

## 21<sup>èmes</sup> JOURNÉES DE LA RECHERCHE DE L'IGN 8 et 9 mars 2012, Saint Mandé

### Résumés

## La géodésie

### **Modèles de mouvement des plaques tectoniques : le cas de l'ITRF2008, Zuheir Altamimi, Laurent Métivier, Xavier Collilieux, IGN/LAREG**

Après une brève introduction des principaux modèles de mouvement des plaques tectoniques issus de la géophysique, nous présenterons un modèle basé sur le champ de vitesses ITRF2008. Le modèle estimé comporte 14 plaques, en s'appuyant sur les vitesses de 225 sites, loin des frontières et des zones de déformation ou de rebond post-glaciaire. La précision du modèle est évaluée à 0.4 mm/an. La dérive de l'origine de notre modèle est statiquement négligeable, et elle a par conséquent peu d'influence sur les vitesses angulaires estimées. Des comparaisons entre notre modèle et les modèles déduits de la géophysique, NNR-NUVEL-1A et le nouveau modèle NNR-MORVEL56, ont montré un meilleur accord avec NNR-MORVEL56, pour toutes les plaques, sauf pour l'Australie. Pour cette dernière, après avoir estimé des rotations globales entre les trois modèles, nous observons une rotation résiduelle significative sur la plaque qui induit des écarts de vitesses de l'ordre de 4 mm/an entre NNR-MORVEL56 d'une part et NNR-NUVEL-1A ou notre modèle d'autre part. La rotation globale estimée entre notre modèle et NNR-MORVEL56 est de l'ordre de 2.5 mm/an.

### **Utilisation du GPS pour l'étude du séisme de Tohoku-Oki (11 mars 2011), Lucie Rolland<sup>1</sup>, Pierre Bosser<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Géoazur/Université de Nice/OCA, <sup>2</sup>IGN/ENSG**

Depuis une dizaine d'année, le Japon s'est équipé d'un réseau très dense de stations GPS (GEONET), composé de plus de 1300 stations, enregistrant avec une résolution temporelle d'une seconde les signaux émis par les satellites. Ce réseau contribue à faire du Japon l'une des régions la plus instrumentées au monde permettant l'étude des phénomènes géophysiques affectant ce pays. En particulier, ces mesures sont actuellement étudiées afin de comprendre les mécanismes ayant engendré le gigantesque séisme de Tohoku-Oki (Mw=9.0) et le tsunami qu'il a provoqué (11 mars 2011).

Nous présenterons dans un premier temps la méthodologie mise en œuvre pour l'analyse GPS de ce jeu de données riche et conséquent, permettant l'estimation de la position de chacune des 1200 stations toutes les secondes et donc l'étude à la fois des mouvements engendrés par ce séisme et de ceux qui l'ont précédé. Différentes stratégies de calcul cinématique de la position des stations japonaises seront comparées.

Ce jeu d'observations est également utilisé pour étudier les perturbations ionosphériques engendrées par le séisme et le tsunami. En effet, les vibrations de la surface du sol et de l'océan ont généré des ondes atmosphériques qui se sont propagées vers la haute atmosphère en s'amplifiant exponentiellement. Elles se sont ensuite transférées à l'ionosphère, se traduisant par des fluctuations du retard subit par les signaux GPS. L'analyse de ces fluctuations cosismiques fait donc du GPS un véritable « sismomètre ionosphérique ». Nous montrerons que cette technique rend notamment possible le sondage de la zone située au-dessus de l'épicentre d'un séisme sous-marin. Nous concluons enfin sur le potentiel du GPS (et autres GNSS) en matière de détermination rapide des caractéristiques de la rupture sismique, une contrainte essentielle au succès d'un système d'alerte tsunami.

### **Activités récentes du centre d'analyse ILRS du GRGS : recherche et traitements opérationnels, Florent Deleflie<sup>1</sup>, David Coulot<sup>2</sup> et al., <sup>1</sup>GRGS/IMCCE, <sup>2</sup>IGN/SR/LAREG-GRGS**

Le centre d'analyse GRGS est un centre officiel d'analyse des données de télémétrie laser sur satellites de l'ILRS (Service international de la télémétrie laser) depuis septembre 2007. Il joue un rôle très actif au sein du groupe de travail chargé de l'analyse des données (AWG) de ce service. La participation à l'ILRS permet de valoriser les traitements dans un cadre international et de participer à la mise à jour des standards. L'ensemble des activités est rassemblé sur une page Internet dédiée.

Les travaux de recherche concernent :

- l'établissement et l'analyse de séries temporelles de coefficients de champ de gravité, sur le long terme, en identifiant l'impact sur les résultats finaux des variations temporelles du champ de gravité ;
- la prise en compte d'un modèle d'effets de charge dans les « produits » des analyses (les positions des stations et les paramètres du champ en particulier) ;
- l'analyse de l'impact des biais en distance sur l'échelle du repère, et plus généralement, sur l'ensemble des « produits » issus des traitements des données SLR ;
- l'analyse et la réanalyse des données de la Station laser ultra mobile (SLUM) pour l'ensemble des campagnes durant lesquelles elle a été mise en œuvre (dont une campagne en Australie).

Nous présenterons l'ensemble de ces activités, ainsi que les résultats et valorisations à en attendre prochainement.

### **Utilisation de plusieurs techniques géodésiques pour évaluer leur capacité à mesurer la surcharge hydrologique, Pierre Valtv<sup>1</sup>, <sup>1</sup>IGN/LAREG**

La compréhension du changement climatique global, avec ses conséquences sur la dynamique du climat, est un défi majeur à l'heure actuelle. Or les observables géodésiques telles que le champ de pesanteur ou la forme de la Terre sont impactées par les variations des paramètres climatiques. Ces observables géodésiques sont mesurées en continu par plusieurs techniques, comme la mission GRACE (variations temporelles de la pesanteur terrestre), le GPS (séries temporelles de déformations verticales de la croûte terrestre) et l'altimétrie satellitaire. Ces techniques ont des caractéristiques spatiales et spectrales différentes, et donc une sensibilité différente aux paramètres environnementaux. Il est donc intéressant de les combiner et d'isoler des modes de variabilité communs à celles-ci.

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur la région Méditerranéenne, région particulièrement sensible au changement climatique, où la gestion des ressources hydrologiques est un problème très important. Cette région a également l'avantage d'être bien pourvue en stations GPS permanentes.

Nous établissons un jeu de données géodésiques (modèles de géoïde de GRACE, réseau dense de stations GPS permanentes) et de modèles de surcharge sur la zone. Nous présentons ici les résultats d'une analyse conjointe visant à estimer la précision de chaque jeu de données en termes de déplacement vertical du sol associé aux surcharges.

**Méthodologie de mesure de la vapeur d'eau atmosphérique: objectifs et premiers résultats de la campagne DEMEVAP 2011 à l'Observatoire de Haute Provence, Olivier Bock<sup>1</sup>, Emmanuel Bardière<sup>2</sup>, Pierre Bosser<sup>3</sup>, Thomas Bourcy<sup>4</sup>, Pierre Chaduteau<sup>4</sup>, Christophe Ciais<sup>4</sup>, Frédéric Gomez<sup>5</sup>, Christophe Hoareau<sup>6</sup>, Philippe Keckhut<sup>6</sup>, Quentin Kryszak<sup>4</sup>, Vincent Lagorse<sup>4</sup>, Pierre Lardeux<sup>7</sup>, Dominique Legain<sup>8</sup>, Olivier Martin<sup>2</sup>, Eric Moulin<sup>8</sup>, Jacques Pelon<sup>6</sup>, Guillaume Poujol<sup>4</sup>, Alain Sarkissian<sup>6</sup>, Christian Thom<sup>2</sup>, Guy Tournois<sup>5</sup>, Diane Tzanos<sup>8</sup>, Pierre Valentin<sup>3</sup>,<sup>1</sup>IGN/LAREG, <sup>2</sup>IGN/LOEMI, <sup>3</sup>IGN/ENSG, <sup>4</sup>Météo-France/DSO, <sup>5</sup>OAMP/OHP, <sup>6</sup>IPSL/LATMOS, <sup>7</sup>IGN/SGN, <sup>8</sup>Météo-France/CNRM**

Le projet DéMévap (Développements méthodologiques pour le sondage de la vapeur d'eau dans l'atmosphère) vise à améliorer notre capacité de mesure de l'humidité dans l'atmosphère en exploitant la synergie entre différentes techniques de télédétection, optique et radio, et les mesures in-situ (au sol et par radiosondage). Il est porté par un groupe d'experts en mesures atmosphériques de l'IPSL, de l'IGN et de Météo-France, issus à la fois du domaine de la recherche et des services opérationnels.

Une campagne de mesures a été réalisée à l'OHP à l'automne 2011 avec le soutien des personnels de la station Gérard Mégie. Deux lidars Raman ont réalisé des mesures au cours d'une dizaine de nuits, conjointement avec des stations GPS, un spectromètre stellaire, des capteurs in-situ montés sur des mâts et des sondes à point de rosée. Un dispositif de radiosondages géré par l'OHP et la DSO a permis de lancer une vingtaine de ballons emportant 3 ou 4 sondes différentes à chaque fois.

L'analyse des données de cette campagne sera plus particulièrement ciblée sur les questions de l'étalonnage des lidars Raman vapeur d'eau, de la dispersion des mesures des radiosondes, et de l'analyse couplée d'observations lidar et GPS. La mise en œuvre de radiosondes de référence (Snow-White, Meteolabor) et de capteurs à point de rosée devrait permettre d'appréhender les sources de biais des différentes techniques. L'objectif à terme est d'atteindre une précision absolue meilleure que 3% sur la colonne totale de vapeur d'eau au moyen d'une technique couplée lidar Raman – GPS – capteur à point de rosée. Ce niveau de précision permettra de fiabiliser les applications de surveillance du climat et d'améliorer les calculs géodésiques.

**Détermination du champ de pesanteur par gradiométrie spatiale, Gwendoline Pajot-Métivier<sup>1</sup>, Isabelle Panet<sup>1</sup>, David Coulot<sup>1</sup>, Florent Deleflie<sup>2</sup>, Laurent Métivier<sup>1</sup>,<sup>1</sup>IGN/LAREG, <sup>2</sup>Laboratoire d'astronomie de Lille/IMMCE**

Les missions spatiales dédiées à la mesure du champ de pesanteur lancées depuis 2000 par les agences spatiales d'Europe et des Etats-Unis ont révolutionné la connaissance du champ de pesanteur terrestre à l'échelle globale. La dernière en date, GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer), en vol depuis 2009, fournit un champ de pesanteur global avec une précision et une résolution spatiale homogènes sans précédent, et ce grâce à l'acquisition de données d'un type nouveau dans le domaine de la gravimétrie spatiale : les dérivées spatiales du champ de pesanteur dans trois directions distinctes de l'espace.

Dans cet exposé nous nous intéressons à ces nouvelles données dites «de gradiométrie spatiale». Nous expliquerons les principes généraux de la gradiométrie, et présenterons les défis spécifiques que l'étude des gradients GOCE pose par rapport aux données de gravimétrie traditionnelle, et les moyens mis en œuvre pour relever ces défis au sein de notre équipe. En particulier, nous montrerons que les gradients, s'ils ne font pas partie des produits nominaux initiaux de la mission GOCE, sont une donnée de gravimétrie à part entière, à la fois complémentaire et redondante par rapport aux données de gravimétrie traditionnelle, et peuvent, à condition de développer des méthodes spécifiques pour leur traitement, être efficacement utilisés pour améliorer les modèles de champ de pesanteur à l'échelle régionale.

**Posters :****Le mouvement du géocentre vu par les GNSS, Paul Rebischung<sup>1</sup>, <sup>1</sup>IGN/LAREG**

Les GNSS servent aujourd'hui avec succès à un large éventail d'applications géodésiques et géophysiques. Cependant, il reste au moins un phénomène géophysique global que les GNSS ne permettent pas encore d'observer correctement : le mouvement du géocentre.

En tant que technique satellitaire, les GNSS sont théoriquement sensibles aux mouvements du centre de masse de la Terre. Les solutions hebdomadaires fournies par les centres d'analyse de l'IGS devraient ainsi avoir pour origine le centre de masse "instantané", et les translations entre ces solutions et un repère séculaire tel l'ITRF devraient donc refléter les déplacements non linéaires du centre de masse. Mais l'examen de ces séries temporelles de translations révèle un certain nombre d'erreurs systématiques.

Ces erreurs sont principalement dues à la connaissance insuffisante des forces non gravitationnelles qui s'exercent sur les satellites GNSS. Les centres d'analyse sont ainsi amenés à estimer ces forces sous forme d'accélération empiriques. Et des corrélations entre ces accélérations et la position du centre des masses viennent troubler sa détermination. La comparaison des séries temporelles de translations de plusieurs centres d'analyse utilisant différents paramétrages pour représenter les accélérations non gravitationnelles permettra d'étudier leur influence sur la détermination du géocentre.

**Prise en compte des déformations pré- et post-sismiques dans la représentation future de l'ITRF, Daphné Lercier<sup>1</sup>, <sup>1</sup>IGN/LAREG**

En moins de 10 ans, trois séismes géants ( $M_w > 8.5$ ) ont été enregistrés (à Sumatra en décembre 2004, au Chili en février 2010 et au Japon en mars 2011) posant de nouveaux problèmes pour la construction et l'utilisation du Repère International de Référence Terrestre (ITRF). En effet, des décrochements dans les séries temporelles de positions des stations GNSS furent observés à plusieurs milliers de kilomètres de l'épicentre. Ceci eut pour conséquence de rendre obsolètes les coordonnées des stations du Service GNSS International (IGS) pour le référencement de données dans des régions du globe très étendues avant une mise à jour du repère de référence.

De plus, en champ proche, des phénomènes d'afterslip (glissement lent) et de relaxation postsismique modifient le comportement des coordonnées des stations. Ces phénomènes, également observés après des séismes de magnitude plus faible, sont d'autant plus visibles dans les séries temporelles de positions dont on dispose aujourd'hui. Le modèle séculaire adopté dans l'ITRF (pour modéliser les mouvements tectoniques) ne permet pas de modéliser correctement ces comportements. Comment peut-on alors définir les coordonnées des stations géodésiques d'un réseau global lorsqu'un séisme géant a eu lieu ? En étude préliminaire, nous cherchons à mesurer les impacts des séismes géants sur la construction d'un repère de référence (via des simulations de séismes géants dans un traitement de données GNSS). L'objectif plus fondamental de cette thèse sera ensuite l'élaboration de modèles de déplacements sismiques pour améliorer l'exactitude des coordonnées fournies.

**Détermination de l'exactitude d'un géoïde gravimétrique, Zahra Ismail, IGN/LAREG**

La détermination de la surface équipotentielle de champ de pesanteur, le géoïde, est un enjeu majeur pour la géodésie (la surface de référence pour les altitudes) et pour les études géophysiques. L'évolution des techniques spatiales (en particulier la mission GOCE, Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer, lancé en mars 2009), ainsi que la mesure récente au sol par l'IGN d'un réseau gravimétrique de grande précision sur l'ensemble du territoire métropolitain laissent espérer des avancées importantes sur la connaissance de cette surface en France métropolitaine.

La méthode utilisée en France pour calculer un modèle de quasi-géoïde est la méthode de Retrait-Restauration. Cette méthode comprend trois étapes principales : le retrait de l'effet du terrain et du modèle global du champ, l'interpolation et l'application de l'intégrale de Stokes, et finalement la restauration. Dans chacune de ces étapes, il existe des sources d'erreurs qui peuvent influencer l'estimation du modèle du géoïde.

Dans le cas de la France métropolitaine, l'exactitude du dernier modèle de quasi-géoïde est estimée à 10 cm d'erreur quadratique moyenne, tandis que la surface de référence des altitudes a une précision de quelques centimètres. L'estimation actuelle de l'exactitude du géoïde a deux limites. D'une part, elle repose principalement sur la comparaison aux points GPS nivelés, qui ne donnent pas accès à une équipotentielle du champ. D'autre part, elle donne un estimateur de l'erreur en un point, mais aucune information sur les corrélations spatiales entre les erreurs.

Nous présenterons donc les problématiques liées à ces déterminations et la démarche suivie pour rechercher un nouvel estimateur de l'exactitude (variances et covariances des erreurs) déterminé par analyse de la méthode de prédiction linéaire, ou collocation, sur une zone d'études, le centre de la France, choisie pour la qualité de ses données disponibles.

## La photogrammétrie et le traitement d'image

### **Calibration d'un système de numérisation mobile multi-caméras, Bertrand Cannelle<sup>1</sup>, Nicolas Paparoditis<sup>1</sup>, Marc Pierrot-Deseilligny<sup>1</sup>, Jean-Pierre Papelard<sup>1</sup>, <sup>1</sup>IGN/MATIS**

Le Laboratoire MATIS de l'IGN possède un véhicule de numérisation mobile : Stéréopolis V2. Ce véhicule possède de nombreux capteurs image et laser. Dans cette présentation, nous nous intéresserons à deux méthodes pour calibrer les systèmes imageur sur le véhicule, c'est à dire calculer de façon fine les positions et les orientations de chaque caméra par rapport à la plateforme.

Dans une première partie, nous présenterons une méthode de calibration dite « off line » réalisée grâce à un réseau de cibles topométriques précis. Le principal avantage de cette méthode est l'estimation de la précision de la calibration tandis que son principal inconvénient est l'usage d'un emplacement spécifique. Dans une seconde partie, nous étudierons une méthode « on-line » qui ne nécessite pas de relevé topométrique précis. Enfin nous ferons un comparatif de ces 2 méthodes puis finirons par présenter quelques perspectives sur notre travail.

### **Une interface ergonomique de calculs de modèles 3D par photogrammétrie, Isabelle Cléry<sup>1</sup>, Marc Pierrot Deseilligny<sup>2</sup>, <sup>1</sup>IGN/MATIS, <sup>2</sup>IGN/ENSG**

De nombreux logiciels du commerce proposent de créer des modélisations en 3D d'objets ou de scènes uniquement à partir de photographies. Cependant les professionnels, notamment les archéologues et les architectes, ont un certain nombre de contraintes qui restreignent fortement le choix du logiciel, telles que des ressources financières limitées, des connaissances peu approfondies en photogrammétrie et en informatique, des impératifs qui limitent le temps d'acquisition et de traitement (en particulier de saisie manuelle), et enfin des attentes précises en terme de qualité, de précision et de complétude de la modélisation. Le laboratoire MATIS a développé un ensemble d'outils libres, open source, qui permettent d'effectuer l'ensemble des étapes du traitement d'un chantier photogrammétrique et qui fournissent des modèles 3D très denses et précis grâce à la rigueur de l'approche photogrammétrique ; ils représentent donc une solution intéressante pour ces professionnels du point de vue algorithmique. Cependant ils ont été développés pour des applications de recherche et sont donc peu ergonomiques pour le public non photogrammètre et non informaticien. C'est pourquoi une interface graphique, qui

sera présentée dans cet article, est en cours de développement afin de fournir un accès simplifié et unifié à ces outils, notamment aux architectes et aux archéologues. Grâce à l'interface, l'utilisateur peut manipuler les images d'un même chantier et contrôler chaque étape du traitement qui comprend : le calcul automatique de points homologues entre les images, l'estimation des poses de la caméra et le calcul des modèles 3D. Les résultats peuvent être convertis en cartes de profondeur ombrées ou en nuages denses de points 3D (au format standard ply), et peuvent être affichés directement par l'interface. Une attention particulière est apportée à la qualité de la documentation et à la portabilité du produit sur les principaux types d'ordinateur grand public (Linux, Mac et Windows). Des utilisateurs issus des différentes communautés de professionnels ciblées (archéologie, architecture, géologie, photogrammétrie architecturale) l'ont déjà testée et l'interface, téléchargeable gratuitement par Internet, est régulièrement mise à jour afin de l'adapter aux remarques et demandes de ces testeurs.

### **Texturation multi-image basée GPU de modèles 3D, Bruno Vallet, IGN/MATIS**

La texture est un élément visuel décisif des représentations tridimensionnelles de scènes réelles. Afin de produire des textures de bonnes qualités, les surfaces à texturer doivent être vues dans de bonnes conditions. Ainsi, l'imagerie aérienne est mal adaptée à la texturation de façade car celles-ci sont vues sous un angle très rasant conduisant à des distorsions très importantes lors de la texturation, et donc à des textures de faible niveau de réalisme.

Le travail présenté tente de résoudre ce problème en exploitant l'imagerie terrestre acquise par le véhicule Stéréopolis développé par le laboratoire MATIS. Le premier problème qui se pose alors est celui de la visibilité : parmi les dizaines de milliers d'images acquises, lesquelles utiliser pour texturer chaque façade ? La question est beaucoup plus difficile en terrestre qu'en aérien car se posent alors les problèmes d'occlusions 3D ainsi que de mosaïquage.

La présentation traitera donc principalement du problème de calcul rapide de visibilité, en exploitant le GPU qui est particulièrement optimisé pour ce type de calcul, mais aussi des problèmes liés au mosaïquage.

### **Détection, identification et reconstruction 3D des panneaux de signalisation routière à partir d'images couleurs géoréférencées, Bahman Soheilian, IGN/MATIS.**

On présente un système entièrement automatique de reconstruction 3D de panneaux de signalisation en milieux urbains denses très complexes. Le système prend en entrée un ensemble d'images couleurs géoréférencées d'une scène et fournit en sortie des modèles 3D de panneaux routiers qui sont présents dans la scène. L'algorithme est composé de deux étapes de détection et de reconstruction.

D'abord, les panneaux sont détectés sur chaque image de manière individuelle. Un algorithme basé sur la sélection de couleur suivie d'une méthode d'estimation de forme produit des candidats potentiels de panneaux. Ensuite, une étape de validation compare les textures à l'intérieur de chaque candidat potentiel avec une base de données complète de panneaux de signalisation (publié par le ministère de l'intérieur) pour rejeter les faux candidats et identifier le type des panneaux validés. En sortie, cette étape fournit le contour des panneaux sous formes géométriques simples (triangle, quadrilatère, ellipse) ainsi que leur type (indication de dos d'âne par exemple).

L'étape de reconstruction est basée sur une approche de génération et vérification d'hypothèses. Les hypothèses sont générées par un algorithme d'appariement stéréo prenant en compte la contrainte épipolaire ainsi que les caractéristiques visuelles des panneaux. Cela génère un ensemble de panneaux 3D contenant des réponses multiples pour un même panneau. Les panneaux plausiblement correspondant au même panneau 3D sont regroupés. Le panneau est ensuite reconstruit par une approche multi-vue utilisant toutes les images dans lesquelles il est visible. Les contraintes

géométriques liées aux formes connues des panneaux sont incorporées dans le processus de reconstruction multi-vue. Cela améliore la précision de localisation, taille et forme des panneaux reconstruits de manière nette. On présente des résultats sur un grand nombre d'images simulées et réelles et on analyse les résultats.

### Mesures du flou dans les images aériennes, Lâmân Lelégard, Mathieu Brédif et Bruno Vallet, IGN/MATIS

La présentation porte sur deux différentes caractérisations du flou dans les images aériennes : la détection du flou de bougé sur une image unique, et la qualification du flou local (Fig.2) du système imageur par l'analyse d'un ensemble d'images.

La première partie de la présentation porte sur la détection automatique des images entachées d'un flou de bougé de plusieurs pixels (ainsi que leur correction éventuelle). Le système imageur de l'IGN CamV1 considéré dans cette étude est composé de quatre canaux avec quatre temps d'exposition différents ce qui implique une extension de flou de bougé différente dans chaque canal de l'image. La représentation fréquentielle des images obtenue par transformée de Fourier donne généralement une bonne idée d'un flou de bougé éventuel (Fig.1). Toutefois, le fait d'exploiter les temps d'exposition des différents canaux en considérant la différence des phases de leurs transformées de Fourier apporte une plus grande robustesse à la méthode. Ceci a été confirmé par une validation sur 2000 images.

On verra ensuite une méthode originale de mesurer le flou local d'un système imageur qui, dans ce cas, est inférieur au pixel et, du coup, invisible à l'œil humain. Sa détermination passe souvent par une calibration en laboratoire ou bien un vol spécifique au dessus de cibles au sol, ce qui, dans les deux cas, induit un coût supplémentaire. On verra en quoi la considération des contours d'une image à différentes échelles telle que celles obtenues par décomposition en ondelettes de Haar peut apporter une information relative sur le flou local et dans quelle mesure, au niveau d'une mission aérienne, on peut en déduire une carte de flou du système imageur (Fig.2) en prenant en compte notamment la répartition statistique des contours ainsi que les propriétés « fractales » des images aériennes.

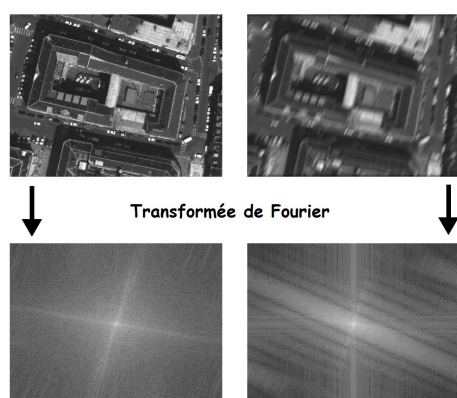
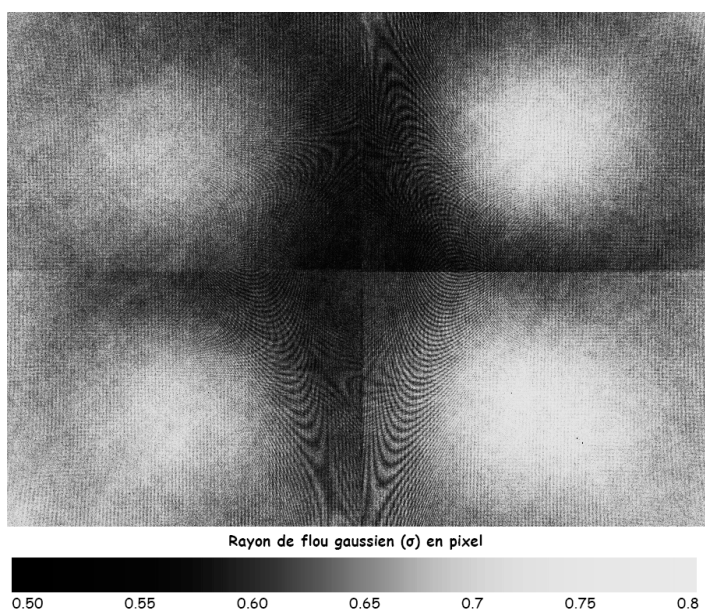


Fig.1 : Interprétation fréquentielle d'un flou de bougé

Fig.2 : Carte de flou du système panthro 4 têtes (camV) →



## Les systèmes d'information géographiques et la cartographie

### **ANR GéoPeuple - Etude de l'évolution des paysages français de Cassini à aujourd'hui, Christine Plumejeaud<sup>1</sup>, Anne Ruas<sup>2</sup>, <sup>1</sup>IGN/COGIT, <sup>2</sup>IFSTTAR/MACS**

Cette communication présente l'ANR GéoPeuple qui allie trois laboratoires (LaDéHis-EHESS/CNRS, COGIT/IGN, Malire/LIP6) autour d'un projet commun : étudier la densification du territoire français sur deux siècles.

Depuis 250 ans, notre territoire s'est considérablement équipé, densifié au fil de l'accroissement démographique et des progrès technologiques. Par ailleurs, l'industrialisation a généré un important exode rural. L'objectif du projet GeoPeuple est d'étudier les relations entre l'évolution du paysage français et l'évolution de la répartition de la population sur le territoire. Ce que nous appelons paysage s'apparente ici à l'espace support ou l'espace topographique. Les cartes anciennes (Cassini et État-Major par exemple) sont des traces de ces territoires, traces codifiées selon les spécifications cartographiques des différentes époques. Il s'agit donc d'analyser puis d'extraire le contenu des cartes de Cassini (datées autour de 1760 - échelle 1 : 86 400) puis d'État-Major (datées autour de 1895 - échelle 1 : 80 000), de constituer des bases de données historiques, et d'étudier ainsi la densification des territoires.

Par ailleurs le paysage étudié est inscrit dans une maille administrative dont l'évolution est connue à travers l'histoire des différentes recompositions communales. Il s'agit ici d'étudier les relations entre l'évolution démographique, les différentes recompositions communales et la dynamique du territoire français avec l'émergence des pôles d'urbanisation et d'industrialisation. En effet, l'échelle de l'étude rend compte de la distribution spatiale des masses démographiques au cours du temps (avec la représentation des hameaux comme des villes), mais également des objets qui illustrent et peuvent expliquer cette évolution : le réseau de transport, le tissu industriel (avec la localisation des usines, leur production), et les facteurs topographiques (relief, hydrologie).

Pour constituer des bases de données historiques, nous procédons par numérisation, géoréférencement puis vectorisation des cartes dites « anciennes » de Cassini et de l'Etat-major. L'analyse spatio-temporelle de la densification du paysage français intègre aussi les données extraites des cartes de l'IGN datant de 1960 et le RGE actuel. Ces données seront confrontées aux données démographiques sur les communes et à leur histoire, connues depuis la Révolution française. L'objectif est de mettre en œuvre un canevas d'analyse spatio-temporelle réutilisable, générique, fondé sur un modèle d'information spatio-temporel intégrant une ontologie des concepts représentés. Ce canevas permettra d'étudier des hypothèses explicatives de l'évolution formulée par les historiens démographes, mais aussi d'avoir une meilleure connaissance sur les rythmes et mécaniques de densification à un niveau local. À partir d'une dynamique générale d'industrialisation, d'équipement du territoire et d'exode rural, peut-on identifier des différences locales significatives ?

En plus des problématiques de vectorisation automatique et d'analyses spatio-temporelles exposées précédemment, les problèmes posés par la qualité des données et le biais sélectif inhérent aux cartes doivent être pris en compte. En effet, il existe un doute sur la localisation et la nature des objets observés, et, par ailleurs, les objets représentés ne sont pas les mêmes au cours du temps.

### **Modélisation de données géographiques pour l'étude de déplacements de la faune, Laurence Jolivet, Laboratoire COGIT**

Les éléments du paysage influencent la faune sauvage dans ses déplacements, en tant qu'objectifs (emplacements de ressources et habitat), soit en représentant des obstacles ou des lieux de passage. Nous pensons qu'il est important de connaître et de comprendre les déplacements des animaux pour



éviter la fragmentation excessive de leur espace de vie et pour construire des aménagements, par exemple routiers, compatibles avec leurs dynamiques en respectant au mieux la sécurité de tous (la leur et la nôtre). Le travail de thèse vise à représenter des déplacements d'animaux sur un espace géographique précisément décrit et à comprendre ces déplacements en fonction des espèces. Il vise également à simuler de nouveaux déplacements sur un espace réel ou à simuler des modifications de l'espace pour étudier l'impact de projets d'aménagements. Un premier objectif du travail présenté est de qualifier l'apport des données géographiques dans la compréhension des déplacements d'animaux. Un second objectif est de proposer une lecture des données géographiques correspondant à l'espace tel qu'il est utilisé par les animaux. L'approche adoptée repose sur des analyses entre données géographiques et données de déplacements de la faune et sur le développement d'un outil de simulation de déplacements paramétrable s'appuyant sur un modèle de données adapté. Les analyses sont menées sur des jeux de données échantillonnées de la BD TOPO® et des points enregistrés par GPS sur des individus de plusieurs espèces et situés sur plusieurs zones. Le paysage autour des localisations est caractérisé par des relations directes de distances aux éléments géographiques et par la composition du voisinage des localisations selon des emprises variables. L'espace entre les localisations est étudié afin d'identifier des zones préférentielles pour les déplacements. Les différents cas d'étude permettent de déterminer des influences diverses des éléments du paysage sur les localisations et par extension sur les déplacements pour les grandes fréquences de relevés. Ils mettent également en évidence des besoins différents en précision des données géographiques. Les résultats des analyses et les connaissances sur les comportements des espèces amènent à la formulation d'hypothèses sur les relations entre espace et déplacements. Un modèle de données a été défini et est implémenté dans la plateforme GeOxygene. Il organise les concepts : zones d'intérêt, obstacles, zones favorables aux déplacements, en parallèle d'aspect du comportement des espèces. Des trajectoires sont construites à partir de la formalisation par agent des contraintes spatiales et du rythme propre aux espèces. De premiers paramétrages ont été testés entre autres par comparaison entre trajectoires construites et trajectoires observées interpolées. Ce travail est réalisé avec l'appui de biogéographes et d'écologues afin d'assurer une bonne représentation du paysage et du comportement des espèces.

### **Évaluation et amélioration automatiques de la lisibilité de cartes, Firas Bessadok<sup>1</sup>, Catherine Dominguès<sup>1</sup>, Anne Ruas<sup>2</sup>, <sup>1</sup>IGN/COGIT, <sup>2</sup>IFSTTAR/MACS**

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la conception et à la visualisation de cartes personnalisées en passant par des étapes d'évaluation et d'amélioration automatiques de cette carte, ainsi que par une conception de légendes et de symbolologies adaptées. Dans la plupart des outils cartographiques récents, il est possible pour l'utilisateur de construire lui-même une carte sur mesure adaptée à ses besoins en superposant des couches de légende. Les données peuvent même provenir de sources hétérogènes. Ceci est actuellement possible par plusieurs outils, dont le GeoPortail, Google Maps, etc. La manipulation et l'édition de cartes par des utilisateurs novices peuvent engendrer des défauts de représentation et des erreurs sémiologiques entravant la compréhension de cette carte par ses lecteurs.

Notre but est donc de concevoir un système d'aide à l'amélioration de cartes qui devra pouvoir analyser et reconstruire les cartes dans le but de les rendre le plus compréhensible possible en respectant les règles de sémiologie. Le système devra également fournir des outils de manipulation de la carte pour faciliter la compréhension et la modification de celle-ci par l'utilisateur.

Le processus d'amélioration de la carte sera conduit en quatre étapes : évaluation de la visibilité des objets cartographiques, diagnostic de la visibilité globale des objets de la carte, proposition de modifications, et finalement intervention sur la carte en agissant sur les symbolisations. L'évaluation de la visibilité des objets cartographiques (1) est basée sur un système d'indicateurs (de visibilité) caractérisant chacun un aspect visuel de la carte. L'étape de diagnostic (2) devra, en se basant sur les résultats des indices, détecter les problèmes de représentations qui mènent à une mauvaise lisibilité globale de la carte. Suite à ce diagnostic, le système proposera (3) des choix d'améliorations et de modifications à apporter à la carte en fonction de la valeur des indicateurs, afin d'aboutir à une carte de meilleure qualité visuelle. L'intervention sur la carte (4) consiste en la

variation des symbolisations des objets cartographiques pour optimiser la visibilité des objets cartographiques représentés sur la carte et pour ainsi aboutir à une carte plus correcte et mieux lisible et compréhensible. L'amélioration d'une symbolisation doit se traduire par une amélioration de la valeur des indices concernés. Ces quatre étapes seront réitérées dans le processus jusqu'à avoir des valeurs d'indices satisfaisantes.

### **Edition collaborative d'un contenu géographique : une approche fondée sur des spécifications formelles et des relations spatiales explicites, Carmen Brando, IGN/COGIT**

L'édition collaborative d'un contenu géographique est un sujet actuel avec l'apparition d'outils Web permettant la construction communautaire de contenus, c'est également un sujet connu de l'IGN pour la constitution des bases de données de référence et l'intégration de données de partenaires. Un aspect important est la gestion de la qualité du contenu. Ce travail de thèse vise à proposer une méthode d'édition collaborative d'un contenu géographique avec gestion de la cohérence.

Chez les producteurs traditionnels de données géographiques, un élément clé est la définition de spécifications de contenu. Nous proposons un modèle de spécifications formelles dédié à des contenus collaboratifs qui étend une proposition existante au COGIT de spécifications formelles des données IGN (Abadie et al 2010), en lui ajoutant : (1) l'explicitation de caractéristiques de certains objets du contenu collaboratif (ex : c'est le plus grand immeuble de la zone), et de relations « typées » entre les objets du contenu collaboratif et les objets d'un contenu de référence RGE® (ex : un restaurant d'un contenu collaboratif est au rez de chaussée d'un bâtiment du RGE®, l'abribus du contenu collaboratif est exactement en face du bureau de poste du RGE®), et (2) l'explicitation de contraintes d'intégrité définies à partir de types de relations spatiales (ex : les bâtiments du contenu collaboratif n'intersectent généralement pas les routes RGE®).

Notre approche emprunte également au domaine du libre et des logiciels wikis. Dans ces domaines, un premier élément clé est le modèle des éditions afin de synchroniser les différentes versions des contenus chez les différents clients. Ainsi, notre approche inclut également un modèle de description d'éditions et de gestion des versions du contenu. Un autre élément clé est la stratégie d'intégration automatique des contributions de façon à obtenir un contenu cohérent. Notre approche inclut aussi deux mécanismes partiellement automatiques d'intégration de contributions sur le contenu collaboratif qui permet de détecter et résoudre conflits liés à la préservation des relations importantes dans le contenu collaboratif.

### **Améliorer la carte topographique pour les daltoniens, Francis Dhee, IGN/COGIT et ENSG/LGA**

Huit à dix % de la population masculine française souffre d'une déficience visuelle de la couleur qui crée des problèmes de perception dans plusieurs couleurs : le rouge, le vert, l'orange, mais aussi dans le magenta. Ces couleurs sont utilisées dans la carte topographique, en particulier pour différencier les objets ou les familles d'objets.

Les premiers tests ont montré qu'il était possible d'améliorer la carte existante sans nécessairement créer une carte spécifique. A partir de ce point, notre recherche s'est poursuivie selon trois axes :

- identifier les couleurs ou les superpositions de couleurs qui gênent la lecture des daltoniens.
- identifier les couleurs ou les modes de représentations de la carte existante qui sont efficaces quelle que soit la déficience.
- rechercher des solutions qui, d'une part, améliorent la lisibilité de la légende sans modifier la perception globale de la carte existante par les trichromates

(ceux qui perçoivent bien les couleurs) et, d'autre part, s'intègrent aux processus de production sans modifications majeures.

Les résultats présentés montrent que la carte topographique est appréciée du public, aussi bien des trichromates que des daltoniens. Toutefois, des changements sont recommandés. Ils amélioreront l'accessibilité de la carte aux daltoniens tout en conservant à la carte son aspect habituel pour les trichromates.

## Les applications forestières

### **Utilisation des données de l'inventaire forestier national pour mesurer et régionaliser les évolutions de la productivité forestière, Marie Charru, Jean Daniel Bontemps, AgroParisTech Nancy**

Le caractère répété dans le temps et systématique dans l'espace de l'échantillonnage conduit par l'Inventaire forestier national depuis quelques décennies permet d'étudier les changements historiques de productivité forestière à large échelle spatiale. Une approche de modélisation statistique conduite sur plusieurs espèces de la ressource a permis :

- 1) de régionaliser l'estimation des évolutions récentes de la productivité sur des sous-ensembles de l'aire de distribution des espèces,
- 2) d'estimer localement et de spatialiser ces évolutions dans des domaines régionaux. L'aperçu fourni sur ces variations de l'évolution de la productivité permet d'en rechercher et d'en éclairer le déterminisme environnemental.