les données doivent être enregistrées dans une base permettant d'alimenter le portail internet et donc de suivre à distance l'état de notre surveillance topographique.

1. Aspect matériel de la surveillance

Pour réaliser ce type de prestation, il faut pouvoir laisser travailler de façon autonome un tachéomètre robotisé et un ordinateur. Une étude des caractéristiques techniques, un bilan des erreurs instrumentales et des corrections à appliquer à nos visées ont été réalisés pour le tachéomètre Leica TCRP 1201 R300, tachéomètre servant à l'étude et prioritaire pour une surveillance. SITES a choisi d'utiliser une Tablette PC faisant office de PC pour sa longue autonomie, son faible encombrement et sa résistance grâce à sa protection IP67. Une console support scellée au

sol a été fabriquée, permettant la fixation d'une embase sur laquelle on peut déposer notre appareil de mesure. Une protection constituée de quatre barreaux supportant un petit toit permet de le protéger du soleil ainsi que d'une fine pluie sans vent. Afin de pallier les conditions climatiques, il a été réalisé une étude sur l'influence d'une vitre protégeant notre station. L'étude théorique caractérisant le changement de direction de notre visée par application de la loi de Descartes et le ralentissement de la célérité de l'onde dans le verre n'ont pas été validés par le calcul du fait des approximations réalisées. Un système d'ouverture de fenêtres de visées est donc à prévoir, ce qui implique une optimisation de notre réseau de points.

Devoir laisser notre tachéomètre et notre Tablette PC fonctionner de façon autonome plusieurs heures voire plusieurs jours nécessite de maîtriser leur alimentation. La meilleure des solutions reste l'accessibilité au réseau électrique 220V qu'il n'est pas toujours possible de garantir suivant l'ouvrage à inspecter. L'alimentation par panneaux solaires serait efficace pour le tachéomètre mais insuffisante pour la Tablette PC. On peut ainsi décider d'éloigner physiquement nos deux équipements et de les relier soit par câble réseau soit par liaison radio, GSM voire ADSL.

Le tachéomètre et la Tablette PC en place, on s'intéresse au type de réflecteurs utilisés. Des gros prismes circulaires ont été utilisés. Plusieurs problèmes sont alors apparus : l'éblouissement face au soleil, la buée le matin et les gouttes d'eau lors de pluie. Un demi-cylindre d'une dizaine de centimètres a été placé sur les prismes installés. Il permet non seulement de les protéger du soleil mais aussi de la pluie. Un produit déperlant utilisé sur des pare-brises de voitures ou sur des visières de moto a été testé sur les réflecteurs et sur la vitre protégeant le tachéomètre. Bien qu'efficace, cette méthode possède ses limites.

2. Aspect logiciel

Développé dans le langage de programmation Visual Basic 6, la première étape de reprise du logiciel a été de le convertir dans un langage plus récent, utilisé pour d'autres applications actuellement développées : VB.NET. Bien que rapide, cette conversion a nécessité de nombreuses petites corrections.

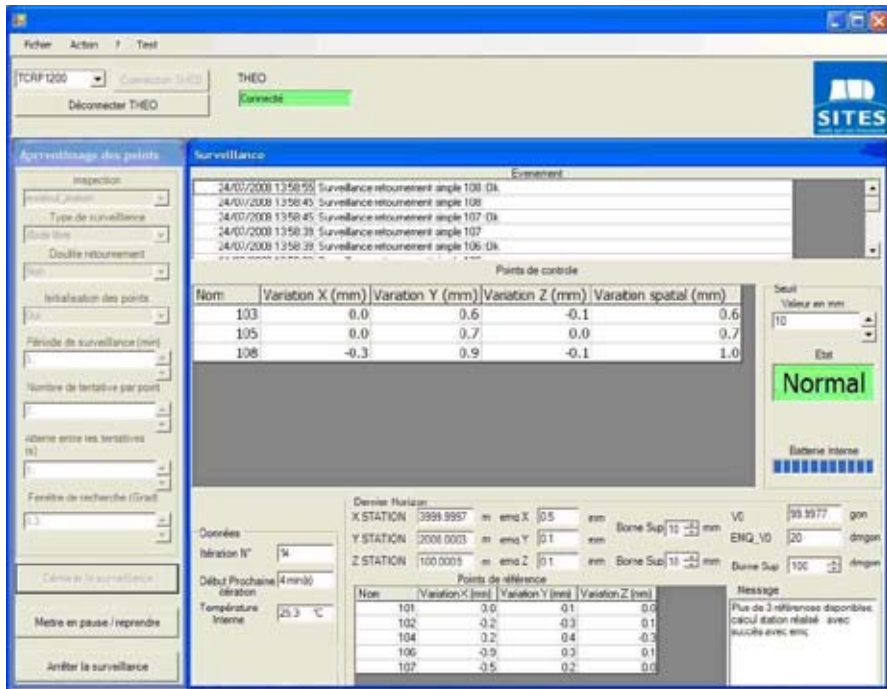
Après avoir apporté quelques corrections et améliorations au programme existant, il a été décidé de rajouter une fonction de calcul des coordonnées tridimensionnelles et de l'orientation de la station par rapport à des visées sur des points de référence connus en coordonnées et considérés comme fixes. J'ai choisi d'utiliser la méthode de compensation par les moindres carrés sous forme de calcul matriciel. La première étape a donc été de programmer l'inversion de matrice, la transposée et le produit matriciel. Ces algorithmes disponibles, j'ai créé cinq fonctions. La première consiste à calculer l'altitude de la station. Par simple résolution de triangle, un point suffit à déterminer cette inconnue. Lorsque l'on dispose d'observations surabondantes, une moyenne arithmétique est réalisée et un facteur de qualité calculé. Pour déterminer les coordonnées planimétriques de la station, une fonction d'intersection utilisant les distances obliques et les angles verticaux a été ajoutée avec un minimum requis de trois points. Pour déterminer les coordonnées planimétriques et l'orientation, le relèvement programmé n'utilise par définition que les angles horizontaux. Semblable au calcul d'intersection, trois points sont nécessaires au calcul. Une fonction supplémentaire a été introduite afin de calculer par moyenne pondérée par l'inverse de la racine carrée de l'erreur moyenne quadratique de la détermination, les coordonnées planimétriques de la station utilisant ainsi pour chaque visée sur points de référence, la totalité des observations. La dernière fonction calcule une orientation indépendante de la station. Plus qu'un contrôle, elle permet de déterminer l'orientation de la station avec seulement une visée.

Ces fonctions programmées, testées au bureau et intégrées au logiciel ont été testées grandeur nature sur un grand chantier de génie civil. Disposant de piliers autour du chantier sur lesquels se trouvent des prismes circulaires, ces fonctions ont été validées par une comparaison des calculs effectués avec les mêmes visées sous *Azitop*, applicatif topographique sous *Microstation*. Une deuxième validation a été de réaliser les visées et de les enregistrer sans le programme, directement sur le tachéomètre et de le traiter sous *Azitop*.

Les algorithmes opérationnels, il a été intégré le calcul de la station et de son orientation à l'issue de chaque séquence de mesure. Selon le nombre de références disponibles, le programme choisit la

meilleure détermination et calcule, dans le cas d'observations surabondantes, l'erreur moyenne quadratique (*emq*) associée à l'inconnue calculée. Un seuil de tolérance est fixé par l'opérateur sur les différentes *emq*. Lorsque le calcul nous donne une *emq* trop importante, les valeurs précédentes sont gardées et les nouvelles abandonnées.

Pour valider le calcul de la station après chaque séquence, j'ai effectué une surveillance comprenant 40 séquences de mesure. Entre chaque séquence a été changé un paramètre pour vérifier sa prise en compte. Les premiers paramètres changés consistaient à déplacer la station de quelques centimètres, la deuxième à changer la valeur des seuils afin de passer au-dessus de ceux-ci pour enfin combiner le changement des deux paramètres précédents.



Affichage terrain de la surveillance en temps réel

3. Traitement et gestion des données

Afin de pouvoir travailler sur les facteurs de qualité, il a fallu faire un inventaire des données récupérables et des instructions pouvant être envoyées au tachéomètre. Afin de s'assurer de ne pas perdre toutes nos données, une sauvegarde de l'ensemble des éléments récupérables est réalisée à l'issue de chaque visée. Ces données sont enregistrées dans une base de données de type *Microsoft Office Access* pour permettre l'export dans différents formats dont le *.xls* permettant un traitement sous *Microsoft Office Excel* et un éventuel import des coordonnées des points sous *Microstation* ou *Autocad*.

Afin de visualiser plus facilement les éventuels déplacements, une fonction d'orientation en post-traitement a été introduite. Elle consiste à choisir deux points sur un ouvrage pour décaler notre origine sur le premier point et l'axe des abscisses suivant la direction de ces deux points. Cette orientation peut être intéressante lorsque l'on travaille sur un ouvrage linéaire.

Un deuxième traitement consiste à utiliser la capacité de notre tachéomètre à prendre des mesures sans réflecteurs. Bien que moins précis et ne pouvant ainsi déterminer des écarts uniquement sur la distance mesurée, plusieurs points sur une surface plane peuvent servir à déterminer les paramètres compensés caractérisant le plan. Lors de la séquence de mesure suivante, ces mêmes paramètres sont calculés et ainsi comparés. Lorsque l'on connaît les paramètres théoriques, une comparaison à ces paramètres peut être réalisée.

Après le plan, il a été calculé les excentres à réaliser lorsque l'on se place dans un cylindre et que l'on vise des points sur celui-ci. Lorsque l'on connaît le centre du cylindre ainsi que le rayon théorique, l'excentre de notre station et sa distance horizontale nous donnent l'écart par rapport à la théorie sur n'importe quel point.

Développé à l'origine pour les auscultations réalisées par les spécialistes en instrumentation, SITES a mis au point un portail internet. Ce portail est alimenté par les données mesurées par différents capteurs. Ces données sont enregistrées et envoyées à l'aide d'une centrale d'acquisition par liaison GSM et consultables sur internet par le chargé d'affaires mais aussi avec un accès limité par le client. L'exploitation de cet outil devient intéressante pour les topographes. Il faut ainsi considérer notre dispositif comme un ensemble de capteurs. Chaque point visé est considéré comme un ensemble de trois capteurs déterminant les déplacements selon nos trois axes dans l'espace. On rajoute ensuite une série de capteurs relatifs à la station (batterie, déplacements tridimensionnels, température...). Ils n'ont pas pour but de déterminer un éventuel mouvement mais de vérifier le bon déroulement de notre surveillance... Mon travail a ainsi consisté à extraire les bonnes données issues de la surveillance afin de les adapter à ce portail.

Conclusion

A l'issue de ce Projet de Fin d'Etudes, différents paramètres liés à une surveillance ont été approfondis. On en déduit que les surveillances de courte durée peuvent être réalisées en retournement simple de la lunette mais nécessitent au préalable la réalisation des contrôles et ajustements du tachéomètre. Lorsque la durée devient plus importante, une prise de main à distance doit permettre de déterminer à nouveau les erreurs instrumentales. Les corrections à appliquer aux visées concernent celles atmosphériques qui doivent être corrigées par notre logiciel à l'issue de chaque séquence grâce à notre thermomètre interne : la température dans la journée et dans la nuit peut varier fortement. Lorsqu'il n'y a pas d'accessibilité au réseau électrique, il faut privilégier une liaison radio entre Tablette PC et tachéomètre ou utiliser un PC industriel ayant une consommation moindre pour permettre l'alimentation de nos équipements par panneaux solaires.

Transposé dans le langage de programmation VB.NET, notre programme présente la possibilité de travailler dans le système de coordonnées local grâce à nos cinq fonctions de calculs compensés par les moindres carrés. Cela permet en plus de comparer nos mesures à des valeurs théoriques. Les seuils de tolérance fixés par l'opérateur ainsi que les facteurs de qualité calculés permettent de prendre en compte ou non nos nouvelles valeurs calculées. Un diagnostic de l'état de la surveillance peut ainsi être réalisé.

L'enregistrement des données dans une base locale a été validé. Le choix d'extraire le maximum de données de cette base vers le portail internet divise notre surveillance en deux aspects : les données telles les mesures de déplacements sur nos réflecteurs caractérisent notre surveillance alors que les résultats de température, de dérive de la station ainsi que de batterie sont des éléments qui permettent de gérer à distance cette surveillance afin de comprendre son évolution. Cette deuxième partie de résultats ne devra pas être communiquée ou visible par le client, mais servira en interne de maintenance ou de télésurveillance.

Une surveillance avec affichage en temps réel des écarts dans un système de coordonnées local, avec un éventuel mouvement de notre station est aujourd'hui opérationnelle. Sa gestion à distance est sur le point de se concrétiser puisqu'il ne manque que l'envoi des données de la Tablette PC vers le portail internet.

AMELIORATION DE LA CONSOLIDATION DES RELEVÉS LASERGRAMMETRIQUES ET APPLICATION AUX GRANDES STRUCTURES



Société d'accueil : SITES
PFE présenté par : Pierre Carreaud
Directrice du PFE : Géraldine Camp
Correcteurs : Pierre Grussenmeyer et Eddie Smigiel

Introduction

J'ai réalisé mon projet de fin d'étude au sein de la société SITES. Cette entreprise est un bureau d'étude indépendant spécialisé dans l'étude, le contrôle et le suivi du vieillissement de structures. Elle a actuellement 4 bureaux en France (Paris, Lyon, Lille et Marseille) ainsi qu'un en Chine, et compte environ 120 salariés. J'ai été accueilli au sein du pôle MIR (Mesures – Instrumentation – Relevés) qui est l'un des 5 pôles de compétence de SITES. Implanté dans les bureaux de Paris et Lyon, ce pôle s'occupe du contrôle de structures par instrumentation, mesures topographiques et vibratoires.

Le pôle MIR a fait l'acquisition en 2006 d'un scanner laser longue portée de la firme canadienne Optech, l'Illris 3₆D. Après plusieurs phases de tests, la société a pris un premier étudiant en projet de fin d'étude l'an dernier afin de quantifier la précision de l'instrument et d'étudier la possibilité d'utiliser la lasergrammétrie pour la mesure de déformations de bâtiments ainsi que la détermination de tensions de haubans.

L'étude que j'ai menée dans la continuité de la précédente s'articule autour de deux axes : le recalage des nuages de points entre eux (phase également appelée consolidation) et l'exploitation des données pour le diagnostic de grandes structures.

1. Consolidation des nuages de points

Le logiciel de traitement de données laser Polyworks base la consolidation des nuages de points sur un algorithme permettant d'utiliser la forme de ceux-ci pour les recaler deux à deux. Cet algorithme, appelé « best fit », est basé sur une variante de l'algorithme ICP (Iterative Closest Point). Il fonctionne parfaitement lorsqu'il existe du relief sur la structure numérisée et que le recouvrement est élevé. En revanche, lorsque les nuages ne présentent que peu de relief, comme c'est le cas sur des tours aéroréfrigérantes, des barrages ou des tunnels, cet algorithme converge vers des résultats aberrants : on dit que les nuages glissent les uns sur les autres.

L'utilisation de cibles permet de contourner le problème. Placées sur l'ouvrage ou sur un trépied, elles seront scannées puis modélisées afin d'en extraire le centre et d'effectuer la consolidation. Si la position de ces cibles est relevée au tachéomètre, elles permettront de géoréférencer le nuage consolidé.

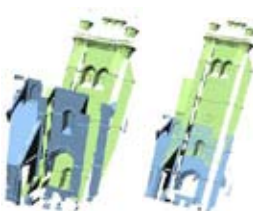


Figure 1 : Nuages de points de la façade d'une basilique alignés automatiquement

1.1. Acquisition de cibles

Une zone à scanner est définie par une fenêtre dessinée sur une photo acquise par le scanner. Le capteur photo étant excentré de quelques centimètres sur la gauche du capteur laser, les zones réellement scannées seront elles aussi légèrement décalées. Cela pose un problème pour l'acquisition de points sur des petits objets tels que des cibles puisque la zone scannée réellement sera positionnée à côté de la cible. Le décalage entre la zone définie et la zone scannée dépend de la distance.

Optech fournit une interface de programmation du scanner (SDK), ce qui a permis de développer un logiciel qui scanne grossièrement une zone élargie autour de la cible puis crée une image à partir des données brutes reçues. Cette image est appelée image laser : l'intensité du signal laser reçu par le capteur est reportée dans l'image en utilisant l'angle horizontal comme abscisse et l'angle vertical comme ordonnée. Une variante est de réaliser une carte de distances en attribuant une couleur à chaque point en fonction de sa distance. La sélection de la zone exacte à scanner est ensuite possible.

Le temps nécessaire à la définition, à la numérisation grossière puis à l'acquisition fine de la cible est d'environ 2 minutes.

Cette méthode permet aussi de scanner les cocardes présentes sur les ouvrages tels que barrages et tours aéroréfrigérantes.

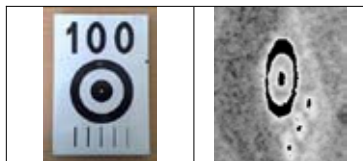


Figure 2 : A gauche : Exemple de cocarde – A droite : Image laser à 20m

1.2. Modélisation

Les cibles sont modélisées dans le module IMInspect de Polyworks à l'aide des outils d'ajustement de disques ou de sphères sur un nuage de points. La modélisation de cibles planaires (disques) ou de cocardes nécessite l'utilisation d'un mode de sélection par valeur d'intensité.

Si les cibles sont des coins de bâtiments ou des corniches, la modélisation de ce coin peut être faite par intersection de 3 plans.

Dix mille points permettent de modéliser finement une cible quelle que soit la distance. Cette distance définit la taille minimale de la cible qui est fonction du diamètre du spot laser.

La précision sur le positionnement du centre d'une cible a été déterminée dans l'étude précédente : elle est de +/-4mm à 100m.



Figure 3 : Etapes de modélisation d'une cible planaire

1.3. Consolidation

L'étape de consolidation des nuages de points peut être effectuée de deux manières :

- Calcul d'une transformation à 6 paramètres par mise en correspondance de cibles communes à deux nuages par les moindres carrés (3 rotations + 3 translations).

Cette méthode fonctionne bien. Elle nécessite au minimum 3 cibles communes entre deux nuages. Les résidus de la transformation sont de l'ordre de l'incertitude de modélisation des cibles (+/-4mm à 100m). Pour un recalage fiable et de qualité, 4 ou 5 cibles sont nécessaires.

- Les cibles peuvent être utilisées pour contraindre la méthode « best fit ». Le poids de chaque cible peut être ajusté en changeant la tolérance de positionnement en X, Y et Z. Cette méthode permet de tenir compte de l'intégralité du nuage de points, même s'il ne présente pas un relief particulier. Sauf cas très particulier, cette méthode est toujours utilisée et permet d'obtenir de meilleurs résultats. Le nombre minimal de cibles nécessaires est aussi de trois même si mathématiquement une ou deux cibles permettent déjà de contraindre le calcul.

1.4. Acquisition de haubans

Le logiciel d'acquisition de cibles permet aussi la numérisation rapide de haubans : une zone à scanner rectangulaire définie sur l'intégralité du hauban avec un pas de mesure faible (un point tous les 2cm) peut nécessiter plusieurs heures de mesures.

Le module développé calcule une multitude de zones de sélections carrées le long d'une courbe entre les extrémités hautes et basses du hauban. Cette courbe est définie par un polynôme ajusté sur des points ancrés sur le hauban. Ces derniers sont mesurés comme pour l'acquisition d'une cible en scannant grossièrement une zone (extrémités hautes, basses et milieu, voir figure 5)).



Figure 4 : A gauche : Zones définies avec le contrôleur Optech – A droite : zones définies avec le module développé

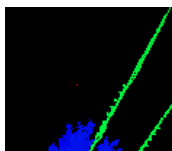


Figure 5 : Carte des distances d'un ancrage au sol

Ce module permet, à pas égal, de diminuer le temps nécessaire à l'acquisition par 5 par rapport à l'utilisation du contrôleur Optech.

2. Applications à de grandes structures

2.1. Mesure de tension de haubans

La méthode de mesure de tension de haubans mise au point dans l'étude précédente a été validée dans le cas de torchères d'usines pétrochimiques.

Après avoir scanné le hauban et l'avoir modélisé par une polygline, la flèche verticale maximale est mesurée. L'analyse de l'équilibre statique d'un hauban permet d'établir la relation suivante :

$$T = \frac{\rho g L^2}{8 f_{\max}} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} T : \text{Tension en N} \\ \rho : \text{masse linéique en kg.m}^{-1} \\ g : \text{accélération de la pesanteur en N.kg}^{-1} \\ L : \text{longueur du hauban en m.} \\ f_{\max} : \text{flèche verticale en m} \end{array}$$

La forme d'un hauban tendu entre deux points est définie par le modèle de la chaînette. Une deuxième méthode est l'ajustement de l'équation de la chaînette sur la forme réelle du hauban. Elle permet d'obtenir des tensions très proches de celles mesurées parallèlement par méthode vibratoire.

Outre la précision de cette deuxième méthode ($\pm 1\text{kN}$ pour une tension de 56kN), elle a l'avantage de ne pas nécessiter la modélisation fine des points d'accroche. Les deux méthodes ne nécessitent aucun accès à la structure et permettent de préconiser ou non la remise en tension des haubans.



Figure 6 : Torçhère concernée, nuage de points résultant de l'acquisition et haubans modélisés

2.2. Mesures de déformations sur barrages

La détermination de déformations sur le parement aval d'un barrage nécessite une surface de référence pour comparer le nuage de points acquis. Le modèle théorique du barrage n'existant pas, et l'ajustement de surfaces paramétriques n'étant pas encore totalement maîtrisé, la surface de référence utilisée a été le symétrique du barrage en rive gauche. Les déformations peuvent être mises en corrélation avec les défauts (fissures, en vert sur la figure 8).

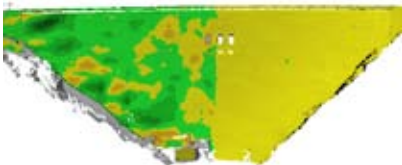


Figure 7 : Comparaison de la rive droite du parement aval au symétrique de la rive gauche

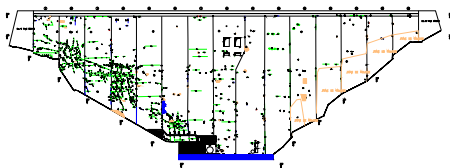


Figure 8 : Cartographie des défauts

Conclusion

Ce projet passionnant consacré à la lasergrammétrie appliquée aux grandes structures a permis de mettre au point une chaîne d'acquisition et de traitement de nuages de points sur cibles, de les utiliser pour consolider des nuages de points sur structures sans relief particulier, et de détailler des méthodes de traitement sur grandes structures. La détermination de tensions de haubans par lasergrammétrie donne les mêmes résultats que la méthode vibratoire.

Le logiciel développé pour scanner des cibles permet par extension d'acquérir rapidement des points sur des haubans. Si les temps de définition des zones à scanner sont plus longs qu'auparavant, la durée d'acquisition est cinq fois plus courte, que ce soit pour les cibles ou les haubans.

Les bases pour faire évoluer ce logiciel vers une solution de mesure de déformations en temps réel sont posées. Cela pourrait servir au suivi de glissement de terrains ou, dans le domaine du génie civil, au suivi de parois instables.

CARTOGRAPHIE SOUS-MARINE A GRANDE ECHELLE : UTILISATION DE LA PHOTOGRAMMETRIE POUR LA GEOLocalISATION DES ESPECES GORGONAIRES DE MEDITERRANEE

Société d'accueil : CNRS
PFE présenté par : Benjamin Bourène
Directeur du PFE : M. Pierre DRAP
Correcteurs : M. Pierre GRUSSENMEYER
Mme Elise MEYER



Introduction

Ce PFE a été réalisé au Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS), sous la direction de M. Drap, Chargé de Recherche au CNRS, membre de l'Université de la Méditerranée qui encadre une partie de l'équipe Inférence, Contraintes et Applications (INCA) hébergée dans les locaux de l'Ecole Supérieure des Ingénieurs de Luminy (ESIL). Le titre du PFE évoque les problèmes de l'exploration sous-marine et les notions de biologie dont il faut acquérir les bases pour bien cerner les besoins de cette étude. Celle-ci implique également de pouvoir appliquer la technique de la photogrammétrie à l'art de la cartographie. Ce PFE s'inscrit dans un projet cadre pluridisciplinaire appelé MEDCHANGE qui a pour objectif d'étudier les impacts des changements climatiques sur les espèces gorgonaires de Méditerranée. Le besoin des biologistes se traduit par la nécessité de pouvoir identifier et géolocaliser un nombre illimité d'individus sur un support cartographique représentant le contexte topographique environnant. Le traitement et la fusion de données photogrammétriques et bathymétriques permettront-elles d'atteindre ces objectifs ?

1. Etat de l'art

Les techniques auxquelles ce PFE fait appel peuvent être divisées en quatre catégories.

1.1 Mesurage des fonds marins

Le mesurage des fonds marins est une opération classique en océanographie. C'est au moyen d'un sondeur multifaisceaux, c'est-à-dire en utilisant la rétrodiffusion d'ondes acoustiques pour mesurer les distances au fond, que la COMEX a réalisé un lever de 2500 km² autour de l'île de Riou, au large de Marseille. Le nuage de points obtenu, fourni dans le système géodésique WGS84, peut ensuite être interpolé par « krigage », méthode optimale au sens statistique d'après l'article **Gratton [2002]**, pour former le MNT qui représentera le contexte topographique de notre étude.

1.2 Exploration robotisée

L'exploration sous-marine se réalise au moyen de ROV (*Remote Operated Vehicule*), robot sous-marin télécommandé par un opérateur qui peut ainsi rester dans une embarcation à la surface. Le ROV Super Achille utilisé par la COMEX lors de la mission en mer à laquelle j'ai participé est muni de deux projecteurs et d'une caméra numérique HD (Haute Définition). L'engin navigue à plat et dispose d'un gyromètre qui fournit son cap en temps réel. Sa position est mesurée par un PLSM (Positionnement Local Sous-Marin) qui est une base acoustique fixée à proximité en zone sableuse plate. Ce PLSM communique avec le ROV de la même façon qu'avec l'embarcation qui permet de « calibrer » sa position, c'est-à-dire par ondes acoustiques. La précision sur la distance PLSM-ROV est décimétrique et l'angle mesuré à 0,2° près mais avec un biais probable de quelques degrés. En revanche, la position du PLSM dans le repère absolu WGS84 est très incertaine : +/- 5 m en X Y et inconnue en Z à cause de l'état de la mer qui a fortement remué le bateau le jour de la calibration.

1.3 Photogrammétrie en milieu sous-marin

Le dispositif de prise de vue est une caméra utilisée en mode appareil photo dont voici les caractéristiques et la configuration sur le ROV :

Modèle	SONY HDR-HC1E
Optique	Carl Zeiss
Résolution	1440×810 pixels
Capteur	CCD 1/3" soit 4.8×3.6 mm
Focale	5.1 mm (zoom bloqué)



La calibration des caméras « n'est pas un problème trivial, le faisceau lumineux passant au travers des différents dioptries (eau – verre – air) subit une réfraction en fonction de l'angle d'incidence » (**Drap et Long [2005]**, p.26). En fait, on augmentera de 2 mm la valeur de la focale afin de corriger les erreurs dues à la réfraction et qui sont assimilables à une forte distorsion radiale. L'orientation des photos pourra être faite à l'aide de ROMA (Version 3.1.b italienne), *Representation of Oriented Model for Arpenteur (an Architectural PhotogramMetric Network Tool for Education and Research)*. Il s'agit d'un ensemble d'outils photogrammétriques en Java dédiés à la recherche.

1.4 Cartographie interactive sous-marine

L'outil de travail informatique doit permettre de gérer la position des objets dans l'espace. La flexibilité et la portabilité requises nous tournent vers le choix d'un outil de visualisation de données en trois dimensions : le VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), pour son universalité, sa riche documentation... et sa libre disponibilité. L'idée de fusionner différentes sources de données est à l'origine de l'emploi d'un tel langage de description de géométrie dans l'espace.

2. Construction du modèle interactif de l'île de Riou

L'interpolation du MNT doit maintenant être réalisée et la symbolique cartographique modélisée.

2.1 Interpolation du MNT sous Surfer 8

Après avoir récupéré des données terrestres de l'île de Riou, j'ai interpolé les données altimétriques et bathymétriques en paramétrant Surfer de façon à délimiter automatiquement le contour de l'île au moyen d'une ellipse de recherche. J'ai interpolé trois zones de détail supplémentaires avec des pas plus fins (50 cm au lieu de 5 m) sur les sites où la photogrammétrie était envisagée. Au moyen de fichiers de découpe et après divers traitements, j'ai exporté les grilles interpolées dans un format léger compatible avec VRML : les *ElevationGrids*.

2.2 Modélisation du MNT

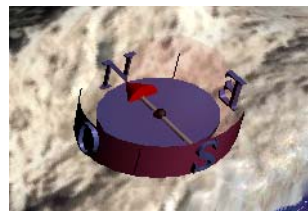
La modélisation de ces grilles passe par le choix d'une convention pour le repérage des éléments dans l'espace. Après translation des coordonnées et rotation de la vue par défaut, le système d'axes en VRML est rendu cohérent avec le système géodésique WGS84 dans lequel ont été recueillies les différentes sources de données. Après calage des quatre grilles entre elles, la partie terrestre a pu être texturée avec une photo aérienne prélevée sur le site Google Earth.

2.3 Modélisation de la symbolique cartographique

Pour compléter cette représentation graphique du terrain j'ai modélisé des éléments à des fins cartographiques comme un repère, un socle, un ensemble inspiré d'un aquarium pour représenter l'eau, l'échelle, les courbes de niveau ainsi que des points de repères connus des biologistes plongeurs (ligne de tests qualitatifs, plans verticaux).

2.4 Interaction avec l'utilisateur

Afin de répondre pleinement à la définition de « carte », le modèle doit aussi permettre au visiteur de s'y repérer en tout point. Un tableau de bord comportant un indicateur de position et un compas virtuel a donc été innové. La mise au point d'une idée de M. David Ott (**TECFA@[2001]**) m'a permis de créer des outils qui pourront être intégrés dans n'importe quelle modélisation VRML à des fins cartographiques, comme cette boussole visible sur la figure ci-contre.



3. Expérimentations sur les données photogrammétriques

Après la modélisation de l'île, les photos prises lors de la mission en mer du 25 avril doivent être traitées pour permettre d'identifier et de géolocaliser les espèces gorgonaires.

3.1 Mission en mer et représentation des données brutes dans le modèle de Riou

La mission a débuté par la mesure de 6 points de contrôle par voie photogrammétrique. Ensuite le ROV a été guidé suivant les indications du biologiste Olivier Bianchimani dans le but de photographier les espèces gorgonaires. Les techniciens Emmanuelle Seguin et Gilbert Pachoud de la COMEX avaient pour rôles respectifs d'enregistrer le positionnement du ROV et de le guider en fonction des images issues des vidéos embarquées. Le PLSM mesure des données relatives qui ont été replacées au post traitement dans le système WGS84 via la calibration.

Sur les 70 photos prises, seulement la moitié sont renseignées de leurs données d'orientation externe approchées. On dispose aussi de plusieurs vidéos numériques avec leurs trajectoires appelées transects.

J'ai utilisé ROMA pour projeter les images à 2 m dans le modèle VRML. Pour cela, j'ai identifié le cap du ROV à l'angle ϕ utilisé en photogrammétrie, considérant que $\omega=90^\circ$ et $\kappa=0$ (prises de vues horizontales).

Pour quantifier les écarts entre les deux sources de données, j'ai ensuite programmé une fonction sous Matlab qui calcule les distances entre chaque position du pointeur et le point le plus proche du MNT situé dans une bande de +/- 2 m de sa profondeur.

3.2 Critères d'interprétation et correction d'erreurs

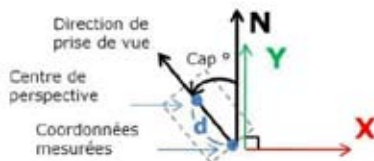
Alors que les photos ont été prises à une distance maximale de 2 m on obtient des écarts d'environ 6 m en moyenne qui sont jugés trop importants. De plus, les caps mesurés n'ont pas de sens. J'ai donc entrepris de rendre cohérentes les deux sources de mesures en corrigeant les données photogrammétriques.

La profondeur des centres de perspective est d'abord conservée car l'écart entre le PLSM et le fond compense le décalage du pointeur par rapport à la caméra sur le ROV.

Mais en ce qui concerne la planimétrie, j'ai choisi d'effectuer une rotation des points de 5° autour du PLSM ainsi qu'une translation de + 3 m en Y selon des appréciations visuelles mais tout en respectant des critères d'erreur bien réels (spécifiés dans l'état de l'art).

Pour calculer les nouveaux axes de prise de vues, je me suis basé sur le calcul du gisement de chaque centre de perspective vers son point le plus proche sur le MNT.

Enfin, j'ai pris en compte le décalage entre le pointeur du ROV et la position de la caméra pour calculer des appoints en X et Y d'après le schéma ci-contre.

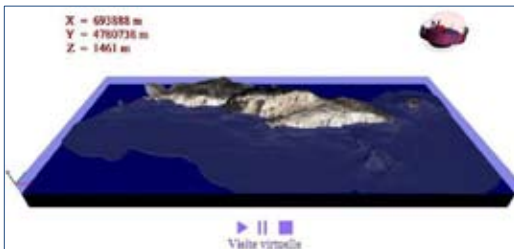
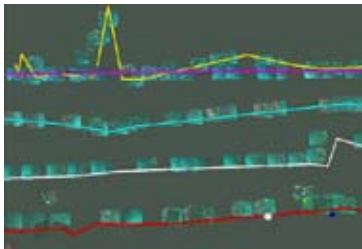


3.3 Recherche de nouveaux outils pour exploiter les données photogrammétriques

Pour aller plus loin dans l'exploitation des données, j'ai expérimenté de nouvelles idées.

La mesure des orientations des clichés devant être calculée pour toutes les photos, il m'est apparu intéressant d'extraire les images des vidéos pour leur appliquer le même traitement. La modélisation des transects sous forme de cylindres munis d'une ancre renvoyant vers la lecture des fichiers vidéo dans VRML vient compléter cette représentation que l'on peut voir ci-dessous. Le processus ainsi élaboré a été nommé « vidéogrammétrie » et a pu être automatisé par programmation sous Java.

D'autre part, j'ai programmé une animation simulant le déplacement du ROV dont les fonctions de commande (visibles en bas de la figure de droite) s'inspirent d'un magnétoscope.



4. Résultats

Voici mon bilan de l'étude et mon point de vue sur les améliorations qu'il reste possible de faire.

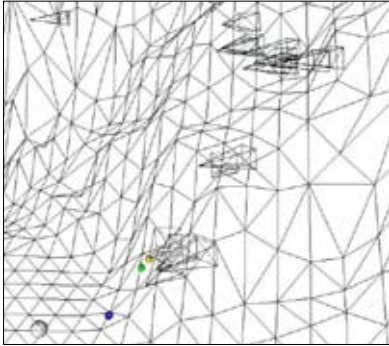
4.1 Bilan de l'étude

La modélisation de l'île de Riou a été réalisée avec succès mais les données photogrammétriques souffrent d'une imprécision générale qui a compliqué leur intégration dans le modèle. Néanmoins cette confrontation visuelle des données a permis de réaliser un travail d'interprétation océanographique qui n'aurait pas été possible autrement.

Le VRML a toutefois rencontré des limites liées à la surcharge des données. On retiendra que la manipulation de cet outil reste difficile même si l'utilisateur a désormais le moyen de s'y repérer.

La texturation du MNT par les photos de gorgones reste quant à elle au stade expérimental et les perspectives sont ouvertes sur le plan infographique pour améliorer ROMA dans ce domaine.

4.2 Sources d'améliorations possibles



Si de nombreuses améliorations sont envisageables il m'apparaît important de souligner ce qui est pour moi la principale difficulté qui reste à contourner. La réunion de données bathymétriques et photogrammétriques présente en effet le risque de provoquer « un conflit d'échelle » dans le sens où le niveau de détail est fondamentalement différent entre des photos prises avec un recul de 2 m et une bathymétrie, même fine. La figure ci-contre illustre la taille des photos par rapport à la densité du MNT. Ici les caps ont été recalculés pour que les directions de prise de vues soient perpendiculaires à la paroi. On comprend bien que des caps mesurés, même justes, pourront difficilement prendre du sens dans ce contexte où le MNT a fait l'objet d'un lissage important lors de son interpolation.

En outre, le fait de mesurer les points de contrôle par un procédé indépendant de la photogrammétrie aurait permis de contrôler chacune des deux sources de mesures.

Conclusion

Ce qui était envisagé à l'origine sous la forme d'un environnement 3D interactif révisable, couplé avec des cartes (planes) localisées et datées, a finalement dû être restreint à un modèle comportant un schéma cohérent et détaillé de la zone G2, entouré de son contexte topographique environnant. La géolocalisation des individus n'a pas été atteinte avec la précision escomptée. Mais la modélisation du terrain et la visualisation des données vont pouvoir permettre de fixer un état zéro des populations de gorgones. Il sera donc possible pour les biologistes d'analyser sur une période plus ou moins longue les variations de température qui s'opèrent à une profondeur donnée et d'étudier l'impact de la température de l'eau sur la santé des espèces.

L'apprentissage d'un langage de modélisation en 3D, le VRML, m'a permis d'acquérir une compétence supplémentaire dans le domaine de la topographie et m'a ouvert au monde de l'infographie et de la recherche en informatique.

L'état d'avancement des travaux peut être consulté sur le site internet de MEDCHANGE, avec le résultat de la modélisation de l'île de Riou dans la rubrique Activités Scientifiques / Cartographie. Ce mémoire s'inscrit comme le cahier des charges d'un concept innovant de cartographie sous-marine et jette les bases d'un nouvel outil de recherche pour des travaux ultérieurs dans ce domaine.



**Mémoire de soutenance de Diplôme d'Ingénieur INSA
– Spécialité Topographie –**

Détermination d'un géoïde local à partir de mesures gravimétriques

Réalisé au sein de la société TOTAL et présenté en Septembre 2008

Auteur du PFE : Florent MICHELS
Directeur de PFE : M. AUGER Frédéric
Correcteurs de PFE : M. FERHAT Gilbert, M. LEDIG Jacques



1. Introduction et objectifs du projet

TOTAL fait partie des cinq plus grandes compagnies pétrolières privées au monde et exerce son savoir faire en matière d'Exploration et de Production auprès des pays producteurs de pétrole et de gaz. L'Exploration et la Production font partie de l'Amont qui avec l'Aval et la Chimie composent les trois branches du groupe. Les explorateurs recherchent, sur la base d'études géologiques et géophysiques, les gisements de pétrole et de gaz. Les producteurs, quant à eux, mettent en place des outils d'extraction des réservoirs et assurent l'acheminement des produits extraits. Enfin, les topographes du service Géomatique sont responsables de la définition des références géodésiques et du positionnement des études d'exploration et des infrastructures pétrolières.

Dans le cadre de sa mission, l'équipe topographique est chargée de définir les référentiels planimétriques et altimétriques sur les zones d'activités attribuées à TOTAL. Avec l'avènement du GPS, ces quinze dernières années, la précision du positionnement d'un point à la surface du globe est devenue centimétrique. Les hauteurs ellipsoïdales, définies par rapport à un ellipsoïde, ne sont pas liées physiquement au champ de gravité de la Terre. La différence de hauteur ellipsoïdale ne permet donc pas, par exemple, de définir le sens d'écoulement d'un fluide, qui lui est soumis à la pesanteur terrestre. Pour connaître le sens d'écoulement d'un fluide, il est, par conséquent, important de mesurer les altitudes dont la surface de référence est le géoïde. Cette surface, équipotentielle du champ de pesanteur coïncidant au mieux avec le niveau moyen des mers et prolongée sous les continents, est devenue un outil indispensable des géodésiens et des topographes pour convertir ces hauteurs ellipsoïdales en altitude.

Justement, les topographes du service Géomatique emploient des modèles globaux du champ de pesanteur ajustés à la topographie à partir de points GPS nivelés pour définir un référentiel altimétrique sur la zone d'étude. Seulement, la couverture gravimétrique terrestre hétérogène, intégrée au calcul de modèles globaux, engendre des différences de précision du modèle de géoïde d'un pays à l'autre. De plus, certains pays, où TOTAL opère, ne disposent pas de réseau altimétrique fiable, voire pas de repères de nivellement dans la région explorée ; il est alors difficile d'estimer la précision et d'ajuster un modèle de géoïde.

Ce cas s'est présenté sur le delta du fleuve de la Mahakam, région marécageuse à l'Est de la région Kalimantan sur l'île de Bornéo. L'incohérence du référentiel altimétrique sur le delta a poussé la filiale de TOTAL en Indonésie, avec la collaboration et la proposition de l'Institute of Technology de BANDUNG (ITB), à réaliser un modèle de géoïde local à partir de mesures gravimétriques. Dans cette optique et dans la continuité de cette étude, le service Géomatique a émis le souhait d'approfondir sa connaissance dans le domaine en recensant et en étudiant les différentes techniques de détermination du géoïde avant de définir, plus particulièrement, la méthode gravimétrique. La réalisation du géoïde local sur le delta de la Mahakam à partir de mesures gravimétriques permet, par ailleurs, l'étude d'un cas concret.

Dans le but de définir les exigences minimales et de préciser les recommandations nécessaires et suffisantes pour la réalisation, rentable et efficace, des opérations de la compagnie, le service m'a demandé de rédiger un document de Spécification Générale. Selon les règles en vigueur, il précisera notamment :

- les notions géophysiques et principes généraux indispensables à la compréhension de la méthode de calcul d'un géoïde local ;
- les méthodes d'acquisition des mesures gravimétriques ;
- les données nécessaires à la modélisation du géoïde ;
- le contenu des rapports finaux.

2. Détermination d'un géoïde local à partir de mesures gravimétriques

La technique de « Retrait Restauration »

La première théorie sur la détermination et le calcul du géoïde est à mettre à l'actif de Stokes en 1849 avec l'utilisation des anomalies de pesanteur réduites au niveau du géoïde. La réduction des valeurs de la gravité impose la connaissance des altitudes ; pour éviter cette condition, Molodensky propose, en 1945, de remplacer les grandeurs au niveau du géoïde par leurs équivalents au niveau de la surface topographique et de s'affranchir ainsi des inconvénients de la méthode de Stokes. Ces deux approches requièrent la connaissance des anomalies de pesanteur sur la totalité du globe, pour y répondre une méthode, dite de « Retrait Restauration » a été développée et est décrite dans [Sjöberg, 2005].

Cette méthode implique le « Retrait » et la « Restauration » des longueurs d'onde du géoïde, induites par un modèle global du champ de pesanteur (Δg_{GM} ; ζ_{GM}) et par la topographie (Δg_{RT} ; ζ_{RT}). Ces composantes sont retirées des anomalies de pesanteur à l'air libre (Δg) puis l'anomalie d'altitude résiduelle (ζ_{res}) est calculée à partir des anomalies de pesanteur résiduelles (Δg_{res}). La figure 3.1 schématise plus clairement ce procédé qui fournit un modèle de quasi-géoïde.

De part sa désignation comme une des techniques les plus connues pour la modélisation de géoïde local et son utilisation par de nombreux scientifiques et organismes nationaux, cette méthode semble adaptée et applicable.

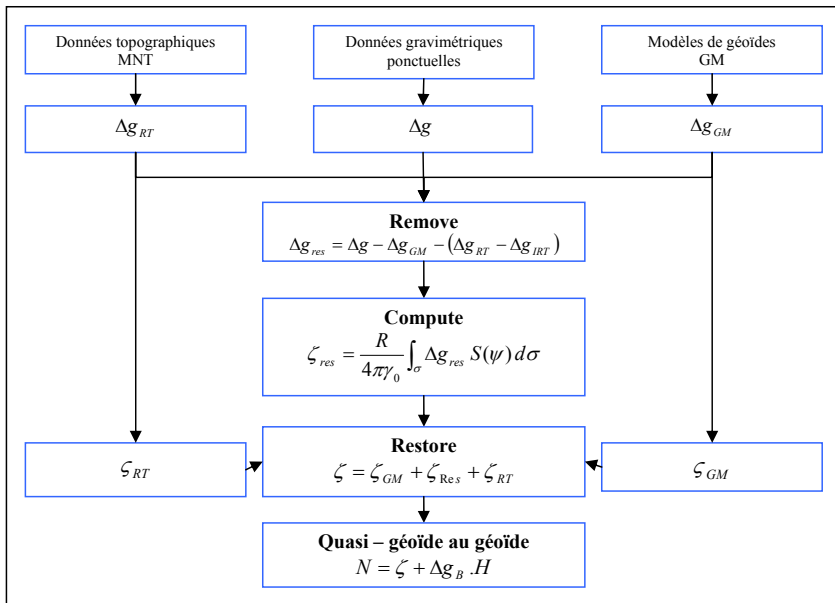


Figure 2.1 : Les différentes étapes de la technique de Retrait Restauration par la méthode du terrain résiduel pour obtenir un modèle de géoïde local.

L'acquisition des données gravimétriques

La détermination d'un géoïde local à partir de mesures gravimétriques nécessite, comme son nom l'indique, l'acquisition de données gravimétriques réparties sur la zone d'étude. Les exigences minimales et les recommandations de la compagnie sur les levés gravimétriques ont été définies en collaboration avec la société canadienne Ageophysics, dont c'est la spécialité. Grâce à cette coopération, les différents aspects pratiques des opérations de gravimétrie ont pu être abordés :

- La mise en place du réseau géodésique supportant la gravimétrie ;
- L'acquisition de la gravité sous forme de cheminements gravimétriques (aller retour sur une station de référence) ;
- L'étude des gravimètres et la correction des mesures (dérive instrumentale, effet des marées) ;
- Le référencement des stations de gravité absolue.

A l'heure actuelle, le service Géomatique utilise l'ajustement d'un modèle global de pesanteur à partir de points GPS nivelés, cette méthode requiert uniquement la mise en place d'un réseau géodésique. Pour analyser et comparer les coûts d'un lever gravimétrique par rapport à la mise en place d'un réseau géodésique, j'ai défini une zone fictive (non hostile) de 100km×100km. Pour cette zone, j'ai fait une estimation du prix de la mise en place d'un réseau géodésique de 40 points et demandé un devis pour un lever gravimétrique de 2km×2km. Pour ce cas particulier, le lever gravimétrique revient environ trois fois plus cher. Même si cette étude n'est pas représentative de tous les cas de figure, elle donne néanmoins un ordre de grandeur et un point de comparaison des coûts. Vue l'importance du facteur économique dans la société actuelle, tous les enjeux devront être considérés avant d'opter pour la détermination d'un géoïde local à partir de mesures gravimétriques.

Application de la méthode

Dans le cas d'une application concrète de cette méthode sur une zone déterminée, les données à transmettre, par le service Géomatique, à un organisme compétent ont été définies en collaboration avec l'IGN (Institut National Géographique) et le BGI (Bureau Gravimétrique Internationale). Ces données sont les suivantes :

- Un fichier au format ASCII contenant le nom des stations, leurs coordonnées, la valeur de la gravité ;
- Un rapport final du lever gravimétrique et de la mise en place du réseau géodésique ;
- Les données gravimétriques, en possession de la compagnie, sur et/ou autour de la zone d'étude ;
- Les repères de nivellement avec leur hauteur ellipsoïdale sur et/ou autour de la zone d'étude.

3. Développement d'un nouveau modèle global de géoïde : l'EGM08

Durant mon étude sur les différentes techniques de détermination du géoïde, a été publié, en avril 2008, un nouveau modèle global du géoïde développé au degré 2190 : l'EGM08 [Pavlis et al., 2008] ; dont la précision annoncée est d'environ 15cm pour une résolution spatiale de 10 km. Afin d'étudier l'apport et les avancées possibles de ce nouveau modèle par rapport aux modèles globaux utilisés par le service Géomatique (EGM96 [Lemoine et al., 1998], GGM02C [UTEX CSR, 2004]), une série de comparaison des modèles avec des points GPS nivelés a été effectuée. Ces tests permettent de contrôler l'adéquation du modèle de géoïde avec la surface de référence des altitudes ($H=0$).

Dans un premier temps, je me suis intéressé aux tests réalisés par les concepteurs de l'EGM08, au niveau mondial et sur le continent américain (CONUS) et ceux d'une équipe grecque [Kotsakis et al., 2008] sur le territoire hellène. Ces deux études bibliographiques démontrent clairement l'amélioration de la précision de l'EGM08. A titre d'exemple, l'écart type, pour 12 387 points répartis sur tout le globe, sur la différence entre l'ondulation du géoïde issue de points GPS nivelés et d'un modèle global (3-1), passe de 30 cm pour l'EGM96 à 13 cm pour l'EGM08.

$$(h_e - H) - N_{EGM} \quad (3-1)$$

Avec h_e , la hauteur ellipsoïdale ;
 H , l'altitude (orthométrique ou normale) ;
 N_{EGM} , l'ondulation du géoïde issue d'un modèle global.

Dans un second temps, j'ai procédé à des tests, suivant le même principe, pour des régions ayant fait l'objet d'études sismiques et donc plus représentatives, pour le service, des nouvelles possibilités offertes par l'EGM08. Le cas le plus pertinent se trouve en Libye, pour la définition du référentiel altimétrique sur une partie de la région Cyrénaïque. Les topographes ont décidé d'ajuster, par translation, l'EGM96 après comparaison de trois modèles globaux avec douze points GPS nivelés. Après l'acquisition des logiciels de synthèse d'harmoniques sphériques pour l'EGM08, j'ai pu comparer les ondulations du géoïde issues de ce modèle, les résultats sont présentés dans le tableau 3.1. Ce test vient confirmer les suppositions attendues par les précédents tests. L'écart type passe ainsi de 0.12 m pour l'EGM96 à 0.03 m pour l'EGM08.

Modèles	GMM02C	EGM96	OSU91A	EGM08
Moyenne (m)	-0.77	-0.51	-1.33	-0.55
Ecart type (m)	0.19	0.12	0.32	0.03
Maxi - Mini (m)	0.52	0.32	0.88	0.10

Tableau 3.1 : Statistiques des différences entre l'ondulation du géoïde issue de points GPS nivelés et de 4 modèles globaux pour 12 repères de nivellement libyens.

L'EGM08 s'avère être une nouvelle solution répondant à 90% des besoins de la TOTAL pour la définition des références altimétriques, pour l'Exploration. Concernant les besoins de la Production, l'EGM08 est à utiliser sous réserve de la possibilité d'effectuer des tests sur des points GPS nivelés confirmant sa bonne adéquation avec le terrain.

4. Géoïde local sur delta de la Mahakam

La détermination du géoïde local à partir de mesures gravimétriques sur le delta de la Mahakam fait suite à une expertise du service Géomatique qui a mis en évidence des problèmes de définition du système de référence altimétrique. Les conditions marécageuses du delta rendent impossible une densification du réseau altimétrique et par la même occasion un ajustement d'un modèle global. La méthode, proposée par la filiale Indonésienne et l'ITB, se voit utiliser la technique de « Retrait Restauration » (sans application des corrections de terrain) pour modéliser un géoïde local référencé par rapport à un marégraphe. Un lever gravimétrique de 24 stations, des anomalies de pesanteur dans un rayon de 500 km autour du delta et le modèle global EIGEN-GL04C ont été incorporés au calcul et la comparaison des pentes du modèle local avec des points GPS nivelés permet d'estimer une précision sur la pente du modèle inférieur à $\pm 0.10\text{m}$.

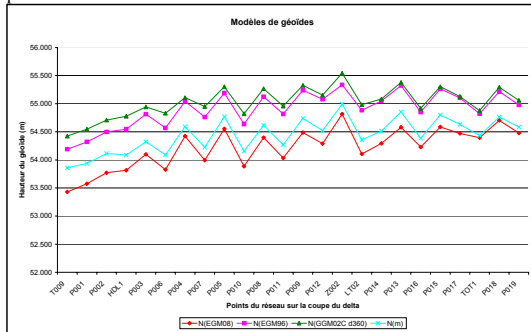


Figure 4.1 : Ondulation du géoïde local de l'EGM96/08 et GGM02C selon une coupe du delta de la Mahakam

La comparaison du modèle local avec 3 modèles globaux (EGM96/08, GGM02C) (figure4.1) permet de vérifier, l'homogénéité du modèle local par rapport aux grandes longueurs d'onde des modèles mondiaux. Ce test confirme la précision du modèle local ($< \pm 0.10\text{m}$).

Ces tests montrent qu'en présence de repères de nivellement sur le delta de la Mahakam, l'ajustement d'un modèle global à l'aide de points GPS nivelés aurait permis de définir un référentiel altimétrique fiable et uniforme sur l'ensemble du delta de la Mahakam. Le delta de la Mahakam est donc un cas représentatif où la détermination d'un géoïde local à partir de mesures gravimétriques peut être appliquée.

5. Conclusion

L'étude des besoins du service, en matière d'Exploration, et les différentes comparaisons de l'EGM08 avec des points GPS nivelés suggèrent, qu'en présence de repères de nivellement et d'une référence altimétrique fiable sur la zone d'étude, l'utilisation de ce nouveau modèle est à conseiller. Le facteur économique joue un rôle majeur dans la prise de décision d'une entreprise pour justifier l'utilisation d'une méthode. Les coûts importants d'un lever gravimétrique par rapport à la mise en place d'un réseau géodésique confirment également l'emploi de l'ajustement d'un modèle global à la surface topographique. Dans des régions dépourvues de réseau altimétrique ou encore dans des opérations de production, comme pour la construction de pipe-lines, l'ajustement de l'EGM08 ne répondra pas suffisamment aux besoins du service. Dès lors, l'ensemble des méthodes permettant d'atteindre la précision recherchée devra être étudié et en particulier la détermination d'un géoïde à partir de mesures gravimétriques.

La rédaction de la Spécification Générale, basée sur l'étude des méthodes de calcul du géoïde et sur l'acquisition des données gravimétriques fournit, désormais, à la société les éléments nécessaires à la compréhension et l'utilisation de la méthode. Ce document est transmis par appel d'offres aux soumissionnaires qui répondent par une proposition technique et financière. Ce « contrat » fixe une réglementation identique pour tous les fournisseurs qui établissent leurs propositions sur la base de ce document.

GEOLOCALISATION PAR PHOTOGRAMMETRIE DES DESORDRES D'OUVRAGES D'ART SUR DES IMAGES ACQUISES PAR UN DRONE D'HELICOPTERE

Société d'accueil : LCPC - Section « Traitement d'images et Géolocalisation »

PFE présenté par : **Noémie VANETTI**

Directrice du PFE : M. PEYRET - Mme CHAMBON- M. NICOLLE

Correcteurs : Pierre Grussenmeyer et Gilbert Ferhat

Dans le domaine des ouvrages d'art, on peut actuellement compter en France près de 250 000 ouvrages différents comprenant les ponts, les viaducs, les tunnels, les barrages et tout autre ouvrage remarquable permettant le franchissement d'obstacle. La surveillance et la maintenance sont une priorité pour leurs gestionnaires afin de garantir la richesse de l'aménagement de notre territoire. Actuellement, cette surveillance consiste en une inspection visuelle de l'ouvrage, au moyen du déploiement de plusieurs personnes et de grands équipements tels que des passerelles automotrices, des nacelles ou autres plateformes pour atteindre les zones les plus difficiles d'accès. De plus, cette surveillance doit être réalisée régulièrement pour permettre un bon suivi et entretien de l'ouvrage ce qui s'avère être une opération très onéreuse. Avec le développement de l'automatisation des tâches à risques, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) a parié sur l'utilisation d'un drone comme nouvel outil pour remplir cette mission. Ce projet, mené par le LCPC depuis quelques années et commun à plusieurs sections du laboratoire, a pour objectif principal le développement d'outils afin de permettre la détection et la géolocalisation des désordres d'ouvrages d'art (fissures, oxydation, accrocs...). Pour parvenir à ces résultats, une instrumentation embarquée adéquate, une maîtrise parfaite de l'appareil garantissant sa navigation et permettant l'acquisition d'images de bonne qualité ainsi que l'utilisation d'un logiciel spécifique pour traiter les données issues du drone d'hélicoptère sont indispensables. C'est ce dernier point qui fait l'objet de ce Projet de Fin d'Etudes (PFE).

En 2007, un stagiaire de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG), Bertrand Cannelle, a travaillé sur cette problématique et a proposé notamment une première ébauche de logiciel appelé *Interface* pour le traitement des images acquises par le drone et la restitution des désordres observés. Les calculs développés dans ce logiciel se basent principalement sur des méthodes photogrammétriques d'aérotriangulation aérienne. L'objectif de mon PFE est donc de reprendre dans un premier temps, le travail réalisé par B. Cannelle sur l'étude de géolocalisation des défauts puis de poursuivre ses recherches suivant plusieurs axes de travail afin d'atteindre une véritable maîtrise de notre instrument pour les divers chantiers auxquels il pourra être confronté. De façon plus précise, les objectifs de ce projet sont, tout d'abord, d'identifier dans quelle mesure les techniques de photogrammétrie peuvent apporter une aide dans la réalisation de ce type de chantier et de proposer également une méthodologie détaillée du déroulement d'un chantier de géolocalisation. Dans un second temps, il s'agit d'améliorer et de compléter le logiciel *Interface* afin d'augmenter l'automatisation de la chaîne photogrammétrique et de faciliter la gestion des données. Parallèlement à cela, il est réalisé une étude sur les caractéristiques offertes par l'appareil photo du drone pour décider des réglages permettant la meilleure acquisition afin d'éviter le problème d'images floues. Puis, un dernier objectif consiste à évaluer la précision possible à atteindre pour la géolocalisation de désordres grâce à la mise en place d'un site de tests au sein du LCPC.

La photogrammétrie, qui est la technique permettant de définir les formes, les dimensions et la position dans l'espace d'un objet quelconque grâce à l'utilisation de photographies de cet objet, montre un intérêt certain pour la détection de désordres présents sur les ouvrages d'art. Pour cela, la photogrammétrie se base sur le principe de la stéréoscopie qui consiste à observer l'objet depuis deux endroits distincts pour en saisir le relief. Selon le type d'objet considéré, les clichés sont réalisés depuis un avion, il s'agit alors de photogrammétrie aérienne, ou depuis des stations terrestres, c'est le cas de la photogrammétrie terrestre. Dans le cas d'une auscultation d'ouvrages d'art depuis un drone d'hélicoptère, on utilisera donc une photogrammétrie combinée, ce qui impose un certain nombre de contraintes à respecter, notamment dans l'acquisition des clichés, le calcul d'orientation des images et la définition des repères.

Afin de prendre en compte toutes ces contraintes et d'assurer la réussite des étapes menant à la géolocalisation des désordres, il a été envisagé l'élaboration d'une méthodologie qui ait à la fois, un caractère général pour être applicable aux chantiers divers et variés du drone mais également, un niveau de détail suffisant pour permettre aux intervenants un véritable appui tout au long du chantier. En effet, la réalisation d'un chantier de géolocalisation fait intervenir plusieurs compétences distinctes, certaines propres aux caractéristiques du drone et à ses règles de sécurité, d'autres relevant du domaine de l'électronique pour gérer la transmission d'information et l'acquisition des données et enfin, d'autres encore en topographie pour le relevé photogrammétrique et le traitement des données. Celles-ci nécessitent donc d'être correctement guidées et bien coordonnées entre elles pour être efficaces, d'où l'intérêt de ce manuel méthodologique. Il a été rédigé en décomposant la réalisation d'un chantier en six grandes étapes : la définition du chantier (localisation, type d'ouvrage, informations topographiques, cahier des charges), la planification (périmètre d'action, paramètres photogrammétriques, polygone et points GPS, nomenclature, disponibilité satellitaire), la reconnaissance terrain (disponibilités et contraintes du site, implantation et levé de points), le pré-traitement (coordonnées des points levés, plan de vol du drone), l'intervention sur le terrain (vol du drone, pré-dépouillement des données, levé des points d'appui), le post-traitement (Géolocalisation des désordres observés par traitement des images par le logiciel *Interface*). Toutes ces étapes ont été partiellement mises en application lors du projet pilote mené dans la vallée d'Aspe, dirigé par la Direction Interdépartementale des Routes (DIR) de Pau, afin d'observer un éboulement rocheux qui s'est produit sur la chaussée située en contrebas puis ont été reprises intégralement lors de l'expérimentation effectuée sur le site de tests du LCPC.

Dans l'étape de post-traitement du chantier, suite à l'acquisition des images, des données de navigation ainsi que des points d'appui levés sur le terrain, il doit être réalisé un ensemble de calculs photogrammétriques afin de déterminer les coordonnées tridimensionnelles des désordres. Cette étape de calcul va donc être exécutée grâce au logiciel *Interface*, sur lequel on a apporté quelques améliorations. Une première amélioration aménagée sur le logiciel porte sur la phase du marquage des points d'appui sur les images du chantier. Dans le but d'apporter une plus grande automatisation au processus, on a décidé d'utiliser des cibles codées pour matérialiser les points d'appui et d'implémenter une routine permettant la reconnaissance automatique de ces cibles. Les cibles utilisées sont circulaires avec un codage dix bits. Ainsi, l'algorithme développé réalise, dans un premier temps, le décodage de la cible ce qui permet d'identifier le point d'appui et de récupérer ses coordonnées-terrain dans le fichier correspondant. Cette reconnaissance s'effectue par une série de traitements d'images avec tout d'abord le traçage de l'histogramme des pixels de l'imagette contenant la cible ainsi que le calcul d'un seuil afin de binariser l'image et n'avoir plus que les éléments de la cible. On procède ensuite à la détection des différents éléments et, grâce à un calcul des moments de Hu, on ajuste une ellipse à chacun de ces objets. Cela permet d'identifier le rond central de la cible et, par observation des valeurs des pixels se trouvant autour, de déterminer la combinaison de la cible et donc le numéro du point. Dans un second temps, l'algorithme calcule les coordonnées-image du centre de la cible de manière à les affecter au point d'appui identifié. Pour cela, il récupère simplement les coordonnées calculées pour le centre de l'ellipse associée au rond central. Différents tests ont de plus été réalisés afin de valider la méthode. Ils ont montré des résultats très satisfaisants pour les prises de vues relativement parallèles au plan de l'ouvrage mais une reconnaissance automatique est plus difficile lorsque l'image présente un angle d'inclinaison important.

Une seconde amélioration a ensuite été apportée au niveau de la phase de restitution. Le logiciel propose à cette étape deux modes de restitution différents : la stéréorestitution et la monorestitution. La stéréorestitution est généralement la technique la plus utilisée car elle offre une meilleure précision sur les coordonnées des points restitués que celui de la monorestitution, cependant elle impose également des contraintes plus fortes car deux photos correctement orientées sont nécessaires alors qu'une seule suffit dans le second cas. Ainsi, dans l'optique d'un ouvrage assimilable à un plan ou à un ensemble de plans et où la précision requise n'est pas la plus exigeante, une nouvelle méthode de monorestitution s'appuyant sur la technique du redressement d'image a été implémentée dans le logiciel. Le principe consiste à sélectionner une zone plane de l'ouvrage contenant le défaut à restituer. Les quatre points de liaison les plus proches des quatre coins du plan choisis sont alors utilisés comme points d'appui locaux ce qui permet d'effectuer le calcul de redressement d'image, soit la détermination des huit coefficients de la matrice de perspective qui traduit la transformation de l'objet dans l'image vers le plan réel. Cette méthode est efficace mais on remarquera toutefois qu'elle nécessite une densité importante de points de liaison afin de garantir la présence d'au moins quatre points pour délimiter les différents plans. Outre l'implémentation de cette méthode, il a été rajouté, dans les deux modes de restitution, l'obligation de donner un nom et un type (point, polygone ou polygone) aux objets restitués, ceci dans un souci d'un meilleur suivi des désordres de l'ouvrage.

C'est d'ailleurs sur cette problématique de suivi et d'analyse des désordres que porte la dernière amélioration réalisée sur le logiciel. Elle se situe au niveau du dernier onglet consacré à l'« inspection » et a pour but de faciliter l'interprétation des résultats obtenus. Considérant l'objectif d'une surveillance régulière de l'ouvrage, il est important de pouvoir comparer les désordres qui ont été observés d'une fois sur l'autre. Il a donc été prévu de pouvoir importer le fichier du chantier en cours et un fichier de référence correspondant au chantier réalisé antérieurement. Dans un premier temps, on liste les différents désordres précédemment restitués dans un tableau. Puis, dans un second temps, pour chaque désordre sélectionné, on affiche respectivement pour le chantier en cours et celui de référence les caractéristiques de celui-ci (le nombre de sommets, leurs coordonnées, la distance cumulée). Cela permet donc à l'inspecteur d'effectuer une comparaison et d'en tirer ses premières conclusions quant à l'évolution du désordre.

Afin de prendre en compte toutes ces modifications et de faciliter la prise en main du logiciel par l'utilisateur, il a également été rédigé un manuel utilisateur détaillant les étapes du traitement et les diverses fonctionnalités proposées par *Interface*.

Parallèlement à ces recherches et afin de tester nos outils, il a été envisagé de créer un site de tests pour le drone sur les locaux du LCPC. Celui-ci a pour but, tout d'abord, d'exercer les personnes à maîtriser le système de navigation du drone et à coordonner les actions de prise de clichés avec le positionnement précis du drone dans l'espace. Dans un second temps, ce site de tests a pour rôle également de servir d'appui à la réalisation d'une étude de précision. Il s'agira d'évaluer le niveau de détail que l'on peut extraire ainsi que la précision que l'on peut obtenir sur des coordonnées de points géolocalisés. Enfin, il servira de référence dans le cas où de nouveaux matériels équiperaient le drone. Pour le choix du lieu, il s'est avéré que les deux murs orientés Sud et Est du laboratoire respectaient les critères de proximité avec l'atelier, de zone dégagée pour une navigation en toute sécurité et enfin de similarité avec un ouvrage d'art. Ils ont donc fait l'objet de différentes installations. Parmi celles-ci, on compte la mise en place de dix-huit cibles réparties de façon homogène sur les murs afin de matérialiser les points d'appui du chantier et l'installation d'un panneau de tests sur lequel sont représentés différents défauts (traits de tailles différentes, formes géométriques, fissure). Le site a de plus été équipé de quatre repères topographiques, matérialisés par des clous au sol, qui ont été levés à la fois par tachéomètre et par GPS afin d'effectuer le rattachement du repère local de travail au système de référence WGS84.

Ce site mis en place nous a ainsi permis de réaliser une première expérimentation. Avec l'appui de la méthodologie établie, on a tout d'abord défini précisément le chantier et les résultats qui souhaitaient être obtenus. On a ensuite pu calculer les différents paramètres photogrammétriques et élaborer le plan de vol du drone. Lorsque les conditions météorologiques se sont avérées convenables, on a alors réalisé l'intervention sur le terrain. Celle-ci s'est décomposée en deux vols pour permettre le réapprovisionnement du drone et a permis l'acquisition de plusieurs images en conditions stéréoscopiques. Grâce à l'étude préalable qui a été menée sur les réglages de l'appareil photo embarqué sur le drone, on a pu optimiser les réglages, notamment en augmentant la vitesse d'obturation, et compenser ainsi une partie des vibrations du drone pour éviter l'apparition de flou sur les images. Les images recueillies étaient donc nettes, cependant du fait de problèmes de recouvrements insuffisants et de coordonnées GPS imprécises, seules huit images du mur côté Sud ont pu réellement être exploitées. Cela était toutefois suffisant, avec le levé des cibles à l'aide du tachéomètre, pour traiter correctement ces données sous le logiciel *Interface* et obtenir déjà des résultats intéressants.

Ces premiers résultats obtenus de l'expérimentation réalisée sur le site de tests ont permis de mener une étude dont le but est d'évaluer la précision de la géolocalisation. Une première analyse s'est concentrée sur la qualité des images. D'un point de vue global, les images ne présentaient pas de flou marqué et possédaient des couleurs contrastées ce qui était très satisfaisant. Toutefois, par une observation plus rapprochée du panneau de tests sur les images, on peut constater un étalement des pixels et une difficulté à distinguer les éléments les plus petits (trait d'épaisseur 1 millimètre). A la distance minimale de sécurité fixée à dix mètres entre le drone et l'ouvrage, on obtient en effet un pixel terrain de l'ordre de trois millimètres d'où cette grande difficulté de mesurer correctement la largeur d'une fissure ou de désordres de taille millimétrique.

Néanmoins, la restitution de différents points des désordres du panneau de tests a révélé des résultats très intéressants. L'étude de précision a donc consisté à sélectionner un point du panneau de tests pour lequel on a réalisé une série de mesures de restitution. Ainsi, en supposant que ces mesures suivent la loi normale, on a calculé sa valeur moyenne et son écart-type pour chacune des composantes X, Y et Z. Cela nous donne une indication sur la fidélité de la mesure, c'est-à-dire sur l'erreur de pointé sur l'image. Afin d'évaluer à présent

la justesse des mesures, le point a également été levé à l'aide d'un tachéomètre ce qui fixe la valeur de référence pour le point. Cela nous a permis de constater la présence d'une erreur systématique sur les coordonnées restituées. Celle-ci peut avoir des origines diverses qui n'ont pas pu être identifiées. Par conséquent, afin d'estimer plus précisément la valeur de ce biais, l'opération de restitution a été répétée sur plusieurs points du panneau de tests. Cela nous a permis de conclure, par différence avec les valeurs de référence du tachéomètre, sur une valeur moyenne et un écart-type du biais en X, Y et Z. Les coordonnées restituées ont ainsi pu être corrigées de cette valeur pour fournir des coordonnées plus précises. La précision a, de plus, été calculée grâce à l'estimation de la précision des coordonnées de référence issues du levé topographique, de l'erreur de pointé et de la précision du biais. Par un calcul de transmission d'erreur, la précision des coordonnées corrigées a donc été estimée à $\pm 5,4$ mm pour les composantes X et Y et à $\pm 8,1$ mm pour la composante Z. Cette précision de géolocalisation des désordres, dans les conditions expérimentales du chantier test que l'on peut considérées optimales, est donc inférieure au centimètre ce qui satisfait pleinement le besoin exprimé de pouvoir localiser les désordres sur un ouvrage.

Dans le but enfin de comparer les performances du logiciel *Interface*, le chantier a également été réalisé sous le logiciel *Photomodeler*, logiciel commercial très utilisé pour la photogrammétrie terrestre. Ainsi, on a pu constater que *Photomodeler* fournissait des résultats plus proches des coordonnées de référence et ne présentait donc pas d'erreur systématique mais que les précisions finales des coordonnées étaient du même ordre de grandeur que celles obtenues par *Interface*. Par ailleurs, on peut noter que le logiciel *Interface* utilise un calcul automatique de points de liaison contrairement à *Photomodeler*, ce qui est intéressant lorsque les surfaces observées présentent un fort critère d'homogénéité (surface en béton ou en pierre) comme c'est le cas pour les ouvrages d'art, et que son écriture en C++ nous permettra d'intégrer plus aisément de nouvelles fonctionnalités suivant les besoins évolutifs du drone. On peut donc conclure que malgré la nécessité d'effectuer encore certaines améliorations, le logiciel *Interface* permet d'ores et déjà de géolocaliser les objets et d'obtenir des résultats de bonne précision.

En conclusion, tous ces éléments ont permis de consolider et de compléter une méthode de relevé des dégradations par photogrammétrie, ce qui nous laisse envisager de pouvoir bientôt fournir un outil opérationnel et qui pourra être présenté aux différents gestionnaires d'ouvrages d'art. De plus, les champs d'applications pour le drone pourront être étendus à de nombreux autres besoins comme celui de géotechnique pour les massifs rocheux, de dénombrement pour les enrochements ou encore de surveillance routière.

MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR LA GESTION DE RESEAU DE CHALEUR.

Société d'accueil : GRAPHLAND PARIS
PFE présenté par : Emilien DELEBECQ
Directeur du PFE : Yves LEDRICH
Correcteurs : M. Mathieu KOEHL
M. Jean-Claude FISCHER



Ce projet de fin d'étude consiste en la réalisation d'un système d'information géographique et plus particulièrement le développement d'outils cartographiques. Ces outils ont pour but d'enrichir une application cartographique standard d'ArcGIS Server. Ils répondent aux besoins de gestion propres à une entreprise et à un métier. Ce sujet s'inscrit dans la réalisation d'un marché passé par l'entreprise Dalkia avec ESRI France, Logica et Graphland.

1. Contexte et objectifs de l'étude

Chaque entreprise nécessite des outils informatiques personnalisés selon les métiers qu'elle exerce, les tâches qu'elle exécute ou les données qu'elle manipule. Les logiciels standards de gestion de bases de données d'ESRI proposent de nombreux outils cartographiques tels que la navigation sur une carte, les agrandissements ou la consultation détaillée des données stockées en base. Cependant, il arrive souvent que ces outils ne répondent pas aux besoins précis d'une entreprise. Il devient alors nécessaire de préciser ses besoins puis d'élaborer et de développer un ou plusieurs outils qui seront intégrés dans le logiciel de base pour le compléter. On parle alors d'outils métier (des outils propres à une entreprise, à la réalisation d'une tâche) puis, par extension, d'application (ou de logiciel) métier. La gestion des données de l'entreprise Dalkia nécessite le développement d'un certain nombre d'outils. Cette étude s'intéresse en particulier à la création d'un outil d'administration des exploitants de réseaux et d'un outil réglementaire pour la gestion de documents administratifs. Les documents considérés lors de cette étude sont des demandes de renseignements, des déclarations d'intention de commencement de travaux et des déclarations d'incidents à la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement).

Lors d'une intervention sur ses ouvrages, Dalkia doit au préalable se renseigner sur la présence ou non de réseaux sur la zone concernée. Il faut donc rédiger une Demande de Renseignements (DR) puis une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) et les envoyer à l'ensemble des gestionnaires susceptibles de posséder des réseaux sur les lieux des futurs travaux. A l'inverse, lorsque Dalkia reçoit d'un autre gestionnaire une DR ou une DICT il lui faut rédiger et envoyer une réponse. Il est ensuite nécessaire de gérer le suivi de ces documents, rédiger des récépissés lorsqu'une réponse est reçue, etc.

Jusqu'à présent la gestion de ceci se faisait « à la main » et quasiment au cas par cas. Graphland propose donc une solution permettant de générer et organiser ces documents. La prise en charge se fera depuis la sélection d'une zone de travaux sur une carte jusqu'à l'impression automatique des formulaires « CERFA » de DR, DICT et de déclaration d'incident en passant par le stockage des informations.

Cette étude devra principalement remplir 3 objectifs:

- Proposer une application cartographique, portable, intuitive et ergonomique permettant la gestion des documents réglementaires et l'administration des exploitants au moyen d'outils cartographiques personnalisés.
- Garantir le contrôle des données échangées avec la base de données et permettre la manipulation de celle-ci (consultation, modification, création et suppression).
- Assurer une organisation rigoureuse du projet afin d'en faciliter la continuation et la maintenance.

Plus généralement, il s'agit d'étudier les possibilités d'enrichissement d'une application cartographique au moyen d'outils métier personnalisés. Les objectifs cités ci-dessus sont en effet communs à toutes applications cartographiques quel que soit le domaine d'exercice de l'entreprise qui les utilise.

2. Outils utilisés

Dans chaque projet, la modélisation est une étape importante. Un modèle permet de refléter les aspects importants de la réalité et d'en donner une vue juste et pertinente mais simplifiée et schématisée. Un modèle doit notamment faciliter la compréhension et l'organisation du système étudié. Il en réduit la complexité, permet de le simuler, de le représenter et d'en reproduire les comportements. Les modèles utilisés dans cette étude proviennent du langage UML (« Unified Modeling Language » soit « langage de modélisation unifié »). Les diagrammes des cas d'utilisation

décrivent le système du point de vue des utilisateurs en identifiant les interactions entre ceux-ci et le système. Ces diagrammes représentent les actions de l'utilisateur et les actions du système qui y répondent. Les diagrammes de classes des interfaces représentent les différentes interfaces du système ainsi que les interactions entre elles (la figure 2.1 illustre ce type de diagramme pour l'outil « *Emettre une DR* »). Dans notre étude, le système a été décomposé en plusieurs diagrammes. Il y en a un pour chaque outil. Cette segmentation permet de rendre la modélisation plus claire et simplifie la lecture. De plus, elle n'empêche pas une bonne compréhension du système dans sa globalité car les outils sont totalement indépendants. Ces diagrammes ont pour but de visualiser l'ensemble des interfaces et de voir de quelle manière elles sont appelées, dans quel ordre, selon quel enchaînement. Enfin, l'utilisation d'un diagramme des classes vues depuis la base de données permet d'organiser la base de données en définissant les différentes tables de données ainsi que les relations entre elles. Grâce à ces outils, il devient possible de visualiser et de clarifier le fonctionnement de l'application, ce que chaque outil devra permettre de réaliser, quelles actions pourra réaliser l'utilisateur, ce que le système y répondra et comment s'organise la base de données.

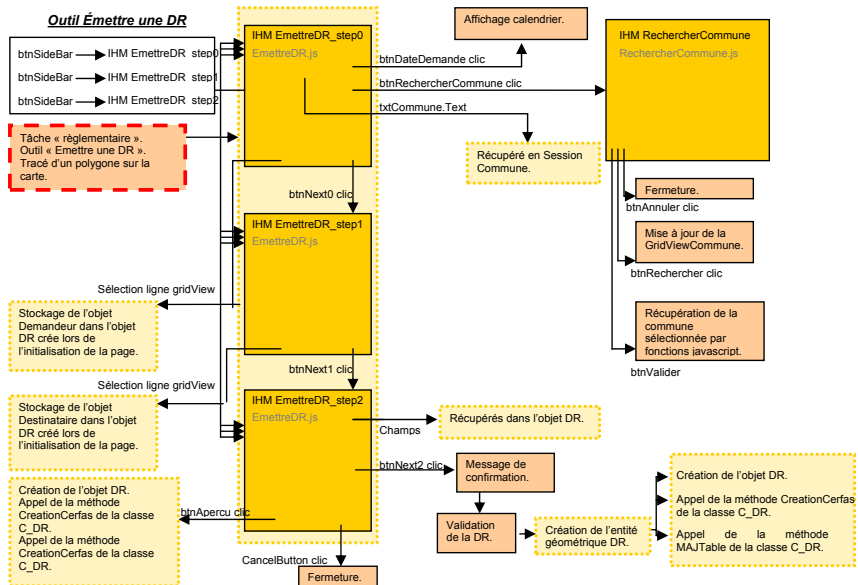


Figure 2.1 : Diagramme de classes des interfaces de l'outil « Emettre une DR »

Le système ayant été modélisé, le développement de l'application est désormais possible. Les langages de programmation et les ensembles de classes sont nombreux et très variés. L'étude de quelques langages informatiques a permis de cerner l'intérêt et l'utilité de chacun : ASP pour le développement de l'application Web, ADO pour l'accès aux données, AJAX pour l'amélioration des performances et de l'esthétisme, les ArcObjects pour la création d'entités géométriques, XML et XSL pour l'impression des documents, Javascript pour les interactions avec le poste client.

3. Gestion des relations avec la base de données

Par définition, un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD) manipule des bases de données. Dans cette étude, une contrainte supplémentaire apparaît : il est nécessaire de pouvoir accéder à ce système depuis le réseau Internet. Il doit donc permettre de lire, écrire, modifier, supprimer des données depuis un poste client sur un serveur. Dans .Net, l'accès à des données externes à l'application est possible grâce la technologie ADO.NET qui est un ensemble de classes hiérarchiques permettant de manipuler les données. Plusieurs combinaisons de différents objets peuvent permettre à l'utilisateur d'accéder aux données. Tous ces objets ne présentent pas les mêmes performances. Différentes combinaisons ont donc été testées pour finalement retenir l'utilisation des objets DataSet, DataAdapter et DataSource. Cette combinaison permet un développement simplifié et une maintenance aisée. De plus, elle améliore considérablement les performances du système grâce à un fonctionnement en mode déconnecté. Le mode déconnecté permet en effet de maintenir ouverte la connexion vers la base de données le

moins longtemps possible. De même, l'organisation des différents niveaux entre l'utilisateur et la base de données est un facteur important dans la recherche de la clarté et de la performance du système. Après plusieurs essais d'organisation, le projet a finalement été structuré selon le modèle de l'architecture en couches. Cette architecture propose une décomposition du code informatique en plusieurs niveaux, du plus proche de l'utilisateur au plus proche des données. On distingue ainsi la couche de présentation qui correspond à l'interface graphique et qui permet les interactions entre le système et l'utilisateur, la couche métier qui contient les objets et les traitements métiers et la couche d'accès aux données qui manipule les données de la base. L'architecture en couches peut sembler de prime abord complexe et peu intuitive. Cependant, une fois mise en place elle permet un réel gain de temps mais permet également d'obtenir un système beaucoup plus fiable et sûr grâce à la séparation de la couche de présentation, de la couche de traitements et la couche d'accès aux données.

C'est lors de cette étape que le travail le plus fastidieux mais le plus important est réalisé. En effet, un développement rapide et efficace, un système fonctionnel, performant et une maintenance aisée en dépendent.

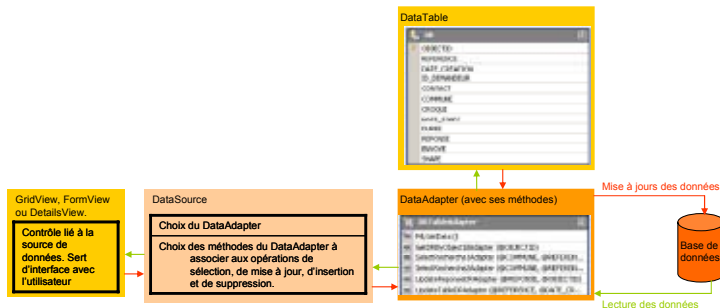


Figure 3.1: Schéma de fonctionnement et des interactions des différents objets d'accès aux données

4. Développement de l'interface Homme/Machine

L'Interface Homme/Machine (I.H.M.) est la partie du programme qui fait le lien entre l'utilisateur (l'homme) et l'ordinateur (la machine). Plus exactement, il s'agit de traduire le code de l'ensemble du programme en un langage compréhensible et facilement interprétable par l'homme. En effet, le système doit être utilisable par n'importe quel utilisateur même ceux qui ne disposent d'aucune connaissance en informatique ou en programmation. Pour cela, l'interface se présente le plus souvent sous forme graphique et textuelle. Le choix des représentations graphiques, des champs de saisies et des textes affichés sur l'écran est primordial car de cela dépend la clarté, la lisibilité et le bon fonctionnement du système.

De plus, l'I.H.M. doit aussi prendre en compte toutes les erreurs de manipulation et de compréhension pouvant provenir de l'utilisateur. C'est pour cela qu'elle devra guider l'utilisateur lors de l'utilisation, contrôler ses actions et ses saisies mais aussi être capable de récupérer les informations que l'utilisateur transmet au programme.

Cette dernière partie a permis de mettre en application les différentes recherches de fond et de formes (architecture du projet et langages informatiques) et de développer l'application cartographique. Cette couche de présentation, outre le fait de faire l'interface entre l'utilisateur et le système, se charge de récupérer et de contrôler les données saisies par l'utilisateur. L'application possède désormais de nouveaux outils adaptés aux besoins de l'entreprise. Ces outils permettent d'agir sur les cartes et couches qui représentent les données (ils sont présentés et illustrés par la figure 4.1). De manière intuitive, sans formation et sans installation de logiciels sur son poste informatique, l'utilisateur peut désormais consulter les données, faire des recherches sur les tables, créer, modifier des enregistrements via le réseau Internet.

5. Conclusions

La gestion des données est une problématique propre à toute entreprise ou administration. Lorsque ces données possèdent une dimension spatiale, l'emploi d'un système d'information géographique devient nécessaire. Souvent, les applications qui permettent de gérer les données doivent être portables du fait de la nature des données ou des métiers exercés par les utilisateurs de ces systèmes. Par portable, il faut comprendre que le logiciel peut être emporté sur le terrain, sur un chantier, chez un client et donc qu'il est possible d'ouvrir l'application, d'accéder aux données du système par l'intermédiaire du réseau Internet. La portabilité d'un système de gestion géographique devient un atout majeur car il permet un gain de temps appréciable et une accessibilité presque totale. Cette étude a permis de développer une telle application.

Afin d'optimiser l'utilisation de cette application, des développements supplémentaires ont été nécessaires afin de créer des outils cartographiques propres au métier de gestionnaire de réseaux. En l'occurrence, ces outils assurent la gestion de documents administratifs (DR, DICT, déclarations d'incident à la DRIRE) et l'administration d'exploitants.

Au cours de cette étude, deux types d'outils ont été étudiés. D'une part des outils d'aide à la réflexion qui permettent la modélisation de projets et d'autre part des outils informatiques pour le développement. Ces recherches ont permis de découvrir un langage de modélisation de projets ainsi que de nombreux langages de programmation ayant chacun une utilité différente. Suite à cette première vision, des études ont été réalisées pour déterminer la méthodologie la plus performante pour accéder aux données et l'architecture de projet la plus judicieuse. Enfin, l'application cartographique, portable, enrichie de nouveaux outils et permettant d'accéder à une base de données via Internet a pu être développée.

Le projet dans lequel s'inscrit cette étude n'en est qu'à la première étape. La première version des développements doit s'achever en octobre 2008. La livraison et la mise en production n'interviendront qu'au début de l'année 2009. De nombreux points n'ont pas encore été abordés tels que la gestion des droits, des utilisateurs, des erreurs. De même, Graphland n'étant pas responsable de l'architecture du projet, des décisions comme l'utilisation de pop-up ou de contrôles personnalisés (une troisième solution, l'utilisation d'« IFrammes » pourrait également être envisagée) doivent encore être prises par l'entreprise Logica. Enfin, un point important n'a pas encore été abordé : la création automatique de plans de situation englobant la zone concernée par les demandes de renseignements et les déclarations d'intention de commencement de travaux. Ces différents aspects nécessiteront des développements supplémentaires.

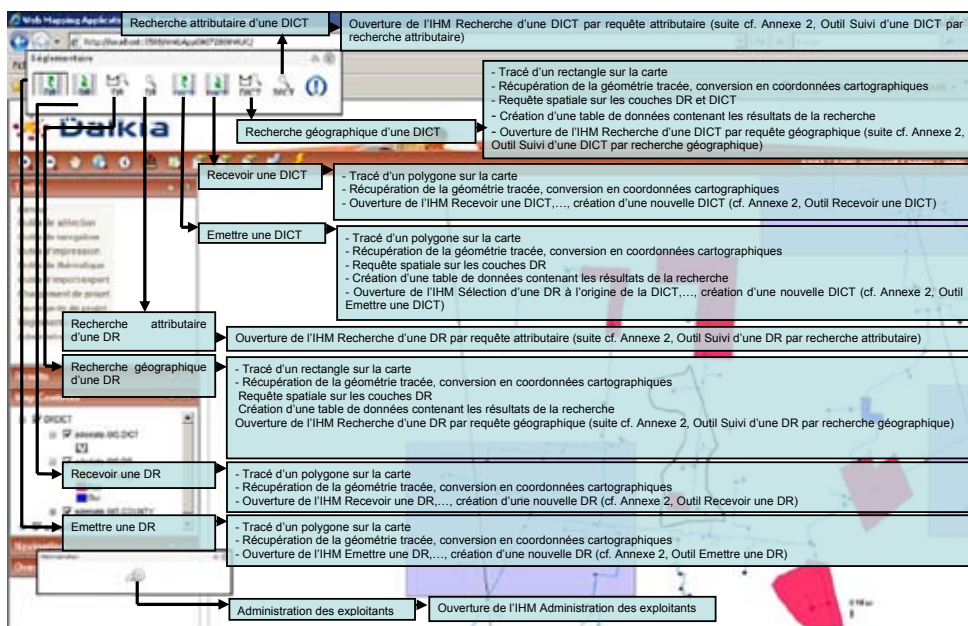


Figure 4.1 : Récapitulatif des outils développés

PROJET DE DEMATERIALISATION DE LA DOCUMENTATION
COMPLEMENTAIRE AU PLAN CADASTRAL D'ALSACE-MOSELLE, AU
TRAVERS D'UNE MAQUETTE OPERATIONNELLE

Organisme d'accueil : OGE, Conseil Régional de Strasbourg
PFE présenté par : Pascal Kuntzelmann
Directeur du PFE : M. Claude Schaller
Correcteurs : M. Mathieu Koehl
M. Guy Desportes



Introduction

L'annexion de l'Alsace-Moselle par l'Allemagne a laissé un héritage qui confère au cadastre de ces départements une valeur ajoutée par rapport au reste de la France. En effet, ce cadastre est complété par les croquis d'arpentage. Ceux-ci permettent aux Géomètres-Experts (GE) de rétablir les limites parcellaires par le calcul en coordonnées des sommets. Ce patrimoine est néanmoins menacé par les dégradations continues liées au temps et aux consultations répétitives.

Plusieurs études antérieures ont permis la dématérialisation du plan cadastral français et du livre foncier, en revanche aucune n'a pris en compte les croquis cadastraux d'Alsace-Moselle. Le but de cette étude est de remédier à cette omission en mettant au point un processus de dématérialisation adapté pour aboutir à la pérennisation de cette documentation.

Pour cela, trois phases devront être abordées dans l'étude. Tout d'abord il est nécessaire de faire l'inventaire quantitatif et qualitatif de la documentation concernée par l'étude, mais également définir les moyens actuels de recherche de cette documentation. Ensuite il faudra définir la meilleure méthode de dématérialisation quant à la pérennité des documents et à l'aspect financier de l'opération. Enfin, la dernière étape de l'étude consistera à structurer les données dans une base pour permettre une recherche simplifiée des documents, mais il faudra également définir le rôle des différents acteurs pour assurer la pérennité du projet après la dématérialisation.

1) Nécessité d'un tel projet

Ce projet a pour mission de résoudre plusieurs types de problèmes :

- Le stockage des documents. Actuellement près de 2.800.000 documents, tous types confondus, sont stockés par les CDIF d'Alsace-Moselle.
- L'état de plus en plus dégradé de ces documents. La consultation répétée et continue des documents diminue leur pouvoir de conservation et les plus abimés sont quasiment illisibles.
- L'informatisation permettra de stabiliser l'état de conservation des documents anciens et de conserver les documents qui seront créés après l'informatisation dans leur état d'origine.
- La consultation des documents sera fortement facilitée.

2) Inventaire des documents stockés par les services du cadastre

Dans les différents CDIF d'Alsace-Moselle on trouve plusieurs types de documents :

- Les feuilles de plan
- L'état des changements 6495-1-AM
- Les DA (Chemise verte)
- Les registres de calcul de polygonation
- Les listings de coordonnées des points calculés
- Les états de section
- Les esquisses de copropriété
- Les croquis originaux et de conservation

- Les croquis de levé d'origine

Les croquis de levé d'origine se trouvent reliés dans des registres de format 50*70cm. Ils sont fréquemment consultés par les GE. L'avantage pour la dématérialisation est qu'ils sont tous au même format. Leur état est généralement bon.

- Les croquis de conservation ou d'arpentage

Ils sont de divers formats, reliés dans des registres ou non, ils sont rédigés de différentes façons. Actuellement ils sont dans des états de conservation très divers. Leur nombre augmente continuellement et leur fréquence de consultation les condamne à la destruction si rien n'est fait.

- Les croquis de constructions nouvelles (CN)

On les trouve dans les mêmes registres que les croquis de conservation et ils sont du même type à la différence près qu'ils permettent de définir les dimensions du bâtiment et le report sur le plan cadastral à partir des limites parcellaires.

D'après un recensement, réalisé en juin 2004, le nombre total de croquis (hors croquis de Constructions Nouvelles) était de 1.108.800 pour les trois départements.

A l'heure actuelle on estime que ce chiffre passe à 1.500.000 avec la prise en considération des levés CN.

3) Choix des documents retenus pour la maquette

La priorité porte avant tout sur l'informatisation des croquis cotés (croquis d'arpentage, croquis de levés d'origine, feuilles de plans exceptionnels et dans une moindre mesure les croquis de constructions nouvelles) qui sont indispensables aux GE. L'informatisation des autres documents semble pour l'instant prématurée, du fait du manque de temps et de personnel travaillant sur le projet, celle-ci pourra être mise à l'étude dès que la première phase, constituée par la dématérialisation des croquis, sera lancée et généralisée à l'ensemble des trois départements.

Le choix de la zone concernée par la maquette s'est porté sur la section LM de Strasbourg-Koenigshoffen. Cette zone offre une diversité de l'état des documents et des types de mutations effectuées sur les parcelles. Par ailleurs cette section dépend du CDIF de Strasbourg-Neudorf qui a déjà connu la réalisation d'une expérience similaire avec le test de dématérialisation de la commune de BLAESHEIM en 2006.

En se basant sur les états de section de la section LM on dénombre 175 croquis de conservation, dont on estime à ~80% (140) la proportion de ceux qui sont à un format allant du A4 au A3, sans pliage. 5 feuilles de croquis de levés d'origine au format ½ grand aigle. 7 feuilles de la collection exceptionnelle au format grand aigle. Soit un total de 187 croquis.

4) Représentation de l'état des croquis sur un échantillon aléatoire de 117 croquis tirés de la section LM de Strasbourg-Koenigshoffen

Pour effectuer l'inventaire de l'état de conservation des différents croquis j'ai déterminé trois classes différentes pour répertorier les documents selon leur exploitabilité/lisibilité :

- ✓ Exploitable en l'état
- ✓ Partiellement exploitable
- ✓ Peu exploitable en l'état

Exploitable en l'état	La lisibilité et l'état général sont corrects.	80%
Partiellement exploitable	Le contraste peut être réduit et la lisibilité rendue difficile. Cependant peu d'informations sont manquantes, de petites déchirures sont possibles.	17%
Peu exploitable voire inexploitable en l'état	Des déchirures affectant la lecture des cotes et/ou un contraste très réduit affectent fortement la lisibilité des informations importantes. La ressaisie est nécessaire.	3%

Tableau 1 : Etat des documents, pour un échantillon de 117 croquis.

5) Choix de la méthode de dématérialisation et résultats

Etant donnée que les documents faisant l'objet de l'opération sont voués à de la consultation pure, il n'est pas utile de mettre en place un processus de digitalisation. Le scannage semble être la solution la plus efficace en termes de qualité, de rapidité et de coût. En revanche, une étude précédente, menée par la CUS, montre l'utilité du passage par le microfilm. En effet, le microfilm présente l'avantage d'être le média d'archivage le plus économique et techniquement le plus sûr à ce jour, tout en offrant la possibilité d'être facilement scannable. De plus, l'état, la qualité du support papier et l'hétérogénéité des formats des croquis de conservation ne permettent pas de les numériser avec un scanner à chargement automatique. Les microfilms seront plus facilement scannables.

Les croquis microfilmés seront alors scannés en niveau de gris à 300 points par pouce (PPP), sachant que 300 PPP correspondent à 118 pixels par centimètre. L'information sera alors compressible en JPEG. Le choix d'une numérisation couleur a été écarté. En effet, après l'analyse, en concertation avec le conseil régional des Géomètres-Experts, il a été décidé de réaliser la dématérialisation en niveaux de gris pour trois raisons majeures :

- Les coûts supplémentaires engendrés par l'utilisation de la couleur (facteur 2 à 4) par rapport au niveau de gris.
- La taille des fichiers serait augmentée par l'utilisation de la couleur.
- La couleur permet de distinguer les mutations mais n'apporte rien à la lisibilité des cotes.

6) Traitement des fichiers

Les fichiers ainsi obtenus sont de qualité hétérogène et certains présentent des problèmes de contraste et leur taille reste importante (~4 Mo/image en moyenne). Ainsi, un traitement des fichiers relativement facile à mettre en œuvre consisterait à passer d'une information en niveau de gris à une information en bitonal, après application préalable d'un filtre permettant d'augmenter le contraste, dans le but de réduire la taille du fichier de sortie.

Cette méthode a été expérimentée par la CUS avec des résultats concluants. Après différents tests à l'aide du logiciel gratuit de traitement d'image « XnView », il s'est avéré que le choix d'un filtre de type contour semble adapté à la majorité des fichiers à traiter. De plus ce logiciel permet de traiter les croquis par séquence et ne nécessite pas de suivi humain lors de l'exécution. Ce qui réduit considérablement le temps de travail humain à consacrer au traitement.

Exemple de résultats obtenus, pour le croquis n° 2819 :



Figure.1 : Image brute du croquis n°2819



Figure.2 : Image traitée avec un filtre de type contour

7) Mise en place de la base et affichage des données

Nous disposons à présent d'une base de données non structurées. La recherche de documents dans une base de ce type est fastidieuse. Pour permettre une utilisation simple et rapide de ces fichiers il a fallu créer un SGBD (Système de Gestion de Base de Données) facilitant la recherche grâce à la mise en place de filiations entre les données. Pour cela il a tout d'abord fallu recréer les filiations puis concevoir un modèle de données gérant la base. Pour recréer les filiations entre les parcelles et les croquis associés je me suis basé sur l'état de section de la section LM, que j'ai dû préalablement compléter.

L'organisation de la base de données a nécessité de créer des tables à partir desquelles les données sont extraites. Mon choix s'est tourné vers la plate-forme de développement Web Wampserver fonctionnant sous Windows et permettant de réaliser des pages Web dynamiques puis de les tester en local. Le développement s'effectue à l'aide du serveur Apache2, du langage de scripts PHP et d'une base de données MySQL.

Tableau des filiations			
Parcelle sélectionnée		Parcelle(s) mère(s)	
N°	N°	filiation suivante	croquis associé(s)
326	159*	filiation	482 LM 51 99
326	159*	filiation	482 LM 1774
326	159*	filiation	482 LM 7691

Parcelle sélectionnée		Parcelle(s) fille(s)	
N°	N°	filiation suivante	croquis associé(s)
326	328	filiation	482 LM 7735

[Pour voir l'historique d'une autre parcelle \(cliquer ici\)](#)

Département:

Commune:

Section:

Parcelle(s) mère(s):

Parcelle(s) fille(s):

numéro de croquis:

Figure 3 et 4 : A gauche : les tableaux répertoriant les croquis associés aux parcelles, à droite le formulaire de saisie

La figure 3 montre l'affichage du résultat de la recherche faite par l'utilisateur, celui-ci sélectionne un numéro de croquis ou de parcelle. L'affichage se fait sous forme de tableaux, un pour les parcelles filles et l'autre pour les parcelles mères de la parcelle que l'utilisateur aura sélectionnée. Dans ces deux tableaux on visualisera la liste des croquis rattachée à chaque parcelle de la filiation. Les croquis dématérialisés seront affichés en images bitonales traitées, essentiellement pour des raisons de taille de fichier et de lisibilité. L'utilisateur pourra à l'aide d'un lien « numéro d'indexation du croquis » afficher l'image du croquis dans une fenêtre pop-up. On pourra également retrouver la filiation des différentes parcelles et naviguer dans l'historique des parcelles grâce au lien « filiation ».

La figure 4 montre l'image du formulaire de saisie qui a été réalisée pour que l'utilisateur puisse saisir lui-même les parcelles qu'il a créées. Ainsi il pourra, à l'aide de menus déroulants, saisir le département, la commune et la section dans laquelle il a effectué les travaux. Dans trois autres cases il pourra saisir les parcelles mères, parcelles filles et le numéro de croquis associé (Celui-ci devra être indiqué par les services du cadastre). Dans cette optique c'est le GE lui-même qui attribuera les numéros des parcelles filles. Le premier numéro disponible apparaîtra comme numéro par défaut dans la case parcelle fille.

Suite à la dématérialisation, afin d'assurer la pérennité du projet, le GE aura à charge de transmettre les fichiers au CDIF concerné, à la fois sous forme papier et sous forme informatique, à un format prédéfini.

8) Modalités d'accès au serveur

Le serveur devra avoir une organisation de type extranet. La liste de sécurité devra être gérée par un organisme qui n'a pas encore été nommé.

Il y aura 3 niveaux d'accès :

- o Consultation pure : GE
- o Mise à jour et ajouts : services du cadastre et GE
- o Administrateur : gestion des erreurs et résolution de problèmes.

9) Conclusion

Les travaux d'inventaire des documents et de ressaisie des états de section, qui constituaient la première étape, se sont révélés très longs et fastidieux, mais essentiels à la bonne tenue du projet. Par ailleurs l'état de conservation des documents, s'est avéré moins problématique que prévu, grâce à l'efficacité des techniques de scannage et aux différents traitements d'image applicables. La structuration et l'intégration des données dans la base, ont été simplifiées par le travail de toilettage réalisé sur les états de sections lors de la première phase ainsi que par le travail d'indexation de la deuxième phase.

Cette étude a donc essentiellement permis de proposer un processus efficace de dématérialisation et d'en définir les contours en définissant les acteurs qui devront être impliqués pour assurer sa pérennité. Toutefois des précisions seront nécessaires quant au rôle et aux obligations exactes de chaque acteur (GE et DGI notamment).

**LOCALISATION DANS LE DEPARTEMENT DES BOUCHES DU RHONE, AU SEIN DU BRGM
PACA, D'ETABLISSEMENTS ACCUEILLANT DES POPULATIONS SENSIBLES
(ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT ET SANITAIRES ET SOCIAUX), SITUES SUR OU A
PROXIMITE D'ANCIENS SITES INDUSTRIELS**

Société d'accueil : BRGM
PFE présenté par : Fanny RIBIERE
Directeurs du PFE : M. Gérard GONZALEZ
Correcteurs : M. Mathieu KOEHL et Mme Elise MEYER



1 Introduction

J'ai réalisé mon projet de fin d'études (PFE) au sein du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) ou, plus précisément, dans le Service Géologique Régional de la région Provence Alpes Côte d'Azur (SGR PACA).

Le BRGM est l'établissement français de référence dans le domaine des Sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol. L'un de ses domaines d'intervention peut être désigné par « Sols contaminés, déchets et procédés ».

Le BRGM est également un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) sous la tutelle des ministères de la Recherche, de l'Industrie et de l'Environnement. L'une de ses missions est donc naturellement d'appuyer les politiques publiques et de réaliser des expertises.

2 Contexte

Aujourd'hui, le poids de l'environnement dans la politique nationale est de plus en plus important. Cette politique reflète les préoccupations de la population et le projet sur lequel j'ai travaillé en est un bon exemple.

Dans le passé, les risques pour la santé dus à une éventuelle pollution du sol n'ayant pas forcément été évalués, des établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées ou encore crèches) ont pu être construits sur d'anciens sites industriels.

Jusqu'au milieu des années 90, cette situation est restée méconnue du public.

Mais en 1995, différents cas de cancers sont apparus chez les enfants d'une école maternelle du Val-de-Marne. Il se trouve que cette école avait été construite sur le site d'une ancienne usine Kodak ayant fermé en 1980. Le Préfet du Val-de-Marne a alors lancé une enquête en 1999 qui a conduit à la fermeture de l'école le 18 juin 2001.

Suite à cette affaire, le gouvernement a débuté un programme ayant pour objet le repérage des établissements recevant des populations sensibles (écoles, crèches...) et situés sur ou à proximité d'anciens sites industriels. En mai 2002, le ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD, dénomination de l'époque) a demandé une étude détaillée de la situation au BRGM.

3 Présentation du projet ETS

L'objectif du projet que l'on nomme « ETS » pour « Etablissements Sensibles » est de mettre en place une base de données ETS pouvant être exploitée dans un SIG afin de répertorier les ETS localisés sur ou à proximité d'anciens sites industriels.

Pour réaliser ce projet, le BRGM dispose de deux principales sources de données.

La première est composée des bases de données des ministères de l'Education Nationale (BCE, Base Centrale des Etablissements) et de la Santé (FINESS, Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux) qui fournissent une liste des « établissements sensibles ».

La seconde source de données est la base de données BASIAS¹ qui répertorie les anciens sites industriels et activités de service.

Le projet ETS, d'envergure nationale, se divise en deux étapes :

➤ **Etape 1** : Croisement des deux sources de données (base des établissements sensibles et base des anciens sites industriels).

Cette première phase a été réalisée par le BRGM au niveau national à l'aide d'un SIG (Système d'Information Géographique). Les données des deux bases ont d'abord été géocodées avant d'être croisées afin de sélectionner les « établissements sensibles » situés à proximité d'un ancien site industriel. Cette sélection est basée sur l'affectation de zones tampons (dépendant entre autre du type d'activité) autour des anciens sites industriels.

➤ **Etape 2** : Contrôles des résultats de la phase 1.

Cette deuxième phase sera réalisée dans chaque région au sein des SGR (Services Géologiques Régionaux) et devra permettre de sélectionner les établissements sensibles dont l'emprise se superpose totalement ou partiellement à un ancien site industriel. Cette phase se réalise à l'échelle parcellaire et comporte une étape de recherches complémentaires, notamment auprès des archives et du cadastre.

Mon travail au sein du SGR PACA a consisté à réaliser sur la commune de Marseille la phase 2 du projet ETS.

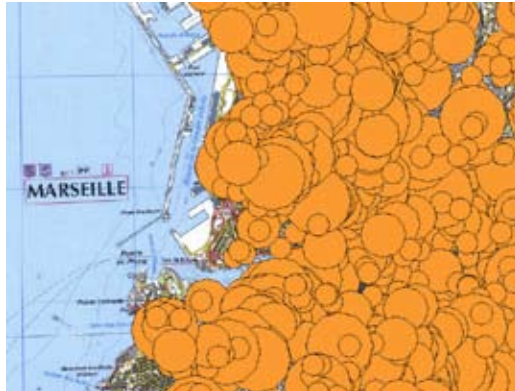
4 Problématique

En se basant sur les résultats de la région test de Haute Normandie, une méthodologie nationale composée de deux étapes a été mise au point.

La difficulté principale est d'adapter cette méthodologie aux particularités régionales. Dans le cas de Marseille, j'ai fait ressortir les trois difficultés ci-dessous :

- Pour localiser les sites BASIAS, la consultation des copies des plans consultés lors des IHR devaient permettre de les localiser. Dans le cas de la région PACA, ces archives sont absentes.
- Les zones tampons affectées aux anciens sites industriels se sont révélées inadaptées pour les sites de Marseille. Ce problème était d'ailleurs accentué par la forte densité des sites sur la zone urbaine de la commune.
L'image de la page suivante résume assez bien cette deuxième difficulté.

¹ Dès 1994, le BRGM a entrepris à la demande du MEDD la réalisation des Inventaires Historiques Régionaux (IHR). Ces inventaires ont permis de répertorier dans la Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services (BASIAS) les sites ayant été en activité du milieu du XIX^{ème} siècle aux années 1980-1990. Les données de BASIAS agréées par la Commission Nationale sur l'Informatique et les Libertés (CNIL) sont consultables en préfecture et en mairie, dans les SGR et sur Internet (<http://basias.brgm.fr>) où elles peuvent être téléchargées gratuitement.



Couverture des zones tampons sur le centre urbain de Marseille

- Les coordonnées calculées par géocodage pour les anciens sites industriels se sont avérées imparfaites.

5 Création d'un outil SIG, recherches aux archives et au cadastre

L'absence de plan dans les archives du SGR PACA, la forte concentration de sites industriels, les zones tampons inadaptées ainsi que les problèmes de géocodage sur la commune de Marseille m'ont poussée à réfléchir sur les outils et les méthodes de travail à mettre en place.

5.1 Création d'un outil SIG

L'objectif de mon outil SIG était de faciliter la localisation des sites BASIAS et des ETS afin de pouvoir effectuer les contrôles demandés par l'étape 2 du projet ETS. Dans cet outil, j'ai en particulier choisi d'importer les coordonnées des sites BASIAS calculées par l'Agence d'urbanisme de l'Agglomération Marseillaise (AGAM). Contrairement au projet ETS qui a utilisé un géocodage classique (géocodeur Universel Claritas et BD AdressMap d'InterCarto), l'AGAM a employé un géocodage basé sur le cadastre numérique vecteur de Marseille.

L'outil se composait de :

- couches « images » (le SCAN 25 de l'IGN, le Télé Atlas de Cartosphère, les orthophotos de la BD ORTHO de l'IGN et un plan industriel de Marseille de 1926 récupéré aux archives municipales de Marseille).
- couches « formes », de deux types :
 - couches « points » (les données de la base ETS, les données de BASIAS et les données de la communauté urbaine MPM (Marseille Provence Métropole).
 - couches « polygones » (les limites administratives de l'IGN (région, départements, communes et arrondissements le cas échéant) et les zones tampons des sites BASIAS).

5.2 Recherches aux archives départementales et au cadastre

Les vérifications effectuées à partir de l'outil SIG m'ont permis de sélectionner les sites BASIAS pour lesquels des recherches complémentaires aux archives et au cadastre étaient nécessaires. Notons que les recherches sur le cadastre ont également été réalisées aux archives départementales puisque les plans du cadastre Napoléonien et du cadastre rénové y ont été reversés.

Du fait de l'absence d'archives des IHR au SGR PACA, il fallait consulter un nombre important de dossiers aux archives départementales (plus de 700 au total).

Mon travail a donc consisté à mettre en place des procédures me permettant de réaliser cette tâche. J'ai procédé de la manière suivante :

- étude de l'organisation du service des archives et de son système de classement,
- étude des données sur les sites BASIAS disponible au SGR,
- analyse, choix de la méthode de travail à adopter,
- préparation des documents nécessaires pour les recherches,
- contact avec un responsable des archives,
- collaboration avec le personnel des archives.

6 Résultats

Le travail que j'ai dû restituer est composé de deux éléments :

Je devais d'abord synthétiser dans des fiches de contrôles toutes les données collectées au cours des différentes recherches, que ce soit sur l'outil SIG ou bien aux archives. Je devais en particulier indiquer dans ces fiches la catégorie des ETS. Ces catégories définissaient le niveau de proximité de l'établissement par rapport au site BASIAS le plus proche.

Je devais ensuite remettre la base de données ETS complétée. La saisie (et la consultation) de cette base de données se fait à travers différents formulaires créés sous Access. Cette application permet de consulter de façon simple la base de données. Les fiches de contrôles associées à chaque établissement peuvent par exemple être visualisées à travers cette application au moyen de liens hypertextes.

7 Conclusion

Sur la commune de Marseille, j'ai étudié au total 452 « établissements sensibles ». Je n'ai cependant créé que 303 fiches de contrôles puisque j'ai réuni certains établissements appartenant à des groupes scolaires identiques (une école primaire et une école maternelle par exemple). Sur ces 303 établissements, j'ai établi que 14 se trouvaient sur l'emprise d'un site BASIAS et que 24 étaient limitrophes.

Enfin, la réalisation du projet ETS en région PACA étant prévue sur deux années, au moins trois autres stagiaires me succéderont. Afin de pouvoir fournir un travail homogène sur la région PACA, j'ai réalisé un important travail rédactionnel afin de transmettre les méthodes de travail et les procédures que j'ai mises au point sur la commune de Marseille.

**ETUDES D'AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES
SUR LES PERIMETRES RIZICOLES DES VILLAGES
ENCADRES PAR ECOLES DU MONDE**

Société d'accueil : ECOLES DU MONDE
PFE présenté par : Baptiste BARBIER
Directeur du PFE : Claude TEISSON
Correcteurs : Jacques LEDIG
Emmanuel ALBY



Introduction

J'ai effectué mon Projet de Fin d'Etude au sein de l'ONG Ecoles Du Monde basée à Majunga sur la côte Nord-Ouest de Madagascar. Cette ONG, créée en 1997 est engagée auprès de huit villages dans les domaines de l'enseignement, l'accès à l'eau potable, la santé et l'hygiène, l'agriculture, l'enseignement professionnel et l'économie par des micro crédits.

Suite à un constat accablant sur le rendement des rizières dans trois villages, il a été décidé de mener des études topographiques afin d'effectuer des aménagements hydro-agricoles dans les villages, l'irrigation étant la principale cause du problème. La mission a pu être mise en place grâce à l'aide matérielle de Géomètres Sans Frontières et la participation de trois étudiants topographes malgaches. Les rôles qui m'ont été confiés sont les suivants :

- ✓ formation des trois élèves topographes
- ✓ analyse des périmètres rizicoles
- ✓ lever topographique des zones susceptibles de recevoir un aménagement
- ✓ étude de faisabilité des différents aménagements réalisables par les paysans
- ✓ présentation et bilan de l'étude auprès des villageois

La première partie de mon mémoire fait une présentation générale de Madagascar puis analyse brièvement la crise alimentaire mondiale afin de comprendre l'intérêt et la nécessité de mon PFE. La deuxième partie a pour objectif d'estimer les besoins en eau dans les rizières, élément indispensable pour concevoir des aménagements hydro-agricoles. Les trois dernières parties traitent successivement des différents bas-fonds rizicoles étudiés.

I. Présentation du contexte

Le secteur économique du riz est très présent à Madagascar bien qu'il participe peu à la croissance économique du pays. Le riz est en effet l'aliment de base des malgaches (consommation de 400 gr par jour et par personne en moyenne). Actuellement, Madagascar n'est pas autosuffisant en riz et importe environ 200 000 tonnes par an.

A l'échelle des villages d'Ecoles du Monde, la production insuffisante de riz a des conséquences dramatiques. Il apparaît une période de soudure (les quelques mois précédant la récolte) durant laquelle les paysans n'ont plus suffisamment de riz pour se nourrir. Les villageois s'endettent donc chaque année en achetant le riz lorsque son prix est très élevé et en revendant une partie de leur récolte à un prix dérisoire pour couvrir leurs dettes. La crise céréalière mondiale contribue à accentuer ce phénomène car le prix du riz importé ne cesse d'augmenter.

Au vu du contexte alimentaire mondial et de la situation économique du riz à Madagascar, une des solutions à l'échelle locale pour améliorer les conditions de vie des paysans est d'augmenter la production de riz dans les campagnes. Cela demande des aménagements hydro-agricoles que les villageois seuls ne peuvent réaliser, d'où la nécessité d'une étude topographique.

II. Estimation des besoins en eau des rizières

Après avoir étudié le climat de la région de Majunga, nous avons pu proposer un calendrier cultural basé sur deux récoltes, ce qui n'est pas le cas actuellement dans les villages. La deuxième étape consiste à calculer les besoins en eau du riz pour les différents mois de cultures. Ceux-ci comprennent l'évapotranspiration maximale (ET_{max}) et les besoins en eau pour le fonctionnement des rizières

L'évapotranspiration potentielle (ET_p) a été calculée par deux méthodes différentes afin de pouvoir comparer les résultats (Formule de Turc et Formule de Walker). Les résultats sont assez proches mais par sécurité nous utiliserons la formule de Turc qui donne une ET_p plus élevée.

Afin de calculer l'ET_{max}, il faut appliquer à l'ET_p calculée précédemment des coefficients culturaux (K_c) propres à la riziculture. Nous obtenons une ET_{max} variant de 124 à 180 mm/mois.

Les besoins en eau pour le fonctionnement des rizières prennent en compte la pépinière, la préparation du sol des casiers, la lame d'eau dans les rizières et les pertes par percolation et infiltrations. Ils varient de 200 à 420 mm/ mois.

En intégrant les précipitations mensuelles, nous connaissons l'apport en eau nécessaire pour une riziculture de qualité. Les mois durant la saison des pluies demandent évidemment moins d'eau que les mois de sécheresse pendant lesquels les besoins nets peuvent s'élever à 570 mm/mois.

III. Bas-fond de Maevarano

3.1. Analyse du périmètre rizicole

L'alimentation en eau des rizières de ce village a trois origines, il s'agit de trois cours d'eau qui se rejoignent dans la partie basse des rizières. Les villageois cultivent donc le riz autour de ces trois ruisseaux. Le problème rencontré sur l'ensemble du périmètre est simple : il y a un manque d'eau dû à l'absence de système d'irrigation efficace. Les villageois sont donc entièrement dépendants des aléas climatiques. Un retard dans la saison des pluies provoque souvent un décalage dans le repiquage et par conséquent un assèchement des rizières en fin de cycle.

Sur un des trois cours d'eau, un aménagement semble intéressant. Cette rivière débite de Novembre à Juillet et son lit s'est creusé quelques mètres en dessous du niveau des surfaces rizicultivables. Une option judicieuse serait d'effectuer un barrage de déviation puis d'en faire partir des canaux afin d'irriguer de nouvelles rizières.

3.2. Aménagements proposés

Des relevés pédologiques ont été effectués sur le terrain (une boucle de rivière en forme de cuvette) afin de vérifier que la qualité du sol était propice à la riziculture. D'après la topographie du terrain, l'irrigation devra se faire par deux canaux, un sur le flanc Ouest de la cuvette, l'autre sur le flanc Est. L'eau de ces canaux viendra d'un canal d'entrée commun qui se situera juste en amont du barrage. Le canal Ouest irriguera un périmètre de 6ha et le canal Est couvrira 4ha. Afin d'éviter les inondations durant les fortes pluies et pour permettre d'évacuer l'eau dans les rizières selon les besoins culturaux, un drain est nécessaire. Celui-ci sera situé au fond de la cuvette, en suivant la ligne de talweg. Il rejoindra un exutoire naturel qui se jette dans la rivière.

✓ Canaux d'irrigation :

Les canaux doivent être dimensionnés de manière à permettre l'irrigation de l'ensemble des rizières. Connaissant les besoins en eau mensuels, on peut déterminer le débit maximal que devra supporter chaque canal. En considérant les pertes d'eau dans les canaux en terre, ces débits sont égaux à 24 l/s pour le canal de départ, 14,3 l/s pour le canal Ouest et 10 l/s pour le canal Est.

Les caractéristiques des canaux ont ensuite été calculées afin de supporter les débits calculés précédemment. Nous avons ainsi déterminé la pente des flancs, la largeur de fond de canal, la profondeur d'eau, la largeur de crête des diguettes et la revanche des canaux.

✓ **Barrage de déviation :**

Afin d'assurer une hauteur d'eau suffisante dans les canaux le barrage établi sur la rivière aura une hauteur de 1.55m de haut. Il sera construit sur le principe suivant : des poteaux seront fixés durablement dans le sol et des batardeaux amovibles serviront à retenir l'eau et la dévier dans le canal d'entrée. Ils pourront ainsi être enlevés pendant les périodes de crues pour éviter d'endommager l'ouvrage.

Avant le début des travaux, il faudra réaliser des sondages pédologiques à l'emplacement du barrage afin de déterminer à quelle profondeur se trouve la surface dure et stable permettant l'ancrage des poteaux.

✓ **Drain :**

Il n'y a pas de lit de rivière dans ce bas-fond, cependant la présence d'un drain est nécessaire pour l'évacuation des pluies trop importantes et le contrôle de la culture (repiquage en décembre possible si on évite les inondations, assèchement avant les récoltes...).

Le calcul du dimensionnement de ce drain est assez complexe car il est délicat d'estimer le débit maximal à évacuer. Cependant, n'étant pas en présence d'un cours d'eau, il n'y a pas de débit de crue à prendre en compte et les volumes d'eau excédentaires à évacuer seront relativement faibles. Nous avons donc pris les données standard de dimensionnement des drains pour une tête de bas-fond sans lit mineur.

IV. Bas-fond d'Ambodiala

4.1. Analyse du périmètre rizicole

L'approvisionnement en eau de ce bas-fond est essentiellement assuré par un ruisseau dont l'eau coule jusqu'au mois d'Août. Le problème principal que rencontre ce bas-fond est le suivant : durant la saison des pluies, les rizières sont inondées par les débordements du ruisseau (la durée dépend des précipitations) ce qui provoque un retard dans le repiquage du riz. Ceci a pour effet de décaler le calendrier cultural et souvent le riz manque d'eau en fin de cycle.

De plus l'irrigation de la plus grande partie du bas-fond dépend entièrement de l'eau de pluie, aussi en cas d'insuffisance de pluie (3 années sur quatre) le rendement est très mauvais ou nul par endroits.

4.2. Aménagements proposés

✓ **Création d'un drain :**

La création d'un drain efficace dans ce bas-fond permettrait d'évacuer le débordement du ruisseau plus rapidement et les paysans pourraient repiquer le riz en décembre. Pour dimensionner correctement ce drain il faut inclure le débit de crue du ruisseau. Une étude hydrologique permettra d'estimer ce débit de crue et les dimensions du drain seront calculées grâce à la formule de Manning-Strickler.

✓ **Barrage de retenue :**

Suite aux visites préliminaires du bas-fond, deux endroits étaient envisagés pour le barrage. Le lever topographique de la zone nous a permis de choisir le site adéquat. Nous avons ensuite dimensionné le barrage (largeur de crête, pente des flancs et déversoir) de manière à retenir un volume d'eau de 10 000 m³. Une telle retenue permettra de compléter l'irrigation de 5 hectares de rizières durant le dernier mois de culture.

Nous avons également étudié la nécessité d'un noyau central d'argile, élément qui rendrait plus complexe la fabrication du barrage. Des études sur la consistance du sol permettront de trancher la question.

V. Village d'Antsangabe

Les rizières d'Antsangabe sont extrêmement morcelées et le réseau hydrographique les parcourant a des origines multiples et est très ramifié. Le principal problème vient du fait que les villageois sont totalement dépendants de la saison des pluies (de novembre à Mars). En effet, les systèmes d'irrigation existants sont extrêmement sommaires et suivent les aléas météorologiques. Un autre problème non négligeable vient d'une mauvaise pratique culturale.

Afin d'améliorer la riziculture dans ce village, de nombreuses choses seraient à mettre en place : créer des réservoirs d'eau supplémentaires afin de pourvoir les rizières en eau à la fin du cycle et éventuellement pour une deuxième récolte, drainer l'eau de pluie excédentaire tout en essayant de la conserver pour irriguer les rizières situées en aval, simplifier et réorganiser les réseaux de canaux d'irrigation et enfin améliorer les techniques culturales.

Cependant étant donnés les moyens et le temps qui nous étaient impartis, nous nous sommes contentés pour une première étude d'établir un plan d'ensemble des rizières et du réseau hydrographique d'Antsangabe. Nous avons également proposé des orientations d'aménagements qui devront être approfondies par les études suivantes :

- ✓ **Curage et nettoyage de la rivière** : le drainage d'une proportion importante des rizières serait ainsi plus efficace puisque la rivière est source d'irrigation de 66% du périmètre rizicole.
- ✓ **Création d'un barrage de retenue** : L'idée serait de construire un barrage sur un des lacs qui présente un site assez propice à la création d'un tel ouvrage car son exutoire est assez resserré et les berges remontent nettement de chaque côté.
- ✓ **Privilégier l'amélioration des pratiques culturales plutôt que l'augmentation du périmètre rizicole** : La surface des rizières d'Antsangabe est considérable (83 ha), mais les conditions de culture sont loin d'être satisfaisantes. Je pense donc qu'avant de commencer des travaux importants visant à agrandir le périmètre rizicole, une amélioration des pratiques culturales est nécessaire.

Conclusion

Rétrospectivement, nous nous sommes rendu compte qu'il était trop ambitieux de vouloir traiter l'ensemble des villages dans une même étude. Nous avons donc fait le choix de travailler sur deux bas-fonds principalement, celui d'Ambodiala et celui de Maevarano. Une approche globale a en revanche simplement été réalisée à Antsangabe, elle servira de base pour les études suivantes.

Cependant, il faut savoir que l'étude terminée ne débouchera pas forcément sur des travaux et des aménagements. En effet, l'étude en elle-même est la partie la plus simple à effectuer. Les vrais problèmes apparaissent ensuite, dans la réalisation des aménagements proposés.

Une des premières questions à laquelle il faudra répondre sera la propriété foncière. En effet, les aménagements hydro-agricoles favorisent certaines parcelles au détriment de certaines autres. Or l'ONG a pour but d'apporter son aide à l'ensemble des villageois et ne souhaite pas créer de tensions en privilégiant une partie de la population. Il conviendra donc de répartir équitablement les parcelles bénéficiant des aménagements entre l'ensemble des familles. Cette tâche sera d'autant plus difficile que les propriétés foncières sont très floues, les parcelles privées n'étant évidemment pas bornées.

Le deuxième problème qui va apparaître est la participation des villageois aux travaux. Il faut tout d'abord qu'ils soient tous convaincus de l'utilité du projet pour eux-mêmes, et on rejoint ici la question soulevée précédemment. Mais même en admettant qu'ils soient tous conscients des impacts positifs de tels travaux sur leurs conditions de vie, la participation effective et équitable des villageois n'est pas toujours évidente.

Nous sommes donc bien conscients que l'étude que nous avons réalisée ne représente que le début d'un long travail. Il faudra certainement d'autres missions durant plusieurs années pour aboutir à une réelle amélioration de la riziculture dans ces villages. Cependant étant donnée l'importance que pourrait avoir une hausse significative de la production de riz pour les paysans, ces études méritent amplement d'être menées.

NIVELLEMENT INDIRECT DE L'ANNEAU DE STOCKAGE DE L'ESRF

Société d'accueil : ESRF(European Synchrotron Radiation Facility)
PFE présenté par : **Benoît PASSOT**
Directeur du PFE : David MARTIN
Correcteurs : Jacques LEDIG
Gilbert FERHAT



1. Introduction

L'anneau de stockage de l'E.S.R.F. est une suite d'aimants et d'électroaimants guidant un faisceau d'électrons circulant à grande vitesse (environ 300000km.s^{-1}). Cette installation est utilisée quasiment en permanence et doit avoir une forme la plus régulière possible pour que le faisceau d'électrons perde le moins d'énergie et ait ainsi des caractéristiques optimales. Les opérations de maintenance sont programmées régulièrement. C'est pourquoi, le nivellement de l'anneau de stockage doit lui aussi être réalisé régulièrement afin de maintenir son alignement.



Figure 1 : photographie prise dans le tunnel de l'anneau de stockage

La précision exigée sur les altitudes est dans le cas de l'anneau de stockage inférieure au dixième de mm. C'est pourquoi, un nivellement direct de haute précision est réalisé avec des niveaux digitaux. Cette opération prend une journée de travail à six personnes et il est arrivé que ce nivellement ait des dysfonctionnements constatés par une fermeture dépassant 0.5mm. Ainsi, le recours à un nivellement indirect pourrait non seulement économiser du temps (les mesures seraient faites en même temps que la planimétrie) mais aussi remplacer ou contrôler le nivellement direct.

2. Le nivellement indirect

Le nivellement indirect repose pour chaque point sur la mesure de l'angle zénithal et de la distance inclinée. En effet, un seul réflecteur est utilisé pour une station. Ainsi connaître la hauteur de l'appareil et du réflecteur est inutile. La dénivelée s'obtient en multipliant la distance inclinée par le cosinus de l'angle zénithal.

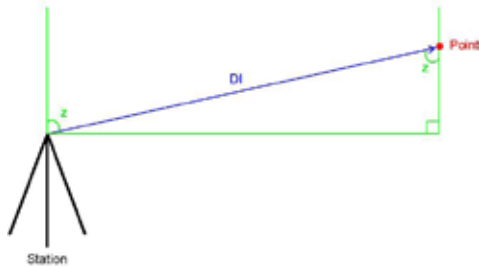


Figure 2 : schéma du principe du nivellement indirect (avec z l'angle zénithal et DI la distance inclinée)

La mesure des distances est bien maîtrisée. L'E.S.R.F. possède sa propre base d'étalonnage de distancemètre électronique. Ainsi, tous les distancemètres des tachéomètres sont étalonnés régulièrement. Chaque instrument est associé à un réflecteur de type coin de cube réduisant l'influence des défauts d'alignement du réflecteur. De plus, la mesure des distances n'est pas prépondérante dans le calcul de la dénivelée dans la configuration de l'E.S.R.F.. Une erreur de moins de 0.5mm n'affectera pas la dénivelée de plus de 0.05mm.

En revanche, la mesure de l'angle zénithal doit être presque parfaite. Pour la précision requise, une erreur de 1dmgon est déjà significative à une quarantaine de mètres. Nous nous situons donc à la limite de la précision de l'appareil annoncée à ± 1.5 dmgon. Ce qui oblige non seulement un réglage rigoureux de l'instrument mais aussi à connaître au mieux son comportement.

3. Erreurs instrumentales rencontrées

Concernant la mesure des angles verticaux, on rencontre principalement trois erreurs :

a) Erreur d'index du cercle vertical

Le zéro du cercle vertical doit se trouver exactement au zénith. Ce qui n'est jamais rigoureusement le cas. La théorie nous indique que cette erreur est constante. En pratique, le double retournement, qui met en évidence et corrige cette erreur, ne nous permettra pas de confirmer la théorie à la précision à laquelle nous travaillons. Les jeux des axes de rotation de la lunette et l'excentrement de l'axe de visée de celle-ci vont modifier la hauteur de la lunette lors de son double retournement. Ainsi, l'erreur d'index du cercle vertical n'est visiblement constante qu'à partir d'une certaine distance.

b) Erreur de zéro du compensateur

Le compensateur du Leica TDA5005 est en fait un capteur d'inclinaison suivant deux axes qui sert également de nivelle. Le premier dans la direction de la visée, le second perpendiculairement. Une rotation du pivot de l'appareil va permettre de fixer la valeur 0 comme on l'aurait fait pour une nivelle traditionnelle. Comme tout réglage, celui-ci est imparfait. Mais le principal problème concernant ce type de capteur est qu'il possède une dérive : il se dérègle en permanence légèrement.

c) Erreur d'origine de l'ATR (Automatic Target Recognition)

Régler l'origine du système ATR consiste à trouver le pixel de la grille du capteur CCD correspondant à l'axe optique du tachéomètre. Bref, faire coïncider les angles mesurés avec l'aide de l'ATR et ceux sans. Le système ATR est nettement moins performant à courte distance malgré l'utilisation d'un diaphragme pourtant recommandée par le constructeur. En pratique, le réglage n'est plus correct pour les visées de moins de 10m. Cette erreur sur les angles se répète toujours de la même manière et peut atteindre plusieurs mgon. Il existe même des pics associés à certaines distances.

Toutes ces erreurs se cumulent intégralement pour former une erreur que j'appelle collimation verticale du tachéomètre. L'erreur de zéro du compensateur la fait varier dans le temps, l'erreur d'origine de l'ATR la fait varier avec la distance des visées et l'erreur d'index du cercle vertical ajoute une constante en théorie. Pour obtenir le meilleur du tachéomètre, il faut donc corriger cette erreur. Il faudra d'abord corriger la partie variable en fonction de la distance puis celle en fonction du temps. Le plus simple serait d'appliquer le double retournement de la lunette pour chaque point. En effet, il permet de corriger les trois erreurs à la fois. Pour des raisons de temps, cette solution ne peut pas

être retenue à l'E.S.R.F.. On déterminera donc les corrections à appliquer aux observations obtenues dans une position de la lunette.

4. Utilisation du W.P.S. (Wire Positioning System)

Pour cela et pour quantifier d'autres erreurs qui ne sont pas nécessairement liées à l'instrument. J'ai eu recours au système W.P.S.. Il s'agit d'un fil de carbone tendu servant de référence altimétrique sur une cinquantaine de mètres associé à un ou des capteurs capacitifs. En fait, le fil de carbone, qui a la propriété d'être conducteur, va modifier selon sa position le diélectrique présent entre les deux armatures du capteur capacitif. Après étalonnage de ce dernier, il est ainsi possible de mesurer la position du fil par rapport au capteur.

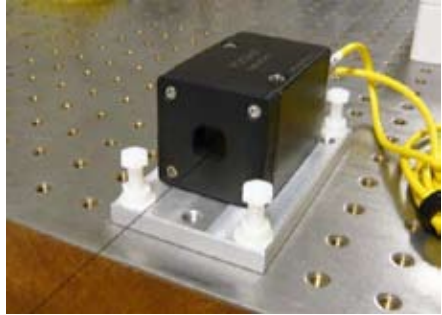


Figure 3 : capteur W.P.S. et le fil de carbone

La difficulté pour appliquer cette technique repose sur la modélisation altimétrique du fil. La mécanique nous indique que le fil, en appui sur deux points et soumis à son propre poids, prend la forme d'une chaînette. Pour utiliser ce résultat, il est nécessaire de connaître avec une précision extrême les caractéristiques du fil, ce qui est impossible. En pratique, le fil sous tension décrirait davantage une simple parabole qui est d'ailleurs très proche d'une chaînette. Ce qui nous conduit à le modéliser par une parabole avec un minimum de trois points. La mesure de ces points est en réalité très délicate et repose sur des mesures optiques. Pour faciliter et améliorer cette opération, j'ai proposé d'installer un réseau de capteurs capacitifs de type H.L.S. (Hydrostatic Levelling System). Il s'agit de pots dont on connaît les altitudes relatives grâce au principe des vases communicants. Ils fonctionnent automatiquement car ils utilisent des mesures capacitives. Ainsi, le nivellement optique du fil (cheminement) est remplacé par une station au niveau par point du fil mesuré. Une dernière possibilité pour obtenir la forme du fil consiste à mesurer la fréquence à laquelle oscille le fil. Cette méthode nécessite toujours de connaître l'altitude des deux points d'appui mais permet d'obtenir très rapidement la flèche du fil en utilisant un aimant et un analyseur de spectre. Malheureusement, les résultats ne sont pas suffisamment bons car le fil oscille à basse fréquence (moins de 10Hz). On parvient néanmoins à l'aide des pots H.L.S. à déterminer l'altitude du fil avec une précision de $\pm 0.03\text{mm}$.

Une fois la forme du fil connue, il est possible d'obtenir un profil en long du banc de la base d'étalonnage à l'aide de plusieurs capteurs W.P.S.. C'est-à-dire connaître les variations d'altitude du réflecteur lorsque le chariot du banc d'étalonnage se déplace. La calibration des dénivelées observées par les tachéomètres se fera à partir des écarts obtenus entre le profil en long mesuré par un tachéomètre et celui de référence (W.P.S.).

Les différentes expérimentations mettent bien en évidence l'importance de l'application du double retournement de la lunette. Après cette correction, le tachéomètre ne présente pas de défaut majeur. En revanche, à partir d'une trentaine de mètres, la réfraction verticale (ou un autre phénomène méconnu) entre en jeu de manière non négligeable. En ajoutant 10m à la longueur des visées à partir de 35m, les dénivelées seront fausses d'une valeur comprise entre 0.5 et 1.0mm.

5. Corrections

Les corrections applicables aux dénivelées brutes observées à l'E.S.R.F. se décomposent en quatre corrections successives :

a) Correction par modélisation du double retournement de la lunette

Le double retournement met en évidence le cumul des trois erreurs de réglage de l'appareil concernant l'angle zénithal et formant une collimation verticale. Ainsi, en modélisant cette erreur, on va pouvoir transformer des observations dans une position de la lunette en pseudo-observations en deux positions de la lunette à la manière des corrections *soft*. Par mesure de sécurité, il est préférable d'effectuer cette modélisation dans les conditions les plus proches de celles rencontrées. Cette mesure est facile à prendre : il suffira de respecter approximativement les distances horizontales et les dénivelées rencontrées. De plus, elle simplifie l'application des corrections puisqu'aucune interpolation

ou autre calcul ne sont nécessaires. A chaque distance, pour un appareil, correspond une valeur de correction de l'angle zénithal.

b) Correction de courbure terrestre

La correction de ce systématisme est simple. La correction appliquée traditionnellement est parfaitement suffisante :

$$C_{\text{courbure}} \approx \frac{D^2}{2R} \tag{Equation 1}$$

avec D la distance horizontale (m) et R le rayon de la Terre (m).
La correction atteint près de 0.15mm pour les visées les plus longues (42.96m).

c) Correction de réfraction atmosphérique verticale

La correction de ce systématisme appliquée traditionnellement est la suivante :

$$C_{\text{réfraction}} = -\frac{kD^2}{2R} \tag{Equation 2}$$

avec k le coefficient moyen de réfraction verticale, D la distance horizontale (m) et R le rayon de la Terre (m).

Pour les distances rencontrées dans l'anneau de stockage, cette correction est négligeable alors que la réfraction que l'on rencontre en pratique est bien visible. Le W.P.S. permet de corriger la réfraction mais dans les conditions de la base d'étalonnage. Or les conditions atmosphériques de l'anneau de stockage font évoluer rapidement la valeur de l'effet de la réfraction. A défaut d'une modélisation de qualité de ce phénomène, nous sommes contraints de limiter la longueur des visées.

d) Correction de collimation verticale résiduelle

Enfin, une partie de la collimation est variable à cause du comportement du compensateur. Nous allons donc corriger ce phénomène en même temps que les erreurs résiduelles de réglage. Pour cela, il est possible et rigoureusement juste d'appliquer la même technique que pour le réglage des niveaux. C'est-à-dire calculer la valeur de la collimation verticale à partir d'un couple de points mesurés depuis deux stations dont une au moins ne respecte pas l'équidistance (cf. méthode de Nähbauer, Förstner...). Pour tenir compte de la variation dans le temps, on calculera une valeur moyenne de la collimation verticale résiduelle pendant un intervalle de temps donné.

6. Résultats et conclusion

Après élimination des quelques observations fausses et application des différentes corrections, le calcul par la méthode des intermédiaires (principe des moindres carrés) va nous fournir les résidus sur les observations, les altitudes des points et la précision de ces altitudes. On peut à ce moment appliquer une pondération. En pratique son effet est très limité car les observations qui ont les poids les plus faibles sont utilisées, à cause de la configuration de l'anneau de stockage, pour boucler le nivellement sur lui-même.

En comparant les altitudes obtenues par nivellement direct et indirect, on constate que les écarts sont inférieurs à 0.2mm. Cependant, comme ces nivellements sont effectués à plusieurs jours d'intervalle, certaines zones ont pu bouger avec le sol. Ainsi, il est possible de constater parfois des écarts plus importants dans certaines zones. Mais dans l'ensemble, les précautions prises permettent de rendre cohérent les nivellements direct et indirect :

Ecarts absolus (mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
Fréquence cumulée (%)	12.0	26.0	38.0	55.3	74.0	82.3	92.0	96.3	98.3	99.0	99.3	99.7

Tableau 1 : distribution des écarts absolus entre nivellement direct et indirect (après corrections)

La précision des altitudes obtenues est comprise entre ±0.04mm et ±0.06mm (sans correction, la précision serait en moyenne de ±0.15mm). La qualité des résultats est donc très proche de celle obtenue par nivellement direct (emq=±0.02mm). Le nivellement indirect ne requiert pas plus de précaution qu'un nivellement direct (appareil bien réglé, calage soigné, limiter la longueur des visées) mais est bien plus automatisé. Le calcul du nivellement indirect est relativement rapide. Il prend entre 1/2heure et une heure. L'essentiel du temps est en fait consacré à la détection des observations fausses (environ une dizaine). Ainsi, le nivellement indirect est une alternative intéressante pour de nombreux problèmes de nivellement.

Développement d'un logiciel de télésurveillance vidéoasservie

Société d'accueil : Hyp-Arc
PFE présenté par : Gaël VERDUN
Directeur de PFE : M. Philippe SCHOLTES
Correcteurs : Mme Tania LANDES
M. Pierre GRUSSENMEYER



1. Présentation de l'étude

Hyp-Arc est une société anonyme de Géomètres Experts qui propose ses services dans le domaine du foncier et des travaux spéciaux. Pour mener à bien ses chantiers, M. Scholtès a développé un réseau d'entreprises avec lesquelles il travaille régulièrement. Son partenaire privilégié pour toute la partie instrumentation d'ouvrages est la société Dynaopt dans laquelle a été réalisée l'étude.

L'apparition des tachéomètres robotisés dans les années 1990 a permis l'automatisation de leur utilisation dans des systèmes d'auscultation. De nombreuses entreprises ont alors décidé de se munir de tels systèmes soit en achetant des logiciels comme Géomos de Leica soit en développant un système personnel comme par exemple le logiciel Cyclops de Soldata créé en partenariat avec l'IGN.

La télésurveillance consiste à centraliser les observations afin de les traiter automatiquement et de déclencher des alarmes si des mouvements anormaux sont constatés. La chaîne de traitements est décrite dans le schéma suivant :



Figure 1 : Principe de la télésurveillance

Il y a deux ans, Hyp-Arc et Dynaopt ont décidé de créer un programme d'auscultation qu'ils ont nommé Hathor. Cependant, le développement a été effectué uniquement au sein de Dynaopt qui ne disposait pas de réelles connaissances du monde de la topographie. L'appareil était supposé fixe pendant toute la durée de l'auscultation qui pouvait durer plusieurs mois, les mesures étaient prises en double retournement immédiat et aucun contrôle sur les lectures angulaires n'était effectué.

Le sujet de l'étude consistait donc à apporter un aspect topographique à la prise de mesure et à intégrer des modes de calcul des coordonnées des points permettant d'assurer la pérennité et la fiabilité des résultats.

2. La méthode de mesurage mise en place

Pendant la première partie du projet, tout le fonctionnement du logiciel a été transcrit sous la forme d'un organigramme. Cette étape a permis de faire la synthèse des besoins des différents membres de l'équipe et de faciliter la communication entre les deux entreprises. Le cycle de mesure choisi se compose de plusieurs étapes :

- ✓ Choix du type de calcul : Si l'utilisateur a indiqué au logiciel que l'appareil pouvait se déplacer au début de l'auscultation, alors Hathor effectue un contrôle de la nivelle sphérique du tachéomètre pour voir s'il se trouve dans les capacités du compensateur.
- ✓ Calcul de la correction atmosphérique : Le logiciel mesure la température extérieure ainsi que la pression atmosphérique (ce second capteur reste à installer) pour calculer la correction atmosphérique des mesures de distance.
- ✓ Mesurage des références : Après avoir chargé les orientations vers les références, le logiciel effectue un tour d'horizon sur ces prismes. Ce mesurage est supervisé par des contrôles du nombre de références mesurées, de la fermeture de chaque séquence et de la collimation horizontale. D'autres contrôles sont effectués pour gérer les différents aléas de la vie d'un chantier comme par exemple des prismes endommagés, volés ou déplacés de manière intentionnelle. En cas de problème, un message de maintenance peut être envoyé au bureau par SMS ou par Email.
- ✓ Calcul de positionnement de l'appareil : Selon la configuration du logiciel et le résultat du contrôle initial de la nivelle sphérique, trois types de calcul sont possibles :
 - Calcul de G_{moyen} : Si l'appareil est mis en place de manière à ce qu'il reste fixe pendant toute la durée de l'auscultation, le logiciel lui confère des coordonnées arbitraires constantes et recalcule l'orientation du zéro du limbe à chaque cycle.
 - Calcul de station libre 3D : Si l'appareil peut se déplacer et que la nivelle est correctement calée, le logiciel calcule ses coordonnées X, Y, Z et l'orientation du zéro du limbe.
 - Calcul de transformation de coordonnées : Si l'appareil peut se déplacer et que la nivelle n'est pas correctement calée, le logiciel calcule les trois translations et les trois rotations nécessaires pour définir son mouvement depuis le début du chantier. Il sera ainsi possible d'assurer le suivi de l'auscultation même avec un appareil incliné par rapport à l'horizontale.

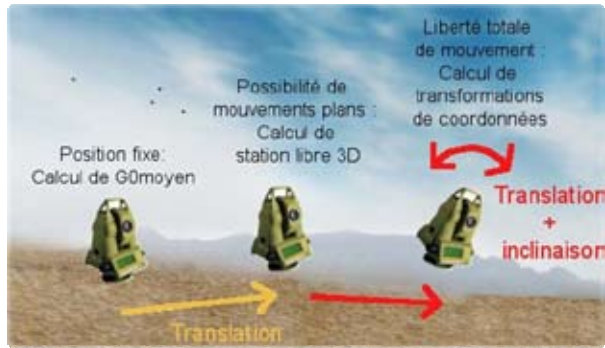


Figure 2 : Les trois types de calcul envisagés

- ✓ Mesurage des points à ausculter : Après avoir chargé les orientations vers les points à ausculter, le logiciel les mesure les uns à la suite des autres en double retournement immédiat. Ce mesurage est aussi supervisé par des contrôles de marche automatiques afin de s'assurer de la qualité des observations réalisées et de la pérennité du système. Les problèmes rencontrés peuvent être transmis au bureau par SMS ou Email.
- ✓ Calcul des coordonnées des points à ausculter : Ces coordonnées sont déterminées en utilisant les résultats des étapes précédentes. Si toutes les étapes ont été franchies avec succès, les positions des prismes sont actualisées afin d'assurer la pérennité du système.

La durée du PFE n'a pas permis le développement des deux étapes suivantes mais le logiciel créé est conçu pour permettre leur intégration dans le futur.

- ✓ Traitements : Le principe de cette étape consiste à comparer les coordonnées calculées précédemment aux coordonnées initiales ainsi qu'aux coordonnées des cycles précédents pour vérifier l'absence de mouvements dangereux pour la structure étudiée.
- ✓ Alarmes : Si les déplacements constatés dépassent les seuils définis en début d'auscultation, le logiciel prévient les personnes concernées. Plusieurs seuils peuvent être créés selon l'ampleur du risque : un seuil de vigilance, un seuil d'alerte et un seuil d'alarme.

3. Programmation

Pour le moment, la seule marque d'instruments compatible avec Hathor est Leica. En effet, seul ce constructeur fournit un environnement de programmation très complet : le langage Géocom. Cependant, dans l'espoir d'une ouverture du langage de Trimble, le programme dispose d'une grande modularité qui permettra son adaptation sur d'autres types d'appareils par modification de moins de 20% du code.

La programmation du logiciel a été effectuée sur deux supports informatiques :

- Sur PC en utilisant le langage Visual Basic ;

- Sur centrale d'acquisition CR800 de Campbell Scientific.



Figure 3 : Centrale d'acquisition CR800

Les avantages de la centrale d'acquisition sont nombreux (taille réduite, pas d'échauffement, sécurité accrue, résistance aux conditions extérieures extrêmes, facilité de communication avec l'extérieur via internet ou GSM) mais sa faible puissance de calcul actuelle oblige pour le moment l'installation d'une version allégée d'Hathor.

En plus d'Hathor, un ensemble d'outils d'aide à la préparation des chantiers a été développé. Ceux-ci permettent d'estimer la précision des résultats que l'on peut atteindre selon la configuration du chantier.

4. Validation du logiciel

Une phase de validation du logiciel a tout d'abord permis de constater le respect du cahier des charges initial.

Ensuite, ce qui nous a intéressé n'était pas de quantifier exactement la précision du système. Le but est de disposer d'outils permettant de savoir si un déplacement calculé correspond au déplacement réel des points ou aux variations normales des résultats, ce que l'on nomme le bruit de fond.

Les outils se sont révélés efficaces et à titre d'exemple on peut annoncer que l'on obtient un bruit de fond sur chaque coordonnée inférieur au demi-millimètre à 40 mètres quelque soit le type de calcul envisagé.

Ce résultat correspond bien entendu à celui obtenu en condition de test avec une disposition favorable des références et peu de perturbations extérieures. Des tests complémentaires restent à mener pour juger de l'exactitude du système dans des conditions réelles.

5. Conclusion

Cette étude a permis à Hyp-Arc et Dynaopt d'obtenir un système de prise de mesure performant, fiable et transparent. Il ne reste plus qu'à installer les modules de communications extérieures sur la version PC d'Hathor pour bénéficier d'un système de télésurveillance adaptable dans toutes les situations de chantier, de la surveillance classique de remblai à celle d'un glissement de terrain qui pourrait entraîner un déplacement du tachéomètre.

QUALIFICATION DE MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN LIDAR POUR L'EROSION : DE LA FORME D'ONDE A LA GRILLE REGULIERE.

APPLICATION AUX BADLANDS DE DRAIX, BASSINS VERSANTS
EXPERIMENTAUX DU CEMAGREF

Société d'accueil : Cemagref Montpellier
PFE présenté par : Flory Panissod
Directeur du PFE : Jean Stéphane Bailly
Correcteurs : Tania Landes et Pierre Grussenmeyer



1. Contexte de l'étude et objectifs

L'hydrologie, l'étude de l'érosion et des phénomènes affectant les bassins versants de montagne sont des domaines dans lesquels la connaissance de la topographie de la Terre est importante. Elle peut se traduire numériquement par l'élaboration de modèles numériques de terrain (MNT). Le GIS Draix (groupement d'intérêt scientifique de la commune de Draix, Alpes de Haute Provence), qui travaille sur ces thématiques, cherche à acquérir un MNT répondant à leurs attentes : suivre l'ablation de pentes due à l'érosion, observer l'apparition ou la disparition de ravines et griffures...

L'acquisition de ces modèles se fait notamment par mesure LiDAR (Light Detection And Ranging). De l'impulsion laser à la production du MNT, les étapes sont nombreuses et la qualité se dégrade. L'étude s'insère donc dans un second projet : EXFOLIO (étude expérimentale des formes d'onde lidar pour l'observation des infrastructures et de l'environnement), projet qui a pour objectif d'acquérir des connaissances de base sur la physique du signal LiDAR et de participer à la spécification de futurs systèmes spatiaux. Alors que les attentes du GIS Draix quant à cette étude sont de qualifier les MNT déjà à leur disposition et de les valider ou de proposer des améliorations, EXFOLIO se place en amont et veut explorer les possibilités qu'offre l'étude du signal pour l'élaboration de MNT. Ainsi l'objectif ultime est de qualifier et de proposer des solutions pour améliorer les modèles depuis la forme de l'onde jusqu'à la grille régulière.

Pour répondre à cet objectif, suite à l'état de l'art sur le LiDAR et sur la qualification de MNT et une partie sur les données à notre disposition, deux grandes parties ressortent :

- * L'analyse de la forme de l'onde retour et des informations contenues, la littérature permet de conjecturer que certaines caractéristiques du sol influencent la forme de l'écho retour du laser.
- * L'évaluation de deux MNT existants afin de voir leurs particularités et leurs défauts pour proposer des solutions. La qualification se fera traditionnellement par des comparaisons d'altitudes avec des références mais aussi par leur qualité de restitution de pentes, de crêtes et de thalwegs.

2. L'état de l'art : du LiDAR au MNT

Le LiDAR est un système de télédétection actif qui utilise le laser, aéroporté, comme vecteur de mesure. Une impulsion laser est envoyée de l'avion, elle est retournée par toutes les cibles qu'elle rencontre sur son passage, si ces cibles ne l'arrêtent pas complètement. Un miroir rotatif permet au laser de balayer et de scanner la zone survolée (figure 1). Un système GPS (Global Positioning System) et une centrale inertielle (mesure d'angles de navigation) enregistrent la position de l'avion. Le système de télémétrie est l'enregistrement du temps de parcours entre l'émission d'une impulsion laser et la réception d'un écho due à l'interception du laser par une cible. Connaissant la vitesse de la lumière dans l'air, ce temps est transformé en distance. La position de l'avion et sa distance avec une cible permettent de calculer les positions de la cible. L'impulsion émise a la forme d'une courbe de Gauss, l'écho retour a une forme dépendante de paramètres internes (forme de l'impulsion émise, système d'amplification, système d'échantillonnage), et de paramètres externes (caractéristiques de la cible, état atmosphérique), à gauche de la figure 1.

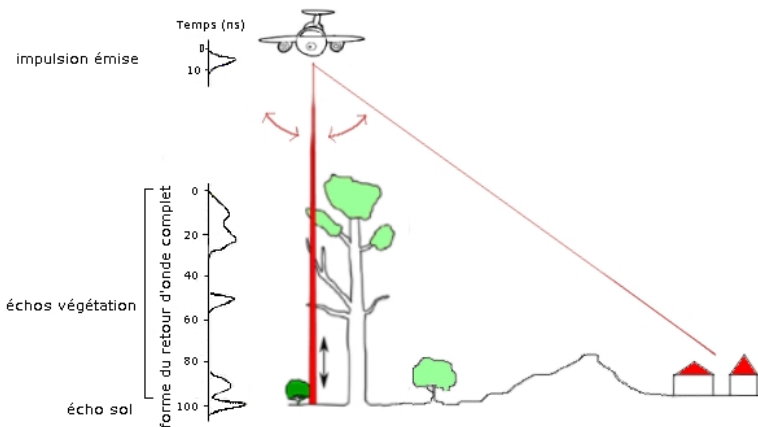


Figure 1. Principe du scannage par LiDAR aéroporté et forme de l'onde retour, adaptation de la figure de Mallet et al, 2008.

Le résultat d'un scan LiDAR est un nuage de points. Ces points correspondent au retour d'un écho et donc d'une cible au sol. Certains de ces points sont des échos issus de l'interception du laser par la végétation, or les MNT décrivent la surface hors végétation et infrastructure. Une étape vers la création d'un MNT consiste donc à filtrer les points issus d'une réflexion sur végétation. Le filtrage utilisé, pour créer les deux MNT fournis, travaille sur un réseau de triangles irréguliers. Construits à partir de points bas (supposés au sol), ces triangles sont ainsi supposés ne comporter que des points au sol. Les autres points du nuage, au dessus des triangles, sont ensuite filtrés selon des paramètres de distances maximales, de pentes maximales et de variabilité de pente qui permettent de juger le type de point (sol ou végétation). Ce sont ces paramètres qui différencient les deux MNT. Enfin, la dernière étape est le passage du réseau de triangles irréguliers à une grille régulière, ici, pour les deux MNT, par interpolation linéaire.

Une fois les MNT construits, la précision avec laquelle ils décrivent le sol est importante. La littérature donne communément une précision de 40 cm en planimétrie et de 15 cm en altimétrie pour des zones homogènes, sans trop de variations. Dans des études concrètes, il n'est pas rare de voir la précision altimétrique se dégrader jusqu'à 1m dans des zones fortement accidentées.

3. Les données et le site d'étude (photo ci-contre)

Les caractéristiques des bassins versants de Draix sont

- * Un sol nu sur 66% de la surface où la marne noire affleure
- * Un relief très accidenté et une pente en moyenne de 33°
- * Une érosion très forte : ablation des pentes de 5.5cm en moyenne par an.



Les deux MNT de Draix, ont été traités par Sintegra en avril 2007, le deuxième MNT, MNT2 se différencie du premier, MNT1, par des paramètres de filtrage moins restrictifs. Des campagnes de mesures ont permis d'acquérir 2821 points au GPS ou tachéomètre, 13 transects par GPS et un MNT au laser terrestre pour la validation des MNT, le laser terrestre étant plus précis. Une mosaïque (assemblage de photographies aériennes), réalisée simultanément au vol LiDAR, a permis d'obtenir une référence d'emplacement de crêtes et de thalwegs par photo-interprétation. Une orthophoto de l'IGN a permis de créer un masque de végétation, par classification non supervisée. Les nuages de points bruts issus du LiDAR ont été traités afin d'obtenir un fichier de points par bande survolée par l'avion. Pour chaque point on a : la position de l'avion à l'instant où il a été scanné, les angles de navigation de l'avion à cet instant, l'angle de scan (angle du miroir rotatif), le numéro de l'impulsion et le numéro de l'écho pour cette impulsion et les paramètres de la courbe ajustée sur l'écho retour (écart-type et amplitude).

4. Expérimentations et résultats

Premièrement, dans le but d'établir des propositions pour améliorer les MNT, nous avons tout d'abord voulu explorer ce que la forme d'onde retour nous indiquait sur les caractéristiques de la cible interceptée. D'après la littérature, les caractéristiques de la cible influant la forme d'onde retour sont : son angle solide, sa réflectance (capacité à réfléchir l'onde reçue vers le capteur du LiDAR) et sa surface. Supposons la rugosité, et donc la réflectance, constante pour toutes les cibles en se plaçant en sol nu, ainsi le seul paramètre influant la forme d'onde est la surface de la cible. Celle-ci dépend de l'incidence du laser sous laquelle la cible a été scannée. En calculant l'angle β entre la normale à la surface et le laser et en multipliant par une constante (la divergence du rayon laser), nous obtenons la surface de la cible. De ce fait, nous avons regardé l'évolution de la forme d'onde en fonction de cet angle β . La zone privilégiée pour cette étude est une crête parallèle à l'axe de vol telle que figurée sur la figure 2.

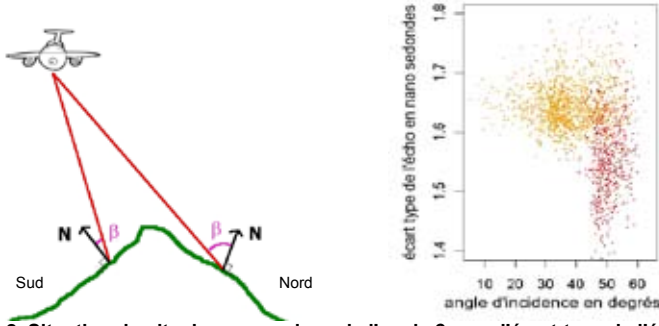


Figure 2. Situation du site de comparaison de l'angle β avec l'écart-type de l'écho retour (a) et ses résultats (b). En orange : points de la face sud, en rouge : ceux de la face nord

Les constats sont que :

- * L'écart-type est de l'ordre de grandeur de l'impulsion émise sur les pentes au Sud (laser normal).
- * La gamme de valeurs des écarts types sur les pentes Nord est plus étendue, mais la moyenne est inférieure à l'écart-type de l'impulsion émise (laser tangent).

Nos résultats locaux sont alors contre intuitifs puisque nous trouvons le contraire. Une analyse en composante principale permet de voir lequel des facteurs entre l'amplitude, la pente, l'exposition ou l'angle β influe le plus sur l'écart-type. Seule la corrélation entre l'écart-type et l'amplitude, effectivement liés mathématiquement, est décelée. La rugosité n'est certainement pas constante.

La seconde partie vise à donner des conseils en vu de la création d'un nouveau MNT par le biais de la compréhension et de la confrontation des deux MNT de Sintegra. La qualification est dans un premier temps altimétrique. On compare les altitudes des références à l'altitude de leur projetée sur les MNT. Ces erreurs altimétriques sont analysées de plusieurs manières :

- * En fonction de la densité de points : le MNT2 a 10% de points en plus mais cette augmentation permet t'elle d'obtenir plus d'informations ?
- * En fonction de la présence ou non de végétation : les deux MNT sont mieux définis sur les zones végétalisées.
- * En fonction de la pente : la précision diminue lorsque la pente augmente dans les zones de crêtes et versants.
- * En fonction de la morphologie : l'erreur est spatialement corrélée, le MNT2 est toujours plus précis selon les morphologies, le filtrage sous-estime les altitudes d'une dizaine de centimètres. La rasterisation amoindrit cet effet au niveau des thalwegs et l'accentue au niveau des crêtes.

On compare ensuite la capacité des MNT à restituer les pentes. Là aussi le MNT2 apporte la plus grande qualité de restitution. Cependant, il est remarquable que les pentes puissent être différentes de la référence d'une dizaine de degrés.

Enfin, la comparaison de la restitution des crêtes et thalwegs est aussi en faveur du MNT2 avec 60% du linéaire restitué contre 49% pour le MNT1.

5. Conclusion

Cette étude visait dans un premier temps à valider l'utilisation des MNT déjà existants pour les besoins du GIS Draix. Le MNT2 est plus précis mais n'est cependant pas une solution à tous les problèmes. Les conclusions de l'étude du filtrage sont que le filtre :

- * est bien adapté aux zones sous végétation.
- * sous-estime les MNT par rapport à la surface naturelle d'une dizaine de centimètres. Cependant, la densité de points, plus importante dans le MNT2, permet d'augmenter la précision globale (moyenne des erreurs de 10cm au lieu de 14cm pour le MNT1 et l'écart-type des erreurs de 20cm au lieu de 28cm pour le MNT1).
- * a aussi des effets néfastes, lorsque les paramètres sont moins restrictifs (MNT2), lors de ruptures de pente franches sur un versant. Le filtre itératif qui classe un point bas comme du sol, alors que ce point est une valeur aberrante due à la mesure LiDAR, a tendance à classer un grand nombre d'anomalies comme point sol.
- * ne permet pas de valider les MNT2 pour un suivi de l'érosion. Il faudrait deux MNT espacés d'une quarantaine d'années pour voir l'effet de l'érosion, en supposant l'ablation homogène sur les pentes
- * permet de mieux restituer les pentes, les crêtes et les thalwegs avec les paramètres du MNT2

La restitution de ces morphologies remarquables et des pentes est importante en hydrologie car elle conditionne la qualité de l'extraction du réseau, des calculs d'accumulation et de direction de flux. Le MNT2 permet de répondre à certains besoins mais son filtrage n'est certainement pas optimisé. Voici quelques conseils pour l'élaboration d'un MNT plus rigoureux.

Le filtre, élaboré pour la végétation et les infrastructures, a tendance à rabaisser les MNT à cause de son initialisation par points bas. Lorsque l'on regarde le nuage de points bruts, le nuage de points filtrés et les références le long d'un transect (figure 3), on remarque que le MNT est effectivement construit à partir de points correspondant à du bruit, mais aussi que les points de référence se trouvent « au milieu » du nuage de points bruts LiDAR.

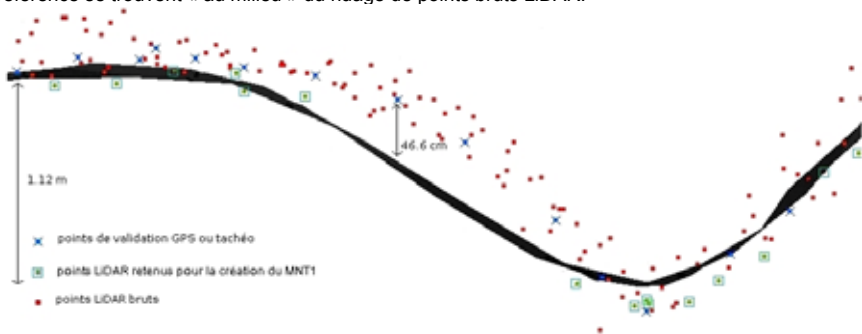


Figure 3. Distribution des points LiDAR bruts (rouges) et filtrés (verts) pour le MNT1 autour de points de référence (bleus) le long d'un transect. En noir, extrait du raster construit sur la base des points filtrés (verts)

Nous pouvons alors imaginer un filtrage mixte : filtrage par triangles irréguliers pour les zones végétalisées et filtre de tendance (médian par exemple) pour le sol nu. Les lignes de ruptures de pentes ou caractéristiques peuvent être digitalisées afin d'adapter au mieux le filtre autour de ces zones particulières.

En amont du filtrage, les données sur la forme du retour d'onde pourraient nous fournir des indications pour améliorer les MNT. L'hypothèse de rugosité homogène sur tout le site d'étude est grossière. La marnage noire pourrait être à l'origine de réflexion spéculaire, c'est-à-dire non diffuse, ainsi l'énergie est moins restituée au capteur pour de forts angles β . L'étude pourrait être continuée en considérant la rugosité. Un rapport entre les paramètres de la courbe et ceux de la cible permettrait de connaître plus en détail cette cible et ainsi d'adapter au mieux les systèmes de filtrage, comme c'est déjà le cas dans certaines méthodes de filtrage pour éliminer la végétation par seuillage de l'amplitude. La connaissance de la pente locale de chaque cible permettrait d'obtenir la tangente locale que le filtre devra respecter.

MISE EN FORME ET COMPLEMENT DE MESURES TOPO- BATHYMETRIQUES PREALABLES A UNE MODELISATION HYDRODYNAMIQUE ET HYDROSEDIMENTAIRE LE LONG DE L'ILE DE NOIRMOUTIER

Société d'accueil : GEOLITTOMER (CNRS)



PFE présenté par : **Kévin LOLIVIER**

Directeur du PFE : Marc ROBIN

Correcteurs : M. FERHAT et M. GRUSSENMEYER



1. Contexte de l'étude

Les changements climatiques ainsi que la hausse du niveau des mers obligent les scientifiques à comprendre les phénomènes engendrés et tenter d'évaluer leurs impacts. De nombreux modèles ont déjà été proposés. Cependant, la vulnérabilité du système côtier français n'a pas été totalement définie. Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le projet international VULSACO. Mise en évidence par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), la vulnérabilité des côtes sur 30 ans va donc être principalement définie par le CNRS. Quatre sites d'études en France ont été choisis et ce PFE, en partenariat avec GEOLITTOMER et l'Observatoire du Littoral, s'est réalisé sur l'île de Noirmoutier. Les trois autres sites étant Dunkerque, Sète à Marseillan et le Truc Vert dans les Landes.

Les indices de vulnérabilité sont déterminés selon une méthode particulière faisant intervenir divers modèles. C'est-à-dire que les chercheurs vont partir d'un état zéro et vont ensuite appliquer des modèles de houles, de vents, de marées et de courants afin d'observer l'évolution de la côte jusqu'en 2030. Cette observation est faite sur le trait de côte, défini comme étant la limite entre les systèmes marin et terrien. Des indices tels que la fréquentation humaine, la hausse du niveau de la mer seront donc déduits de ces recherches. Remarquons que ces dernières serviront à de futures décisions à prendre.

La détermination de l'état zéro est en fait la modélisation topographique du site d'étude. Ce dernier est composé de trois parties : la dune, la plage et l'avant-côte. La dune et la plage font l'objet de mesures topographiques terrestres, tandis que l'avant-côte requiert des mesures bathymétriques. A l'issue des mesures, une grille régulière va être plaquée sur les données en utilisant un interpolateur particulier afin de générer le modèle topographique. Les interpolateurs les plus utilisés dans le domaine de la géographie sont le linéaire et le krigeage.

Les objectifs de ce projet de fin d'études ont donc été de synthétiser les données existantes et de fournir l'état zéro pour la réalisation des modélisations. C'est à dire qu'il a fallu organiser et réaliser les campagnes topo-bathymétriques. En parallèle à ces activités, des recherches ont été effectuées sur l'application du krigeage pour une répartition des données par profils. Ces recherches reposent donc sur le développement d'une méthodologie d'application du krigeage dans ce type de répartition des données.

2. Acquisition de données

2.1. Types de mesures

Les trois types de mesures nécessaires à la réalisation de l'état zéro des modèles sont :

- **La topographie dunaire** : levé GPS pédestre traditionnel (mode RTK, base connue).
- **La topographie de la plage** : levé motorisé réalisé à basse mer avec un fort coefficient de marée. L'antenne est fixée sur un quad et la fonction mesure continue (du mode RTK) est employée.
- **La bathymétrie** : couplage d'un sondeur mono faisceau et d'un GPS RTK. Le tout est relié à une centrale de calcul et de synchronisation des mesures. Il s'agit dans notre cas du logiciel HYPACK. Ce dernier va également permettre de préparer la campagne de mesures et d'effectuer le post-traitement.

Les données se doivent d'être dans des systèmes géodésiques connus. Le NGF IGN69 a été opté pour l'altimétrie tandis que le NTF (Lambert zone II centre) a fait l'objet du rattachement planimétrique. Afin d'être dans les bons systèmes, nous avons choisi et calculé une base pour le matériel RTK. Elle a été déterminée à partir du RGP (Réseau GPS Permanent) pour la planimétrie et du NGF pour l'altimétrie. En effet, le réseau NTF de l'île de Noirmoutier est en très mauvais état contrairement au réseau de nivellement.

2.2. Précision des mesures

Une évaluation de la précision des mesures a été proposée. Elle n'a pas fait l'objet de recherches très poussées car le système marin est un système très complexe, mais elle semble être proche de la réalité.

Mesure	Précisions	
	Horizontale (cm)	Verticale (cm)
Topo Dunaire	±4	±5
Topo Plage	±4	±5
Bathymétrie	±20	±15-20

Tableau 2.2.1 : précisions des mesures

2.3. Exemple de résultat

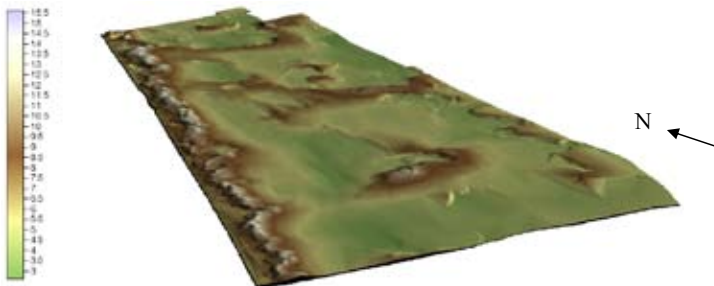


Figure 2.3.1 : MNT de la partie dunaire

3. Le krigeage

Le krigeage est un interpolateur spatial basé sur le principe de la géostatistique. Cette méthode est caractérisée par le variogramme et son interprétation pour des données normalement aléatoires. Nous essayons par celle-ci de regarder s'il existe une certaine tendance ou corrélation dans nos données. C'est-à-dire que pour tous les points séparés d'une même distance, nous allons calculer la variance et en déduire la corrélation qu'il existe en z pour cette distance. Cette méthode nous permet donc de prévoir l'altitude d'un point selon la distance à laquelle il se situe des autres points.

3.1. Description et paramétrage

Il m'a été demandé dans ce projet de fin d'études de proposer une méthode d'application du krigeage pour des données réparties par profils. Elle s'inscrit dans une philosophie de suivi de plages par profils en travers. Afin d'en proposer une, il est essentiel de décrire les données et les principaux paramètres de mise en œuvre du krigeage.

- **Facteurs descriptifs** : le type de plage et la distribution par profils. Le type de plage peut être homogène, semi homogène ou bien accidenté. La distribution indique que les données sont abondantes sur un profil en travers (3m entre deux points) et inexistantes entre les profils (80m entre profils). Nous ne sommes donc plus dans un cas de répartition aléatoire des données.
- **Principaux paramètres du krigeage** : il se caractérise par quatre paramètres à maîtriser impérativement. Ils interviennent à différents stades du calcul et peuvent être modifiés à celui désiré. Il s'agit de l'anisotropie (qui permet de favoriser une direction particulière), de la tolérance sur cette direction, de la distance maximale à prendre en compte dans le calcul et de l'existence de lignes de brisures. Par ces paramètres nous allons donc choisir des couples précis de points à retenir dans l'interpolation.

3.2. Méthodologie

Ce projet de fin d'études m'a offert l'opportunité de découvrir le krigeage et de l'appliquer à un type particulier de distribution des données. En raisonnant justement sur ce facteur « distribution des données », nous allons agir sur les trois premiers paramètres décrits en 3.1. Le facteur « type de plage » va quant à lui être associé à l'utilisation ou non de lignes de brisures. Afin d'obtenir la meilleure interpolation, nous allons donc calculer en favorisant la direction longitudinale et selon le type de plage, nous allons tenir compte du caractère accidenté de la plage (présence d'ouvrages de rétention du sable ou bien de falaises).

3.3. Critères d'évaluation des résultats

Afin d'évaluer la méthode proposée, nous allons comparer le résultat obtenu à celui généré par une interpolation linéaire. En effet, le linéaire, basé sur la triangulation de Delaunay, est le meilleur interpolateur dans le domaine de la topographie. Nous choisirons de construire les triangles dans la direction longitudinale afin de ne pas perdre d'information. Nous définirons un écart maximal pour la validation de nos résultats. Nous avons choisi 1000m^3 (plage de 1,5km par 100m). Cependant cette valeur est dépendante de la superficie de la plage, mais elle est valable pour tous les tests que nous avons réalisés. Notons qu'une différence

inférieure à 500m³ sera considérée comme très intéressante pour la mise en œuvre de la méthode.

L'évaluation du résultat se fera également visuellement. La présence de défauts de construction sera un frein à la méthode.

3.4. Résultats

Les résultats obtenus de la mise en œuvre de la méthode sont très encourageants et montrent que l'utilisation d'une méthode géostatistique à un semis de points répartis non aléatoirement est possible.

Type	Différence volumique (m3)	Indice de qualité visuelle *	Moyenne des écarts (m)	Ecart-type
Homogène	50	3	0	0,079
Semi-homogène	800	3	-0,01	0,059
Accidenté	365	3	0	0,090

* 1 = mauvais, 2 = moyen et 3 = bon

Tableau 3.4.1 : Résultats finaux de l'utilisation de la méthode par krigeage

Nous remarquons que le moins bon résultat est observable pour une plage semi-homogène. En effet, il s'agit d'un type transitoire entre deux cas extrêmes et contraires. C'est-à-dire que nous n'observons pas de corrélation très forte du fait de la non homogénéité globale, et, l'utilisation des lignes de brisures n'est pas la plus aisée. Nous pouvons cependant affirmer que la méthode reste efficace pour ce type de plage.

4. Conclusion et perspectives

Ce projet de fin d'études a donc permis de fournir l'état zéro des modélisations qui seront réalisées par Mohamed Maanan, chercheur à GEOLITTOMER.

Les recherches sur le krigeage permettront de réfléchir à un algorithme de « suivi de plage par krigeage ». Il permettra d'automatiser le traitement des levés réalisés par profils. L'idée d'un logiciel complet de suivi de plages offrant la possibilité d'utiliser l'interpolateur « krigeage » n'est donc pas à exclure.

INSA de Strasbourg
24, boulevard de la Victoire
67084 STRASBOURG cedex
Tel : 03.88.14.47.00 - Fax : 03.88.14.47.99

Spécialité topographie
Tel : 03.88.14.47.34 - Fax : 03.88.14.47.33
tania.landes@insa-strasbourg.fr
<http://www.insa-strasbourg.fr/topographie/>