

Les 25^{es} journées de la recherche de l'IGN





Édito

Un quart de siècle déjà ! Il y a 25 ans, l'IGN décidait de structurer et renforcer ses activités de recherche pour créer un unique service de la recherche. Cette décision a été prise alors dans un contexte d'évolution technologique très fort, notamment dans les domaines de l'électronique et de l'informatique, avec l'idée d'accélérer la transition numérique de l'IGN.

L'IGN est depuis lors la seule agence cartographique nationale au niveau européen à disposer d'une telle recherche en propre. Ceci permet à l'IGN de disposer d'une recherche finalisée très cohérente et de grande qualité qui se traduit par une très forte capacité d'innovation auréolée de nombreux succès (entre autres : ITRF, aérotriangulation et reconstruction de surface automatisée, généralisation automatique, carte à la carte, iTowns, etc.) et le maintien d'une expertise forte sur des disciplines scientifiques rares telles que la géodésie, la photogrammétrie, la cartographie ou encore sur des sujets stratégiques telles que la constitution ou la diffusion d'infrastructures de données géo-spatiales qui sont au même titre que d'autres grandes infrastructures, d'importance stratégique et une garantie de souveraineté pour la France et l'Europe. Pour illustrer cette capacité d'innovation, je citerai l'exemple des travaux de recherche du laboratoire LOEMI sur les caméras numériques aéroportées, les premières au monde à être utilisées en production en 1998 qui grâce à la qualité de ces nouvelles images ont fortement contribué à automatiser les chaînes de production de données. Depuis, ces recherches ont été continuées et débouchent aujourd'hui sur une technologie de caméra photogramétrique légère et miniaturisée permettant d'équiper des drones ou encore de construire des caméras hyperspectrales matricielles avec un très fort potentiel applicatif.

La recherche de l'IGN s'est également enrichie depuis 2013 d'un petit dernier, le laboratoire LIF à Nancy, qui travaille sur la collecte d'informations forestières et l'optimisation du processus d'inventaire forestier.

Donc, bon anniversaire à la recherche de l'IGN et à ses laboratoires, et un grand merci à tous les chercheurs qui ont participé au succès de ces 25 premières années. Nous sommes heureux de pouvoir fêter ces 25 ans avec vous et discuter pendant ces journées de la recherche de ce que pourrait être l'information géographique et forestière dans les 25 années à venir !

Nicolas PAPARODITIS
Directeur Scientifique, IGN

Sommaire

PROGRAMME GÉNÉRAL

Jeudi 24 mars.....	4
Vendredi 25 mars.....	6

PROGRAMME DES INTERVENANTS

Journée thématique :.....	8
---------------------------	---

Apports des terrasses marines pour déterminer le cycle sismique du front de déformation du S des Apennins (Tarente, S.Italie).....	8
Déformations postsismiques et intersismiques associées aux mégaséismes de subduction.....	10
Séismes et failles actives, imager les déformations de la terre avec l'imagerie optique à très haute résolution.....	12
Étude de la dynamique de la calotte polaire Est-Antarctique : apport de l'analyse de mesures sismo-GPS acquises par le GEOCUBE.....	14

LAREG..... 16

ITRF2014 : Prise en compte des mouvements non linéaires.....	16
Simulations pour un satellite de type GRASP.....	18
Contribution des horloges optiques pour la détermination du géopotential à haute résolution spatiale.....	19
Comment contraindre de façon optimale l'évolution temporelle des délais troposphériques humides lors des traitements de données GNSS ?.....	20
Simulations en vue de l'amélioration de la détermination des variations temporelles du champ de gravité terrestre.....	20
Prévisions de dates de rentrées atmosphériques de débris spatiaux.....	21

LIF..... 22

Vers de nouvelles métriques lidar et approches de modélisation pour l'extraction de paramètres forestiers à l'échelle de la placette.....	22
Compréhension et simulation de la dynamique des forêts françaises à long terme et large échelle.....	23

COGIT..... 24

Intégration de données thématiques liées sur un référentiel topographique de support.....	24
Retour sur les recherches autour d'OpenStreetMap.....	25
Les données collaboratives : usage, barrières et bonnes pratiques du point de vue des IGNs d'Europe.....	26
Extension du style cartographique dans les SIG.....	27
Géovisualisation du littoral : augmentation du réalisme perçu par utilisation de données hétérogènes et spatio-temporelles (Litto3D).....	28

MATIS..... 30

Calibration hybride Image/Laser d'un véhicule de cartographie mobile.....	30
Un système basé vision pour la localisation de véhicules mobiles en milieux urbains denses.....	31
Contribution de l'imagerie hyperspectrale à l'analyse des milieux urbains.....	32
Approches modernes de clustering de graphes et applications IGN.....	34
ITowns en open source et applications.....	35
Traitement distribué de nuages massifs de points laser avec Spark.....	36

Plan ENSG.....	38
Notes.....	39



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

PROGRAMME DES 25^{es} JOURNÉES DE LA RECHERCHE DE L'IGN

Marne la Vallée, 24 et 25 mars 2016

Jeudi 24 mars 2016

■ 9h00 - 9h15

Ouverture des journées : Daniel BURSAUX, Directeur Général de l'IGN

■ 9h15 - 9h45

Retour sur 25 ans de recherche, Hervé LE MEN

SESSION THÉMATIQUE :

■ 9h45 - 12h15

«Mesure des déformations et sciences de la Terre : du cycle au bruit sismique»

■ 9h45 - 10h15

Apports des terrasses marines pour déterminer le cycle sismique du front de déformation du S des Apennins (Tarente, S. Italie), Benoît DEFFONTAINES

10h15 - 10h45 : Pause – Posters

■ 10h45 - 11h15

Déformations postsismiques et intersismiques associées aux mégaséismes de subduction, Luce FLEITOUT

■ 11h15 - 11h45

Séismes et failles actives, imager les déformations de la terre avec l'imagerie optique à très haute résolution, Yann KLINGER

■ 11h45 - 12h15

Étude de la dynamique de la calotte polaire Est-Antarctique : apport de l'analyse de mesures sismo-GPS acquises par le GEOCUBE, Denis LOMBARDI



LAREG

13h45 - 13h55

Introduction **LAREG**, Olivier JAMET

- **14h00 - 14h25**

ITRF2014 : Prise en compte des mouvements non linéaires, Zuheir ALTAMIMI

- **14h25 - 14h50**

Simulations pour un satellite géodésique de type GRASP, David COULOT

- **14h50 - 15h15**

Contribution des horloges optiques pour la détermination du géopotential à haute résolution spatiale, Guillaume LION

- **15h15 - 15h40**

Comment contraindre de façon optimale l'évolution temporelle des délais troposphériques humides lors des traitements de données GNSS ? Samuel NAHMANI

15h35 - 16h10 : Pause – Posters

- **16h10 - 16h25**

Simulations en vue de l'amélioration de la détermination des variations temporelles du champ de gravité terrestre, Paoline PRÉVOST

- **16h25 - 16h40**

Prévisions de dates de rentrées atmosphériques de débris spatiaux, Thomas SANDRI



LIF

16h40 - 16h55

Introduction **LIF**, Jean-Christophe HERVÉ

- **16h55 - 17h25**

Vers de nouvelles métriques lidar et approches de modélisation pour l'extraction de paramètres forestiers à l'échelle de la placette, Cédric VÉGA

- **17h25 - 17h55**

Compréhension et simulation de la dynamique à large-échelle et long-terme des forêts françaises, Jean-Daniel BONTEMPS / Anaïs DENARDOU

Vendredi 25 mars 2016



COGIT
9h00 - 9h15

Introduction **COGIT**, Sébastien MUSTIÈRE

■ **9h15 - 9h45**

Intégration de données thématiques liées sur un référentiel topographique de support, Abdelfettah FELIACHI

■ **9h45 - 10h10**

Retour sur les recherches autour d'OpenStreetMap, Guillaume TOUYA

■ **10h10 - 10h35**

Les données collaboratives : usage, barrières et bonnes pratiques du point de vue des IGNs d'Europe, Ana-Maria OLTEANU-RAIMOND

10h35 - 11h10 : Pause – Posters

■ **11h10 - 11h35**

Extension du style cartographique dans les SIG, Bertrand DUMÉNIÉU

■ **11h35 - 12h00**

Géovisualisation du littoral : augmentation du réalisme perçu par utilisation de données hétérogènes et spatio-temporelles (Litto3D), Antoine MASSE



MATIS
13h45 - 14h00

Introduction **MATIS**, Valérie GOUET-BRUNET

■ **14h00 - 14h30**

Calibration hybride Image/Laser d'un véhicule de cartographie mobile, Bruno VALLET

■ **14h30 - 15h00**

Un système basé vision pour la localisation de véhicules mobiles en milieux urbains denses, Xiaozhi QU

■ **15h00 - 15h30**

Contribution de l'imagerie hyperspectrale à l'analyse des milieux urbains, Arnaud LE BRIS

15h30 - 16h10 : Pause – Posters



- **16h10 - 16h40**
Approches modernes de clustering de graphes et applications IGN, Loïc LANDRIEU
- **16h40 - 17h10**
ITowns en open source et applications, Alexandre DEVAUX
- **17h10 - 17h40**
Traitement distribué de nuages massifs de points laser avec Spark, Mathieu BRÉDIF

- **17h40 - 18h00**
Clôture des journées de la recherche, Nicolas PAPARODITIS



Programme des intervenants

Apports des terrasses marines pour déterminer le cycle sismique du front de déformation du S des Apennins (Tarente, S.Italie).

Benoît DEFFONTAINES

Univ. Paris-Est Marne-La-Vallée (UPEM), Bat. IFG, 5 Bd Descartes, F-77454 Marne-la-Vallée, Cedex 2, France

Lab. REch. Géodésie (LAREG)- Service de la Recherche IGN - Gpe Télédétection Radar

Lab. Int. Assoc. LIA ADEPT N°536 CNRS-NSC France-Taiwan

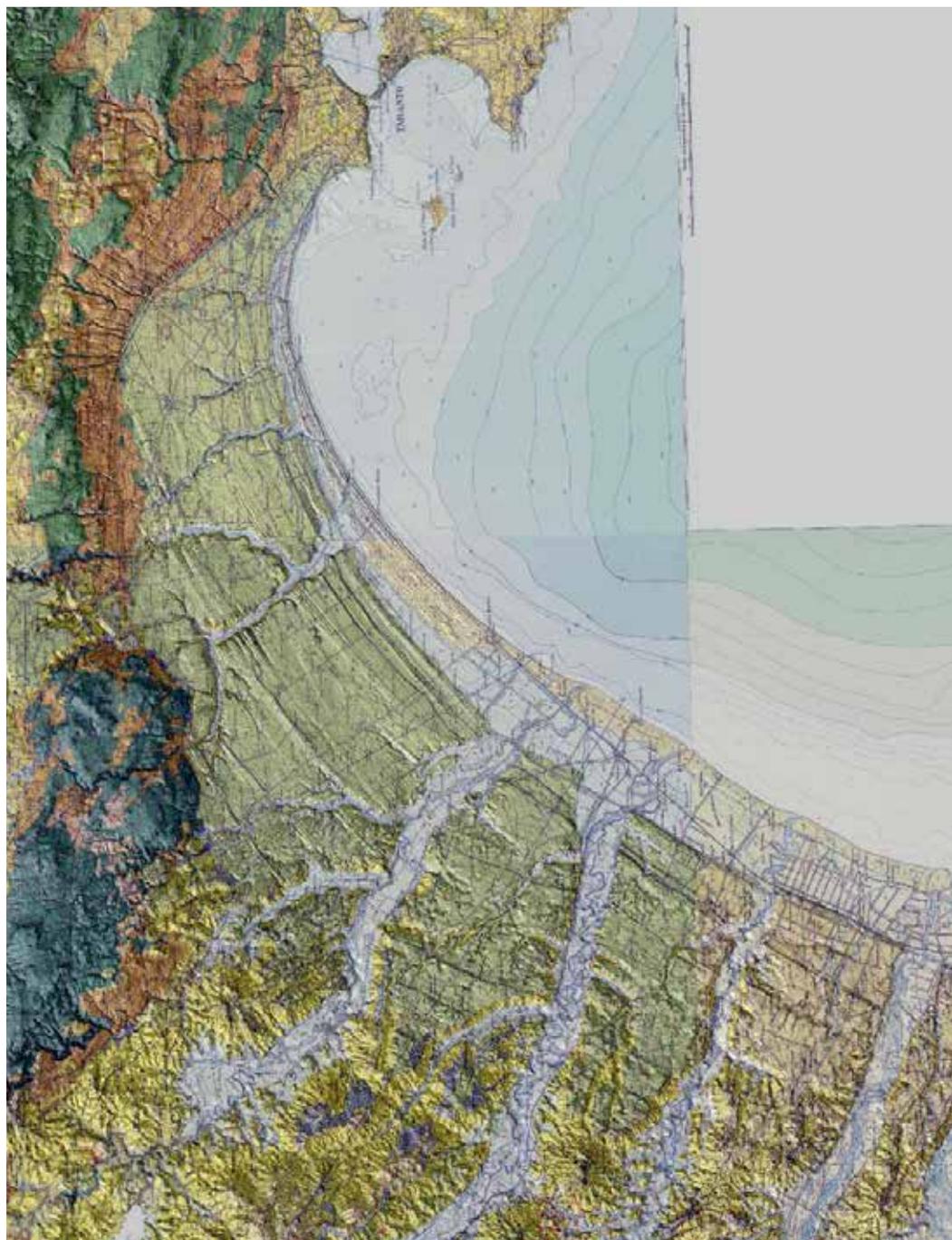
Detailed tectonic analyses and geological mapping in muddy fold-belt front is a hard target. Using both fieldwork and GIS software associated to new soil datations (Sauer et al, 2010) of the different marine terraces of the Taranto Gulf (Basilicate, Southern Italy), we were able to precise the location, the characterisation and the quantification of the Southern Apennine Deformation Front (SADF) that runs below the Metaponto-Pisticci marine terrasses staircase. By combining our topographic and geological data with (1) the public AGIP reflection seismic profiles offshore the Taranto gulf that give the precise geometry of the thrusting detachment at depth, (2) the known eustatic curve of the mediterranean sea along the Ionian sea (southern italian shore), and (3) the new soil datations of different marine terrasses (Sauer et al. 2010), we are now able to differentiate the topographic signal of both active tectonic and eustatic processes and their related geomorphic features on the Taranto Gulf staircase.

So taking into consideration the relations in between marine terrasses precise altitudes and new geochronologic datations, we were able to distinguish 3 seismic megacycles on the marine terrasses. If so, the Southern Apennine Deformation Front (SADF) mega

seismic cycle is characterized by a return period of coarsely 261 ka, a vertical uplift close to 113m and a shortening rate of about 2,1km. Its deformation appear not uniform and coherent to both : a regular interseismic linear «creeping» period (time \approx 251ka / vertical uplift \approx 71m) and a shorter inferred «coseismic» uplift (time \approx 10 ka/vertical uplift \approx 42m). We interpret the latter as a seismogenic period with probably numerous major earthquakes due to bigger basement shortening and deformations.

Finally, thanks to the Metaponto-Pisticci marine terrasses, that lead us to better understand the tectonic behaviour of the Southern Apennine Deformation Front and its associated marine landscape. Here that lead us to separate marine and continental erosion from active tectonic processes. Such kind of studies ought to be developed in the near future in order to really and definitely improve European Natural Hazards Mitigation.

Sauer, D., Wagner, S., Brückner, H., Scarciglia, F., Mastronuzzi, G., Stahr, K., 2010. Soil development on marine terraces near Metaponto (Gulf of Taranto, southern Italy). *Quat. Intern.*, 222, 1-2, 48-63.



Déformations postsismiques et intersismiques associées aux mégaséismes de subduction.

Luce FLEITOUT (fleitous@geologie.ens.fr), UMR CNRS 8538, ENS Paris en collaboration avec O. TRUBIENKO, E. KLEIN, J.D. GARAUD, C. VIGNY et de nombreux collègues qui collectent et traitent les données GPS.

Trois séismes géants (Sumatra-Aceh, Chili-Maule et Japon-Tohoku) ont ébranlé notre planète au cours des dernières années. Ce sont les premiers mégaséismes depuis que les déformations de la lithosphère peuvent être mesurées avec une bonne précision (GPS, interférométrie).

Le même type de déformations postsismiques est observé pour les trois mégaséismes. En champ lointain (600-1500km), les vitesses postsismiques divisées par le déplacement cosismique sont représentées par une même fonction du temps, qui décroît très lentement et le déplacement postsismique est égal au cosismique au bout de 4 ans. Une subsidence postsismique de l'ordre du cm par an est bien mise en évidence en Thaïlande et Malaisie (Satirapod et al. 2012) et est aussi visible après les séismes de Maule et Tohoku. En champ proche, les vitesses postsismiques normalisées par le déplacement cosismique sont beaucoup plus faibles et assez rapidement (2 ans) la vitesse reprend ses valeurs présismiques. En champ moyen (arc volcanique), une vitesse horizontale intermédiaire et une forte sur-rection sont observées.

Le code aux éléments finis (Zebulon-Zset) est utilisé pour modéliser les déformations dans la région des trois grands séismes de subduction (Sumatra, Japon and Chili). La distribution temporelle et spatiale des

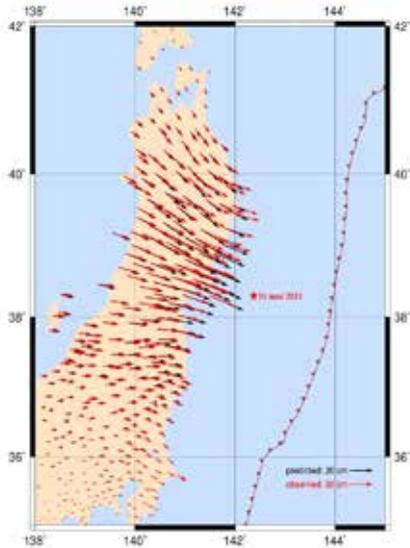
vitesse horizontales et verticales observées indiquent une lithosphère de 60 à 90km d'épaisseur et une asthénosphère d'environ 100 km à 200 km d'épaisseur.

La rhéologie de l'asthénosphère est de type viscoélastique-burger avec une viscosité court-terme de l'ordre de 3.10^{18} Pas. Sur les cas du Japon et du Chili notre inversion indique la présence d'un chenal à faible viscosité le long de l'interface de subduction à des profondeurs entre 50 et 70 km (effet assimilable à du glissement sur la partie profonde de l'interface). Au Chili un glissement supplémentaire à faible profondeur est nécessaire.

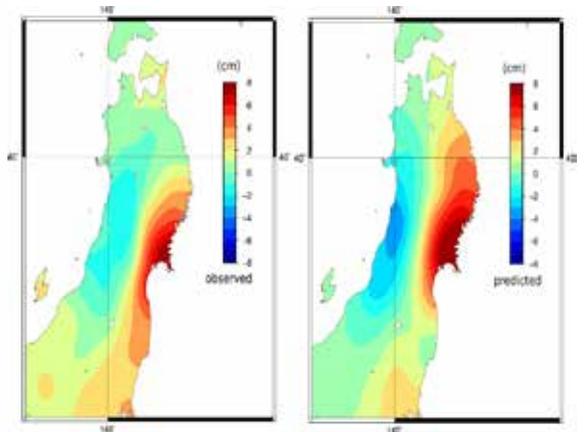
Ce modèle mécanique peut être utilisé pour prédire les déformations durant tout le cycle sismique : il conduit à une évolution continue des vitesses en champ lointain. La perturbation de vitesse modélisée reste dans la direction "postsismique" pendant plusieurs dizaines d'années après un gros séisme et ceci est en effet observé au Sud-Chili (40 ans après le séisme de Valdivia). Les vitesses "intersismiques" (à la fin du cycle) prédites, de direction opposée au postsismique, peuvent atteindre 5mm/an à 1cm/an à des distances de 500 à 1500 km de la zone sismique ce qui remet en question l'interprétation des données GPS en terme de déformation long-terme dans de nombreuses régions.

After Tohoku earthquake:

Comparison between observed and predicted velocities (jan to dec 2012)

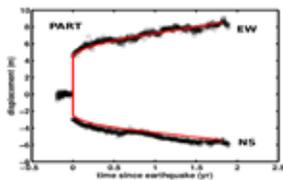
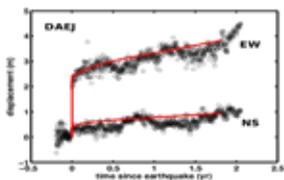
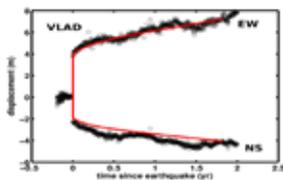
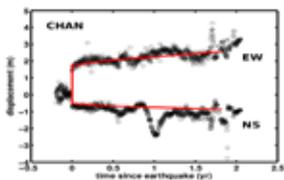


Horizontal velocities



Vertical velocities

Fit to far-field stations time series



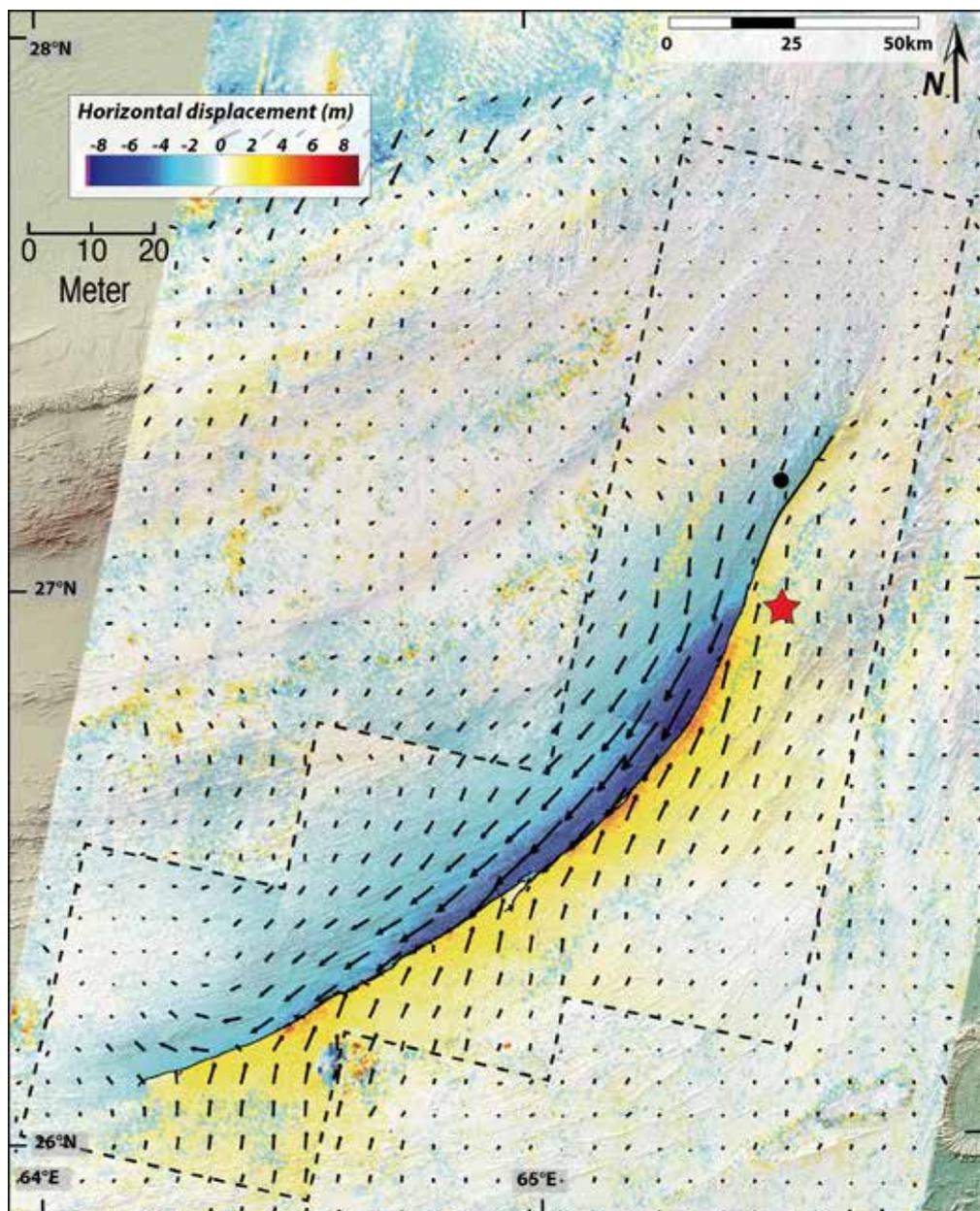
Séismes et failles actives, imager les déformations de la terre avec l'imagerie optique à très haute résolution.

Yann KLINGER

Tectonique, Institut de Physique du Globe de Paris – CNRS.

Sous l'effet de la tectonique des plaques, la croûte terrestre se déforme. Cette déformation est principalement accommodée le long des frontières de plaques, qui correspondent à des failles actives. Le long de ces failles la déformation n'est pas accommodée de façon continue au cours du temps mais plutôt par à-coups lors de grands séismes. Comprendre la façon dont la déformation est accommodée lors de ces grands séismes n'est pas évident car la déformation associée aux séismes est instantanée, de grande ampleur, et ne présente pas de signes précurseurs qui pourraient permettre d'anticiper la déformation. Par ailleurs, pour comprendre les processus de déformation, il est aussi utile de pouvoir étudier la répétition des séismes au cours du temps, alors que les temps séparant deux séismes sur une même faille peuvent être de plusieurs siècles à plusieurs millénaires.

L'émergence de l'imagerie satellitaire optique haute-résolution, couplée à des techniques de corrélation d'image, permet de proposer de nouvelles méthodes pour essayer de répondre à ces questions. D'une part, la reconnaissance et la cartographie précise de ruptures de surface associée à des séismes anciens nous permet de documenter les déformations associées à six séismes successifs et de montrer qu'ils sont quasiment identiques. D'autre part, la corrélation d'images optiques Spot5 prises avant et après un séisme de magnitude Mw7.8, qui s'est produit en 2013 au Pakistan, a permis de mettre en évidence des processus de déformation jusque là insoupçonnés



Étude de la dynamique de la calotte polaire Est-Antarctique : apport de l'analyse de mesures sismo-GPS acquises par le GEOCUBE.

Denis LOMBARDI¹ (denis_lombardi@hotmail.com), Lionel BENOIT^{2,3}, Thierry CAMELBEECK¹, Olivier MARTIN², Christophe MEYNARD² and Christian Thom²

¹ Observatoire Royal de Belgique, 03 av. circulaire, 1180 Bruxelles, Belgique

² Université Paris-Est / IGN / LOEMI, 73 av. de Paris, 94160 St-Mandé, France

³ actuellement à l'Université de Lausanne, IDYST, Quartier Mouline, 1015, Lausanne, Suisse

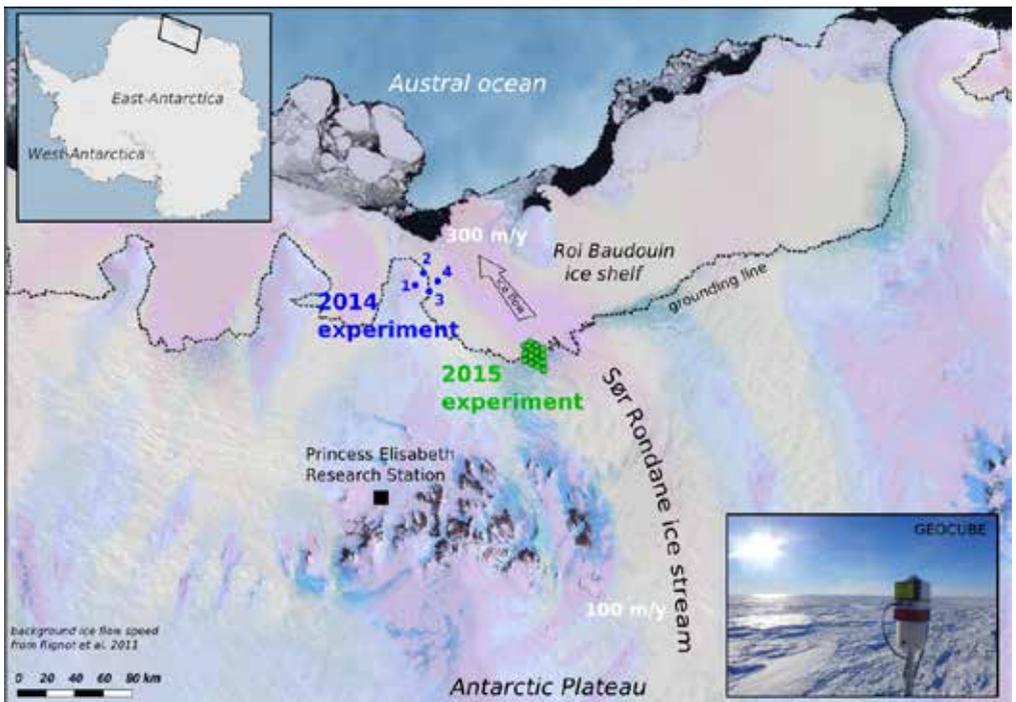
Dans un contexte de réchauffement climatique l'étude de la stabilité des calottes polaires revêt une importance cruciale au regard de leur potentiel large impact sur la montée du niveau des eaux des océans. Cependant, alors que la calotte polaire antarctique représente 80% de l'eau douce de la planète, sa réponse au réchauffement climatique reste mal connue et les projections futures difficiles à estimer d'autant plus que la partie est du continent apparaît, à l'opposé de la partie ouest, relativement stable. L'objectif de la recherche menée dans ce projet est d'étudier la stabilité actuelle de la calotte Est-Antarctique à travers l'analyse des mécanismes impliqués dans les interactions entre le flux de glace provenant de l'intérieur du continent, la plateforme de glace (glace flottant sur l'océan) située à sa marge et l'océan. Pour atteindre ces objectifs, nous avons réalisé deux campagnes de mesures in-situ en 2014 et 2015 consistant aux déploiements temporaires des capteurs sismiques et GPS sur le continent Est-Antarctique.

Développé à l'IGN-LOEMI depuis près de 10 ans et testé récemment sur un glissement de terrain et un glacier des Alpes françaises, le GEOCUBE a été utilisé pour ces deux campagnes en l'adaptant pour permettre l'acquisition et la synchronisation de données sismologiques. En 2014, 4 systèmes couplés GEOCUBE-sismomètre autonomes ont été installés à 10 km de la côte Est-Antarctique sur la zone de transition entre la plateforme de glace et la glace continentale (glace reposant sur le continent rocheux).

Les qualités intrinsèques de légèreté, de faible consommation et coût modéré du GEOCUBE ont permis, un déploiement rapide, de limiter le transport de sources d'énergie et de permettre l'accès à des zones parfois dangereuses. L'analyse des données enregistrées sur 1 mois a permis de révéler un important gradient de vitesse (horizontale et verticale) de flux de glace au niveau de la marge de la plateforme de glace ainsi qu'une existence de cycles de sismicité (ici tremblements de glace) accrue liée soit à la flexure de la plateforme de glace lors des marées océaniques diurnes soit à l'entrée massive d'eau sous-glaciaire lors des marées de vive-eau. L'analyse des données de la 2^e expérience réalisée en 2015 plus en amont sur la plateforme de glace et comprenant un réseau de 15 systèmes couplés similaires

est toujours en cours. Les premiers résultats montrent l'existence de nombreux et forts événements sismiques localisés en amont du réseau sur la glace continentale en plus des événements liés à la flexure de la plateforme de glace. Les déplacements

observés, atteignant localement 80 cm/jour, semblent, quant à eux, montrer que la vitesse d'écoulement du flux de glace provenant de l'intérieur du continent est modulée par la marée à l'échelle diurne et lunaire.



ITRF2014 : Prise en compte des mouvements non linéaires.

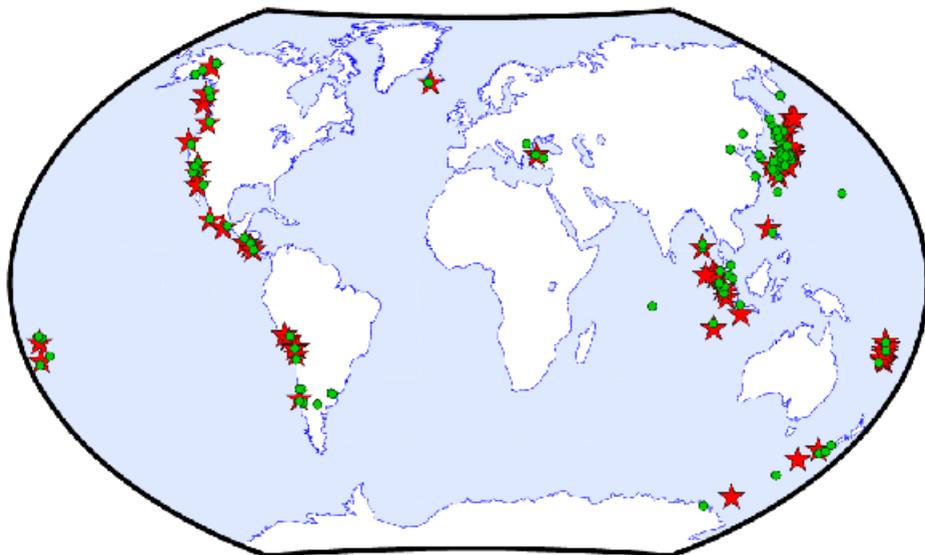
Zuheir ALTAMIMI, Paul REBISCHUNG, Laurent MÉTIVIER, Xavier COLLILIEUX

Pour la première fois de l'histoire de l'ITRF, l'ITRF2014 apporte deux nouveautés majeures, visant à l'amélioration de l'exactitude du référentiel mondial, à savoir : modélisation des mouvements saisonniers (annuels et semi-annuels), induits entre autres par les effets de surcharge, et des déformations post-sismiques provoquées par les tremblements de terre majeurs, tel que les récents séismes dévastateurs du Chili en 2010 et du Japon en 2011.

Nous montrerons et discuterons les résultats scientifiques les plus pertinents de l'ITRF2014, en explorant des indicateurs de performance de ses produits : modèles paramétriques de déformations post-sismiques,

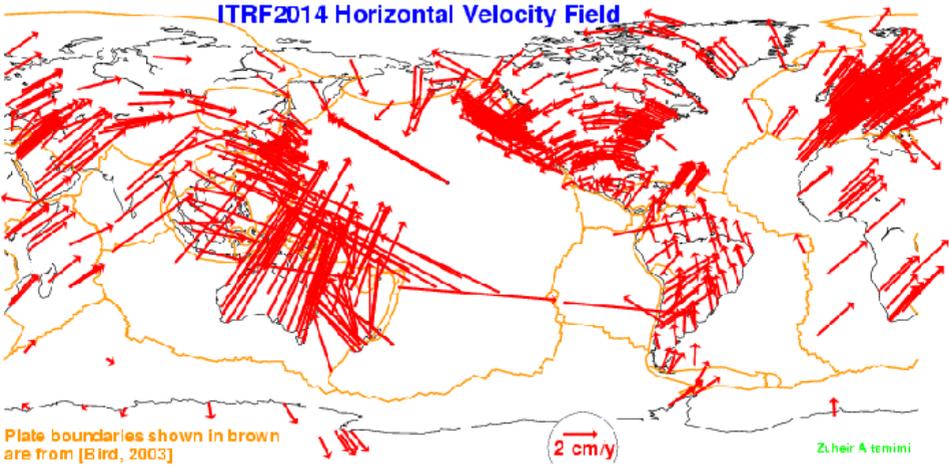
vitesse linéaires de déplacement horizontales et verticales des stations, paramètres de rotation de la Terre. Nous démontrerons la pertinence de l'estimation des termes saisonniers, comparée à la correction a priori par des modèles de surcharge atmosphérique. Nous évaluerons les niveaux d'accord entre techniques, non seulement sur les paramètres de définition physiques du repère, origine et échelle, mais aussi sur les rattachements locaux et les vitesses au sein des sites co-localisés. Nous montrerons en particulier des indications sur le niveau d'accord en échelle entre les solutions VLBI et SLR, qui est de l'ordre de 1 cm sur la surface de la Terre.

ITRF2014 Sites affected by Post-Seismic Deformation



Tsukuba Trajectory

ITRF2014: Champ de vitesses horizontales



Simulations pour un satellite de type GRASP.

D. COULOT^{1,5}, A. POLLET¹, R. BIANCALE², M. ZOULIDA¹,
S. LOYER³, F. PEROSANZ², J.C. MARTY², J.M. LEMOINE²,
L. SOUDARIN³, M. CAPDEROU⁴, S. NAHMANI¹, F. DELEFLIE⁵,
M. MANDEA⁶.

¹ IGN/LAREG, Paris

² CNES, OMP, Toulouse

³ CLS, Toulouse

⁴ LMD, Palaiseau

⁵ IMCCE, Paris

⁶ CNES, Paris

GRASP (Geodetic Reference Antenna in Space) est un satellite conçu pour fournir les données nécessaires à la détermination d'un Repère de référence terrestre (RRT) permettant de mesurer avec une grande exactitude, et donc de surveiller et de comprendre, les changements dans ce système dynamique et complexe qu'est notre planète. Pour atteindre les objectifs (1 mm d'exactitude et 0.1 mm/an de stabilité) fixés aux RRT par GGOS (Global Geodetic Observing System) pour répondre aux enjeux actuels

et futurs, GRASP devrait embarquer des systèmes de mesures très précis pour les techniques de géodésie spatiale utilisées pour déterminer ces RRT (DORIS, GNSS, SLR et VLBI).

Après un bref point d'étape sur les propositions de mission GRASP, nous présentons quelques résultats pour les simulations effectuées par le GRGS (Groupe de recherche de géodésie spatiale) pour un tel satellite. En particulier, nous illustrons la recherche d'une orbite optimale par algorithmes génétiques (optimisation stochastique), puis les simulations numériques effectuées avec le logiciel GINS du CNES pour évaluer l'exactitude attendue d'un RRT déterminé avec les seules mesures sur GRASP.

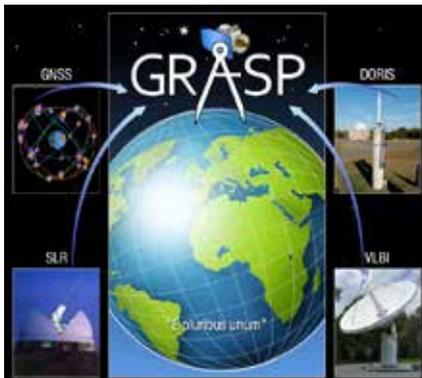


Fig. 1. Simulation pour satellite de type GRASP vue par le JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA. © JPL

Contribution des horloges optiques pour la détermination du géopotential à haute résolution spatiale.

G. LION^{1,2}, I. PANET², P. DELVA¹, S. BIZE¹, P. WOLF¹, C. GUERLIN³

¹ LNE-SYRTE, Observatoire de Paris, CNRS (UMR8630), UPMC, 61 Avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France

² Institut National de l'Information Géographique et Forestière, LAREG, Université Paris Diderot, 35 rue Hélène Brion, 75013 Paris, France

³ Laboratoire Kastler-Brossel, ENS, CNRS, Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France

Les méthodes actuelles pour déterminer le géopotential utilisent principalement des approches indirectes combinant données gravimétriques, gradiométriques et topographiques. Les missions spatiales (GRACE, GOCE) ont beaucoup contribué à améliorer la connaissance du champ de gravité terrestre, permettant d'atteindre une résolution spatiale de l'ordre de 100 km. Néanmoins cette résolution n'est pas suffisante pour pouvoir accéder aux variations du géoïde dans les régions montagneuses par exemple. Par ailleurs, les mesures proche surface apportent la haute résolution, mais leur couverture reste très hétérogène (à terre et en mer).

Les récentes avancées technologiques sur les horloges atomiques optiques ouvrent de nouvelles perspectives dans la détermination du géopotential. A ce jour, les meilleures d'entre elles sont capables d'atteindre une stabilité de 1.6×10^{-18} (NIST, RIKEN + Univ. Tokyo) après

seulement 7 heures de temps d'intégration et une précision de 2.0×10^{-18} (JILA). D'après la relation du décalage spectral gravitationnel cela correspond à une différence de géopotential d'environ $0.1 \text{ m}^2/\text{s}^2$, soit 1 cm de hauteur de géoïde.

Dans ce contexte notre travail a pour but d'évaluer la contribution des horloges atomiques dans la détermination du géopotential à haute résolution spatiale. Pour cela nous avons réalisé des tests synthétiques consistant à reconstruire du potentiel à partir de données gravimétriques avec ou sans ajout de données potentiel type horloge. Comme cas d'étude, nous avons sélectionné des zones géographiques françaises caractérisées par un relief plus ou moins montagneux. Ces régions sont intéressantes car, à haute résolution, l'intensité du champ gravitationnel varie beaucoup spatialement.

Après une brève introduction à la géodésie chronométrique, nous présenterons la méthodologie des tests synthétiques : génération des données gravimétriques et de potentiel, estimation du potentiel à partir de ces données en utilisant une méthode de collocation par moindres carrés, et évaluation de la contribution des horloges atomiques. Nous verrons aussi comment la distribution des données peut affecter les résultats.

Comment contraindre de façon optimale l'évolution temporelle des délais troposphériques humides lors des traitements de données GNSS ?

Samuel NAHMANI, Paul REBISCHUNG et Olivier BOCK.

IGN LAREG, Univ Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, 5 rue Thomas Mann, 75205 Paris Cedex 13, France

L'élaboration et l'évaluation de produits troposphériques avancés sont deux des principaux objectifs du projet européen COST GNSS4SWEC. Ces différents produits tels que les retards et les gradients troposphériques permettent d'enrichir les études climatiques mais aussi de mieux documenter les événements météorologiques intenses avec pour objectif à terme d'améliorer leur prédiction. Réduire l'incertitude de ces produits est une problématique délicate à aborder en raison de la multiplicité des manières de traiter les données GNSS, de la complexité des chaînes de traitement et de la diversité des modèles utilisés. Les différentes modélisations troposphériques utilisées par les centres d'analyse IGS constituent d'ailleurs une bonne illustration de cette situation.

Dans cette étude, nous nous concentrons sur les différentes manières de modéliser les retards troposphériques humides (ZWD) dans les analyses GNSS : époque par époque, fonctions escalier ou continue linéaire par morceaux. Nous montrons qu'il est alors nécessaire d'appliquer des contraintes stochastiques sur l'évolution temporelle des ZWD sous certaines conditions. Le choix du paramètre de la marche aléatoire utilisée pour contraindre les retards troposphériques humides a un impact non seulement sur la description des phénomènes météorologiques intenses, mais aussi sur la distribution statistique long terme de ces estimations. Pour pallier à ce problème, nous proposons une stratégie adaptative basée sur une approche bayésienne permettant de contraindre de façon optimale l'évolution temporelle des délais troposphériques humides lors des traitements de données GNSS.

Simulations en vue de l'amélioration de la détermination des variations temporelles du champ de gravité terrestre.

Paoline PRÉVOST

La connaissance du champ de gravité terrestre est utile pour connaître les fonctionnements internes mais également de surface de la Terre. Les informations issues du champ de gravité sont donc utilisées par de nombreux scientifiques tels que des climatologues, des glaciologues, des hydrologues ou des géophysiciens. La mission spatiale GRACE a permis une avancée très importante quant à la précision des modèles

de champ de gravité. Plusieurs méthodes sont utilisées pour obtenir des champs mensuels globaux à partir des données de cette mission. Ce rapport s'intéresse dans une première partie à l'influence de la stratégie de stabilisation dans ces méthodes sur la précision des modèles via différentes simulations. Dans une seconde partie, il présente une méthode alternative d'obtention de solutions. Celle-ci permet d'avoir un modèle local du champ de gravité.

Prévisions de dates de rentrées atmosphériques de débris spatiaux.

Thomas SANDRI

Le freinage atmosphérique est le principal phénomène physique responsable des rentrées de débris spatiaux dans l'atmosphère terrestre. La caractérisation de celui-ci est étroitement liée à une modélisation numérique précise de la densité atmosphérique permettant ainsi d'obtenir des incréments et des lois d'évolution à long terme sur le demi-grand axe et l'excentricité des trajectoires. Ensuite l'analyse des séries tempo-

relles du demi-grand axe des satellites et débris en orbite basse permet d'élaborer un modèle statistique de prévision de dates de rentrées atmosphériques. Enfin, la contribution à la mise en place d'un service opérationnel basé sur la modélisation statistique précédente permettra à terme de fournir une vue globale de la prédiction des dates de rentrées pour l'ensemble des débris spatiaux catalogués.



© NASA ATV-4_burn



Vers de nouvelles métriques lidar et approches de modélisation pour l'extraction de paramètres forestiers à l'échelle de la placette.

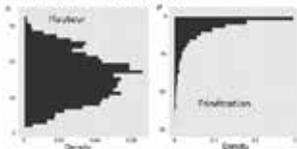
Cédric VÉGA

Nous proposons deux nouvelles familles de variables Lidar pour améliorer les modèles de prédiction de paramètres forestiers à l'échelle de la placette. La première famille de variables se base sur la distribution des points sous l'enveloppe externe de la canopée. Une telle distribution permet de limiter les effets liés à la variabilité de la canopée et de la topographie et d'améliorer la robustesse des variables.

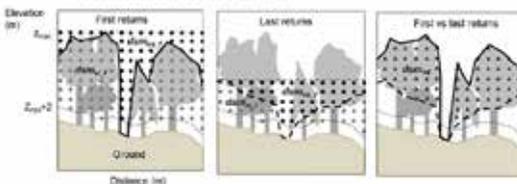
La seconde famille exploite les modèles de surface obtenus à partir des premiers et derniers retours Lidar pour calculer des variables surfaciques et volumiques permettant de caractériser l'hétérogénéité de la placette. L'apport de ces nouvelles variables a tout d'abord été évalué sur une sélection de sites forestiers très diversifiés en utilisant une approche standard de sélection de variables et de régression linéaire multiple. D'une manière générale, l'introduction de ces nouvelles

variables a permis de réduire l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de -0.06% à 19.58% en fonction du type forestier et du paramètre forestier estimé. Les meilleurs résultats sont obtenus pour les peuplements feuillus. Afin d'améliorer la généralité de ces modèles une nouvelle approche de modélisation a par la suite été proposée. Elle s'appuie sur des contraintes allométriques, notamment les relations entre hauteur et diamètre, ainsi que les règles d'auto-éclaircie de Reineke. Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des modèles génériques non biaisés entre sites, mais légèrement biaisés au regard de certaines espèces. Les modèles basés sur des équations espèces-spécifiques offrent une plus grande performance, sans introduire de bruits entre sites. Cette approche de modélisation ouvre des perspectives intéressantes pour le développement de modèles plus flexibles et génériques.

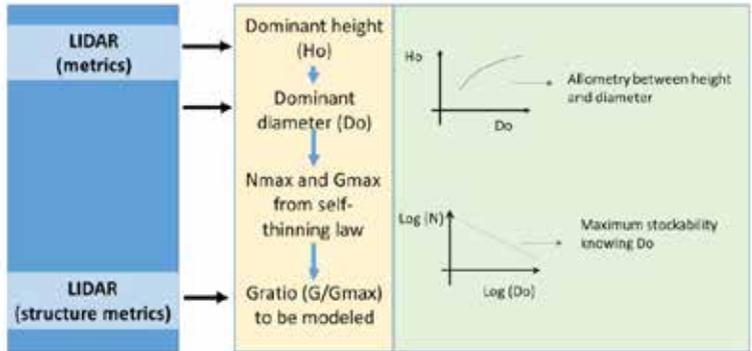
Nouvelles métriques Lidar basées sur la pénétration du signal



Nouvelles métriques de volume



(d'après VEGA et al. 2016)



(d'après Saint-André et al. 2015)

Compréhension et simulation de la dynamique des forêts françaises à long terme et large échelle.

Jean-Daniel BONTEMPS
et Anaïs DENARDOU-TISSERAND

Comme d'autres forêts européennes, la forêt française est dans un état non-stationnaire depuis plus d'un siècle, caractérisé par une expansion sans ralentissement en surfaces et stock de bois, et des changements d'autres attributs de la forêt (structure, composition). La compréhension de ces dynamiques à grande échelle et la capacité à les modéliser sont fondamentales pour l'appui aux politiques publiques concernées par la forêt. Les projets envisagés ou en cours sont présentés.



Photos © Jean-Daniel BONTEMPS



Intégration de données thématiques liées sur un référentiel topographique de support.

Abdelfettah FELIACHI

La référence spatiale qui décrit la localisation des ressources Linked Data peut représenter un critère très utile pour l'interconnexion de ces ressources. Cependant, dans le contexte du Web de données cette référence spatiale peut être très hétérogène entre les différentes sources de données.

Nous abordons dans ce travail la question de l'identification des causes des difficultés d'interconnexion engendrées par ces hétérogénéités. Nous présentons un modèle de représentation formelle de ces causes, ainsi que l'approche d'interconnexion adaptative qui permet de les gérer de manière plus efficace.



Retour sur les recherches autour d'OpenStreetMap.

Guillaume TOUYA

Cette présentation revient sur plusieurs travaux de recherche menés autour du projet de cartographie collaborative OpenStreetMap ces dernières années au COGIT. Ces travaux ont eu deux objectifs principaux : étudier et évaluer la qualité des données issues d'OpenStreetMap, et étudier les bouleversements entraînés par ces données dans une chaîne de production de cartes de qualité. Dans un premier temps, nous montrons comment les données OpenStreetMap peuvent être évaluées par comparaison à des données de référence de l'IGN, dont on connaît la qualité. Nous montrons aussi comment la qualité peut être évaluée de manière intrinsèque, c'est-à-dire sans recourir à

un jeu de données tiers, par analyse de la cohérence géographique des données. Dans un deuxième temps, nous montrons que le frein principal à une cartographie de qualité des données OpenStreetMap est l'hétérogénéité du niveau des détails de ces données. Nous présentons une méthode pour inférer automatiquement ce niveau de détail à partir de critères géométriques et sémantiques. Puis nous montrons comment identifier les situations où la cohabitation de niveaux de détail très différents pose problème. Enfin, nous présentons deux moyens pour résoudre ces problèmes d'incohérence de niveau de détail par l'harmonisation ou la généralisation des données.



Les données collaboratives : usage, barrières et bonnes pratiques du point de vue des IGNs d'Europe.

Ana-Maria OLTEANU-RAIMOND

Les données collaboratives (Volunteer Geographic Information-VGI), produites par la foule (crowdsourcing) ou par différentes communautés (community sourcing) sont en plein essor dans le domaine de l'information géographique.

Dans le cadre du programme Européen COST « Mapping and the citizen sensors », nous nous sommes intéressés à l'usage des données collaboratives au sein des producteurs nationaux de données géographiques, tels que l'IGN. Nous présentons tout d'abord les résultats d'une enquête réalisée auprès de 39 IGNs d'Europe visant

à mieux connaître les pratiques de production et de mise à jour de données des IGNs, d'une part, et l'usage des données collaboratives au sein des IGNs, d'autre part. Nous avons remarqué que l'utilisation des données collaboratives est hétérogène, et qu'elles sont encore peu exploitées, plusieurs barrières étant identifiées. Nous présentons ensuite les barrières identifiées et nous proposons quelques bonnes/meilleures pratiques pour la collecte et la gestion de données collaboratives en réponse à ces barrières.



Relation entre les communautés VGI, IGNs et Recherche : engagement et attentes

Extension du style cartographique dans les SIG.

Bertrand DUMÉNIÉU

Les outils de rendu cartographiques sont limités en expressivité et ne satisfont pas toujours les besoins (esthétiques) des utilisateurs. De plus la généralité des processus cartographiques qu'impliquent des données hétérogènes nécessite de disposer de méthodes de stylisation spécialisées, automatisées et réutilisables.

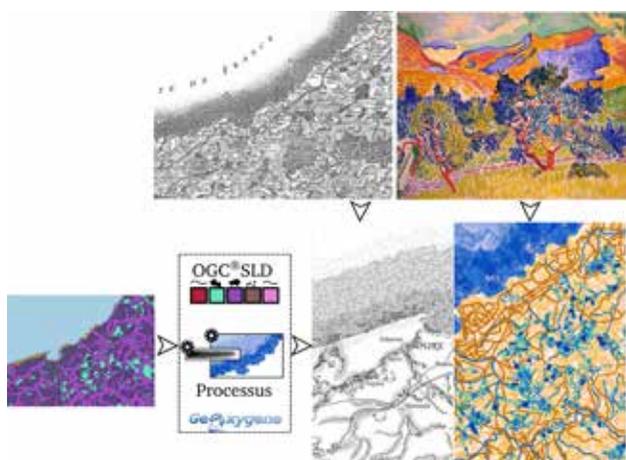
Le projet ANR Mapstyle (2012-2016) cible ces deux objectifs en proposant d'étendre la définition fonctionnelle du style cartographique dans les SIG en intégrant des méthodes issues du rendu expressif, domaine de recherche de l'informatique graphique.

Dans cette présentation seront exposées les propositions issues du projet pour étendre les possibilités de stylisation en cartographie tout en conservant une description du style entièrement paramétrable et suivant le sché-

ma `StyledLayerDescriptor` de l'OGC¹. D'une part, l'extension de ce schéma pour la description de rendus expressifs permet d'augmenter l'expressivité de ce format de description de style tout en permettant à l'utilisateur de rester à un niveau abstrait de description. D'autre part, l'intégration de briques de rendu paramétrables et réutilisables permet d'automatiser des tâches de rendu expressif ou de synthèse de texture. L'ajout d'une couche intermédiaire de description des méthodes de rendu en XML fournit à l'utilisateur des outils pour définir un style selon son niveau d'expertise. Nous présenterons le démonstrateur implémenté au sein du SIG GeOxygène² (développé au laboratoire COGIT de l'IGN) ainsi que des résultats sous forme de cartes conçues avec un style artistique («à la Derain») ou inspirées de cartes anciennes (cartes de Cassini).

Références :

Christophe, S., Hoarau, C., Boulanger, L., Turbet, J., & Vanderhaeghe, D. (2015). Automatic rendering of a Cassini style. In 27th International Cartographic Conference (ICC'15). Rio de Janeiro, Brasil.



¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/sld>

² <http://oxygene-project.sourceforge.net/>

Géovisualisation du littoral : augmentation du réalisme perçu par utilisation de données hétérogènes et spatio-temporelles (Litto3D).

Antoine MASSE

La région littorale est une zone à enjeux multiples, nécessitant son observation, son analyse et sa visualisation. Ces travaux ont été menés dans le cadre du projet ANR Mapstyle et de l'axe de recherche en GeoVIS (Laboratoires Cogit/Matis). Nous proposons d'améliorer la géovisualisation de la zone littorale afin de représenter de façon plus réaliste les dynamiques de la profondeur d'eau par :

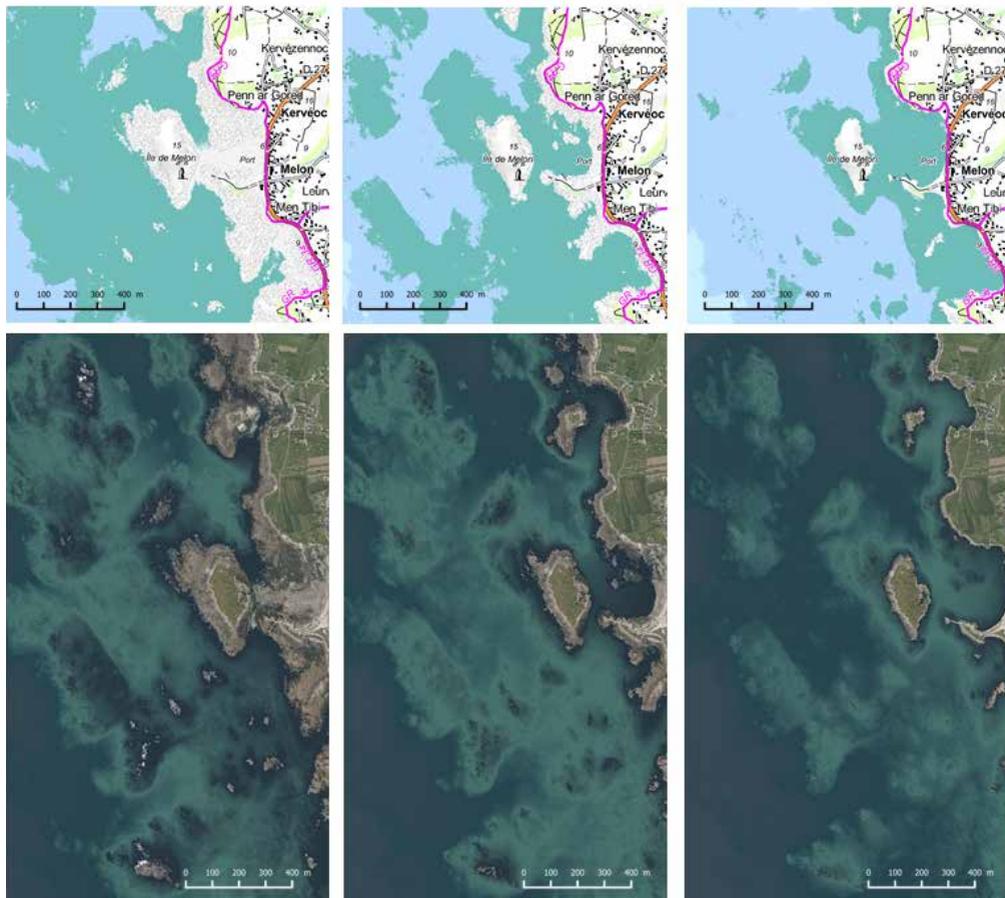
- L'utilisation de données plus fidèles à la réalité comme celles obtenues avec des LiDAR ((Light Detection and Ranging) aéroportés et bathymétriques, permettant la génération de Modèle Numérique de Terrain (MNT) continu terre/mer (projet Litto3D, IGN/SHOM)) ; Ceci permet de représenter spatialement et temporellement de manière plus précise et continue les objets géogra-

phiques du littoral autour de l'interface terre/mer et ainsi d'accentuer le réalisme perçu

- La manipulation du rendu et notamment du degré d'abstraction via la carte, ou de réalisme via le photoréalisme des orthoimages.

Par ailleurs, la représentation des dynamiques spatio-temporelles autour de cette interface, en particulier des marées, ajoute une difficulté supplémentaire à la conception de géovisualisations adaptées aux usages et utilisateurs de la zone littorale. Les outils développés ont été intégrés à la plateforme SIG OpenSource GeOxygene, et son moteur de rendu OpenGL qui permet un rendu stylisé, statique ou animé, des données géographiques spatio-temporelles (vidéo de démonstration).

Géovisualisation animée de la zone littorale, extraits à marée basse, moyenne et haute sur le littoral breton (île de Melon, Lanildut, Finistère) pour l'abstraction cartographique et l'ortho-photoréalisme



Masse, A., et S. Christophe. 2015. « Homogeneous Geovisualization of Coastal Areas from Heterogeneous Spatio-Temporal Data. » *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-3/W3* (août): 509-16. doi:10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-509-2015.

Masse, A., et S. Christophe. 2015. « Visualisation homogène du littoral à partir de données géographiques hétérogènes spatio-temporelles. » In *Actes de la 11ème conférence internationale annuelle Spatial Analysis and GEOmatics, SAGEO 2015, Hammamet, Tunisia, November 23th, 2015*, 1535:150-63. CEUR Workshop Proceedings. <http://ceur-ws.org/Vol-1535/paper-11.pdf>.



Calibration hybride Image/Laser d'un véhicule de cartographie mobile.

Bruno VALLET

La présentation s'intéressera à la calibration d'une plateforme regroupant des capteurs image et laser dans laquelle ces différents types de capteurs sont calibrés conjointement. En effet, les données image et laser sont très complémentaires mais leur exploitation conjointe nécessite un recalage très précis entre ces données qu'il est difficile d'obtenir en les calibrant indépendamment.

Afin de garantir un meilleur alignement des données, nous proposons de remettre

en cause la calibration laser de sorte à aligner le nuage résultant de cette calibration avec les images acquises au même moment en maximisant une mesure de similarité (l'information mutuelle) entre les images et le nuage projeté. La méthode est dite en ligne car elle ne nécessite pas l'acquisition de données sur un site équipé de cibles particulières mais peut se baser sur des données acquises dans des conditions normales d'exploitation.

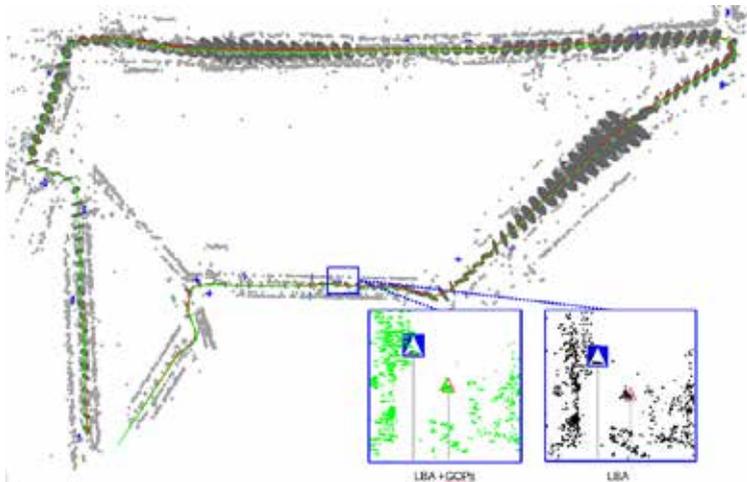


Un système basé vision pour la localisation de véhicules mobiles en milieux urbains denses.

Xiaozhi QU

La localisation précise en milieux urbains constitue un verrou important pour plusieurs applications comme les systèmes de transport intelligent et de cartographie mobile. Les solutions de géoréférencement direct précises sont basées sur des couplages de GNSS avec des centrales à inertie de grande précision. Le coût très élevé des centrales à inertie de précision limite leurs utilisations dans des applications grand public. Nous proposons un système de localisation à très bas coût utilisant uniquement une caméra et une antenne GNSS à bas coût, embarqués sur le véhicule à localiser. La localisation GNSS permet d'initialiser la position de véhicule. Après initialisation, la localisation

est effectuée par estimation de pose de séquence d'images acquises par la caméra embarquée. Pour surmonter le problème de dérive de localisation, une base de données d'amers visuels sémantiques géoréférencés est utilisée. La méthode de « local bundle adjustment » permet d'estimer les paramètres de pose et leurs incertitudes. Chaque appariement d'amer visuel génère un point d'appui qui sera intégré dans le « bundle adjustment » tout en prenant en compte son incertitude. Cela permet de recalibrer la trajectoire de manière implicite. Nous présenterons des résultats d'expérimentation sur plusieurs trajectoires et évaluerons l'apport de l'intégration des amers visuels dans le calcul de trajectoire.



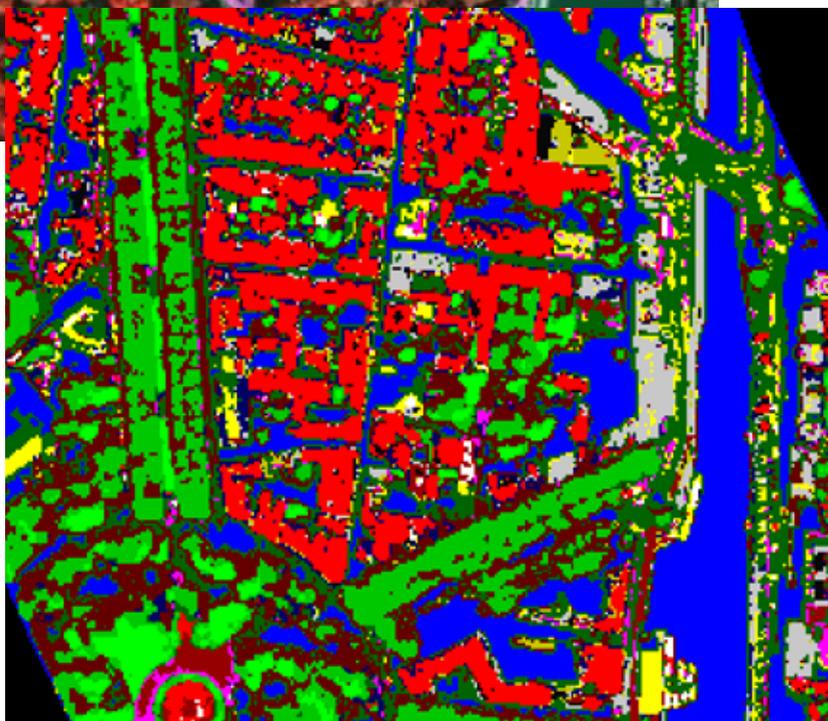
Contribution de l'imagerie hyperspectrale à l'analyse des milieux urbains.

Arnaud LE BRIS

La description de l'occupation du sol permet de produire un certain nombre d'indicateurs environnementaux pour la gestion des écosystèmes et des territoires en réponse à différents besoins sociétaux, réglementaires et scientifiques. Aussi, différentes bases de données décrivant l'occupation du sol existent à différents niveaux (mondial, européen, national, régional ou local) ou sont en cours de constitution, à l'instar de l'Occupation du Sol à Grande Échelle par l'IGN. Il est toutefois apparu que, dans les zones urbaines, la connaissance de l'occupation du sol nécessaire pour certaines applications de modélisation de la ville (simulateurs de micro-météorologie, d'hydrologie, ou de suivi de pollutions), voire de suivi réglementaire (imperméabilisation des sols) doit être plus fine (tant au niveau sémantique qu'au niveau spatial) que ce que contiendra cette base de données. Ainsi, la modélisation fine du milieu urbain nécessite pour certaines applications une connaissance géospatiale des matériaux en présence.

La télédétection apparaît comme la seule solution permettant de produire de telles cartes de matériaux. Néanmoins, du fait de la forte hétérogénéité des matériaux en présence, de leur importante variabilité, mais aussi des fortes ressemblances entre classes distinctes, les capteurs optiques multispectraux «classiques” (ne comportant que les 4 canaux rouge - vert - bleu - proche infrarouge) ne sont pas

suffisants pour assurer une discrimination correcte. Un capteur hyperspectral ou superspectral, c'est-à-dire plus riche spectralement, pourrait donc apporter une solution à cette limite. Plusieurs travaux ont donc été initiés dans ce sens. Des travaux d'optimisation spectrale ont donc été menés dans l'optique de la conception d'un capteur superspectral aéroporté : cela a consisté à identifier, à partir de bibliothèques de spectres de référence, de bonnes configurations spectrales (c'est-à-dire le nombre de bandes, leur position dans le spectre ainsi que leur largeur) pour la classification des matériaux urbains. Pour ce faire, des méthodes de sélection automatique d'attributs ont été mises en œuvre. En parallèle, des travaux sur la fusion d'informations issues d'images multispectrales et hyperspectrales à différentes résolutions spatiales pour la classification ont été menés. En effet, du fait de leur richesse spectrale, l'imagerie hyperspectrale apporte une information thématique importante mais à une résolution spatiale nettement moindre de celle de capteurs multispectraux classiques à très haute résolution spatiale. L'approche proposée consiste à utiliser et combiner ces deux sources d'information au sein d'un processus combinant fusion d'information et régularisation spatiale. Il s'agit d'une approche générique pouvant s'étendre à d'autres cas sources de données que l'hyperspectral.



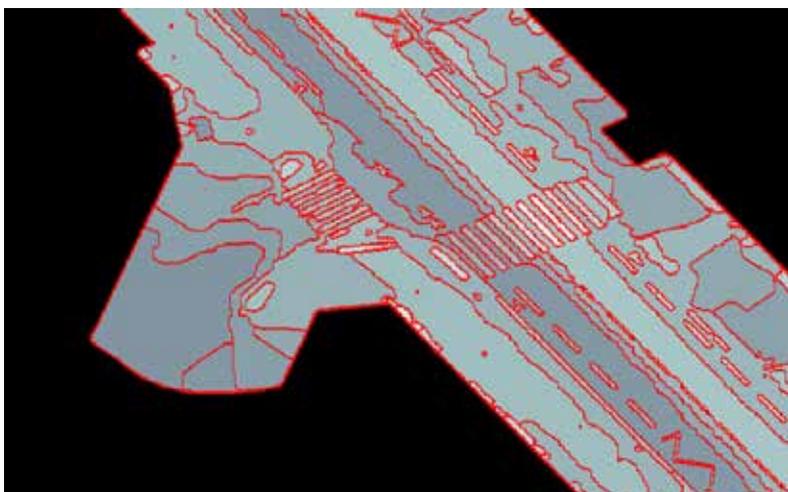
Approches modernes de clustering de graphes et applications IGN.

Loïc LANDRIEU

Le volume considérable des données à la disposition de l'IGN fait du passage à l'échelle une contrainte critique de leur traitement algorithmique. Dans le domaine du Machine Learning, les méthodes de réduction de dimension permettent de diminuer le volume de données tout en contrôlant leur fidélité par rapport aux données originales. Ces méthodes ont prouvé leur efficacité comme prétraitement à l'analyse de données de très grandes tailles, et sont appliquées dans de nombreux domaines.

La structure spécifique des données spatiales rend cette tâche plus complexe, qui peut s'interpréter alors comme un problème de clustering de graphes visant à grouper les points de données en clusters à la fois contigus et homogènes.

Cette réduction permet non seulement de simplifier et généraliser la structure globale des données mais facilite également son interprétation sémantique. En effet les descripteurs extraits des clusters sont plus riches que ceux pouvant être obtenus en considérant les points individuellement. Les développements algorithmiques récents dans le domaine du clustering à grande échelle permettent désormais d'effectuer ces traitements rapidement, avec des contraintes de mémoires efficaces et en autorisant des approches distribuées. Ces méthodes ont un vaste champ d'application pour les problématiques IGN, comme la sémantisation automatique de données urbaines à partir de points LIDAR, la détection de marquage ou la reconstruction de surface.



ITowns en open source et applications.

Alexandre DEVAUX

Le MATIS développe depuis plusieurs années une application de visualisation de données géographiques 3D à travers le web: iTowns. Cette application était originellement conçue pour visualiser les résultats d'algorithmes de classification dans les données images et laser acquises par le véhicule mobile terrestre Stéréopolis. L'application a beaucoup évolué au fil des années et des projets, elle permet aujourd'hui l'affichage et l'interaction avec des données géographiques de toutes sortes (modèles 3D texturés, maillages souterrains, nuages de points, images orientées, données vecteur, etc.) depuis un point de vue qui n'est

pas uniquement terrestre. Depuis 2015, les services de développement de l'IGN ont prêté main forte pour fiabiliser le code et travailler sur sa version 2, intégrant la visualisation notamment depuis l'espace. Récemment, le cœur de l'application est passé en Open Source avec la création d'un comité de pilotage qui rassemble l'IGN et deux PME. Nous présentons ici les principales caractéristiques d'iTowns Open Source, avec différents cas d'utilisation, notamment l'intégration de données, la navigation aérienne et souterraine, l'accessibilité de l'espace public et la trajectographie.



Traitement distribué de nuages massifs de points laser avec Spark.

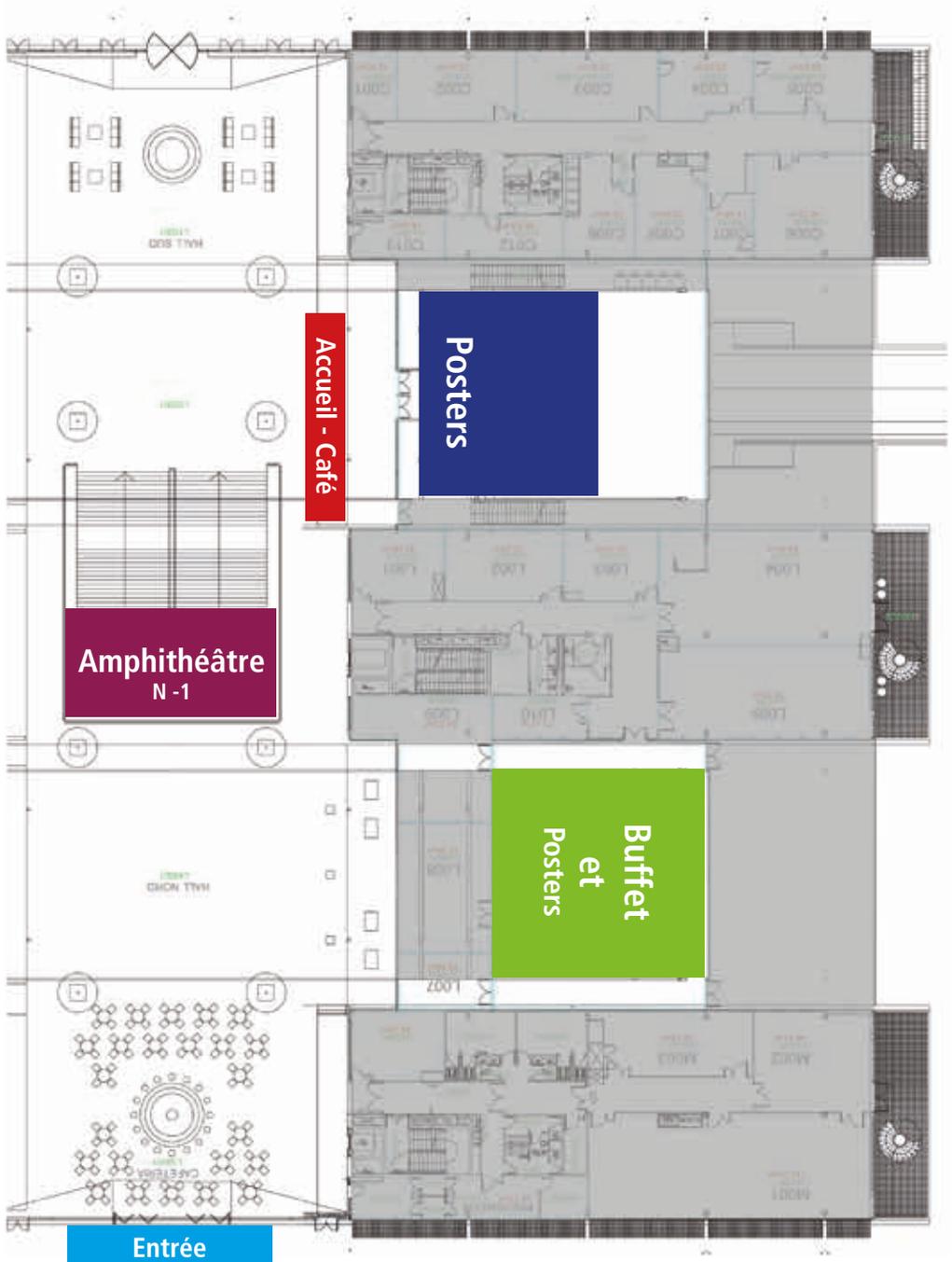
Mathieu BRÉDIF

Des nuages de points 3D sont aujourd'hui acquis massivement à l'aide de capteurs lidar montés sur des vecteurs d'acquisition variés (avion, drone, véhicule mobile, station fixe, sac à dos, etc.). Ces nuages de points permettent de répondre à un nombre croissant d'applications telles que la cartographie 3D, la reconstruction de surface et la modélisation d'environnements 3D, l'urbanisme ou la foresterie. Ces capteurs, de plus en plus précis, sont néanmoins de plus en plus véloces et génèrent donc des quantités de données telles que la gestion et le traitement de ces données massives nécessitent des approches adaptées. La piste étudiée ici est d'adopter un stockage distribué de ces données lidar sur un cluster de machines - un «cloud» - et d'y développer une infrastructure de traitement distribuée appropriée. La solution proposée est basée sur la bi-

bliothèque Spark qui offre, entre autres, des fonctionnalités d'apprentissage, de calcul sur graphes et une abstraction de la mémoire distribuée simplifiant grandement son déploiement multi-machines. Son composant SQL a été étendu afin de pouvoir traiter, directement depuis le système de fichier partagé du cluster, des énormes jeux de données lidar aux formats standards (LAS, PLY, etc.) comme une base de données exécutant des requêtes SQL. Nous montrerons comment cette extension, déposée en open-source sous le nom de spark-iqmulus (du nom du projet européen finançant ces travaux), permet, pour l'exemple, de générer facilement, efficacement et de manière distribuée, des orthoimages centimétriques sur l'emprise d'une ville à partir de données lidar acquises par un véhicule mobile.



École Nationale des Sciences Géographiques Niveau RDC





<http://recherche.ign.fr/>
www.ensg.eu
ign.fr