

Les Geocubes : réseau de capteurs autonomes géolocalisés pour la surveillance de structures et de zones à risque

■ Lionel BENOÎT - Olivier MARTIN - Christophe MEYNARD - Christian THOM

Depuis plusieurs années, le développement des smartphones et les progrès réalisés dans le domaine des systèmes embarqués ont entraîné la commercialisation de composants électroniques bon marché et à faible consommation d'énergie. Le domaine des GNSS n'est pas en reste avec le développement de puces à bas prix (moins de 100 €), dont certaines qui permettent le positionnement à une précision infra-centimétrique grâce à l'utilisation de traitements adaptés. En s'appuyant sur ces technologies, le Laboratoire d'Opto-Electronique, Métrologie et Instrumentation de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN - LOEMI) a développé le concept de Geocube. Il s'agit d'un réseau de capteurs sans fil, géo-localisés et permettant l'ajout modulaire d'une ou plusieurs couches thématiques de capteurs au module de base. Chaque nœud du réseau, nommé Geocube, peut se positionner à l'aide d'un GPS, communiquer grâce à un module radio et servir d'adaptateur, de numériseur et de gestionnaire de données à différentes couches capteurs. De plus une attention particulière a été apportée à la faible consommation des récepteurs qui peuvent ainsi être abandonnés sur le terrain avec un panneau solaire de petite taille comme seule source d'énergie.

MOTS-CLÉS

GPS, réseau de capteurs, surveillance



Figure 1. Le Geocube

fonctionnement. Les données acquises sont ensuite transmises par radio pour être centralisées au niveau d'un nœud principal du réseau où elles seront traitées et archivées dans une base de données. Les différentes fonctionnalités du Geocube sont assurées par trois modules de base (Figure 2) auxquels peuvent s'ajouter des couches capteurs optionnelles :

- **Le module GPS** : ce module est développé autour d'une puce GPS u-blox LEA-6T et d'une petite antenne GPS

Présentation du Geocube

Pour concevoir le Geocube, l'IGN est parti du constat que certains petits modules GPS mono-fréquence fournissent des données brutes permettant un positionnement infra-centimétrique en traitement différentiel ainsi que la datation précise d'événements (Buchli et al, 2012 ; Cattin et al, 2011). D'autre part la précision et la diversité des capteurs de petite taille permettant de mesurer de nombreux paramètres physiques ne cessent d'augmenter, notamment grâce aux technologies MEMS. Cependant la récupération des données issues de ces capteurs demeure souvent complexe et demande beaucoup de temps de développement surtout à cause du grand nombre d'interfaces existantes (I2c, SPI, RS-485, RS-232). Il est donc intéressant

de développer un récepteur géo-localisé basé sur une puce GPS bas de gamme qui permette également, en implémentant une fois pour toute la plupart des interfaces existantes, un ajout simple de capteurs mesurant des paramètres complémentaires au positionnement. Cette idée nous a amenés à concevoir la mécanique, l'électronique et les logiciels d'un système autonome de surveillance : le Geocube (Figure 1).

Chaque Geocube est un dispositif cubique de 7 cm de côté destiné à être abandonné à un nœud d'un réseau de surveillance pour y mesurer la déformation du sol ainsi que d'autres paramètres physiques grâce à différentes couches capteurs. La consommation du récepteur étant très faible, un simple petit panneau solaire (Figure 1) est suffisant pour fournir l'énergie nécessaire à son



Figure 2. Architecture en modules : schéma fonctionnel (gauche) et intérieur d'un Geocube (droite)

basique qui fournissent des mesures de phases GPS, uniquement sur la fréquence L1. Ces données de phases sont utilisées pour calculer une position relative du récepteur au sein du réseau avec une précision infra-centimétrique grâce à un logiciel développé spécialement à cet effet. De plus le récepteur GPS fournit une datation précise qui est utilisée pour asservir en standard l'horloge interne du Geocube à 1.10^{-4} s et pour dater, grâce à une liaison filaire et une mise en œuvre spéciale, les mesures de certains capteurs externes avec une précision de $1\mu s$. Grâce à cette datation, l'ensemble des données acquises par tous les récepteurs du réseau sont exprimées dans une unique échelle de temps.

- **Le module de gestion** : Il coordonne les différentes tâches réalisées au sein du Geocube. Il est conçu à partir d'un micro-contrôleur pour lequel un système d'exploitation dédié, nommé G3OS, a été développé. Ce dernier permet de gérer plusieurs événements arrivant en même temps par ordre de priorité. De plus il s'occupe de l'enregistrement des données brutes sur une carte micro-SD (de 2 Go à 8 Go) et pilote la charge du récepteur à partir d'une source externe d'énergie : secteur, batterie ou panneau solaire. Si l'énergie vient à manquer, G3OS éteint de façon échelonnée les composants les plus gourmands en énergie afin de diminuer la consommation du Geocube qui finit par se mettre en

hibernation en cas d'extrême disette. Les mesures reprennent lorsque de l'énergie redevient disponible.

- **Le module radio** : ce module permet à un Geocube de communiquer avec les autres récepteurs du réseau. Il utilise le protocole Digimesh®, protocole propriétaire proche du Zigbee proposé par Digi International, qui permet à chaque récepteur de router des messages et donc d'exploiter au mieux la topologie du réseau pour l'échange de données. Le lien radio permet la récupération des mesures, le paramétrage des récepteurs et la mise à jour à distance du système d'exploitation des Geocubes.

- **Les couches capteurs** (optionnelles, *figure 3*) : les trois modules présentés ci-dessus forment un Geocube de base sur lequel vont venir se greffer des couches capteurs. La connexion au boîtier principal peut être réalisée de deux façons. Si le capteur est volumineux, ou s'il doit être positionné à distance du Geocube pour être en contact avec le milieu à étudier, il sera branché via l'un des deux connecteurs situés en façade du récepteur. S'il est assez petit et ne présente pas de contrainte de position particulière, il sera placé directement sous le Geocube et relié par un connecteur carte à carte 64 points. Cette structure permet d'empiler plusieurs couches capteurs sous le même récepteur.



Figure 3. Couches capteurs. De gauche à droite : station météo, pression température et humidité de l'air, sismomètre (sous la neige), sonde d'humidité du sol

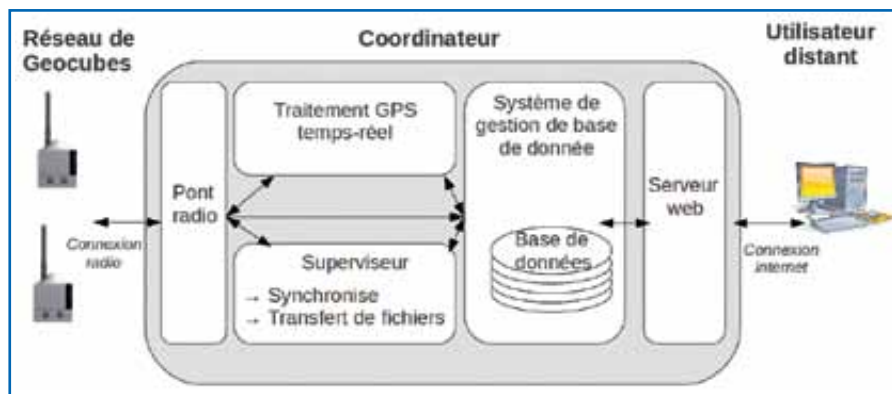


Figure 4. Fonctionnement du coordinateur au cœur du réseau



Grâce à cette structure modulaire et à l'implémentation des principaux protocoles d'interface dans G3OS, de nombreux types de capteurs peuvent être ajoutés. Ainsi différents instruments ont déjà été adaptés pour les besoins du laboratoire LOEMI : une station météo, des sondes mesurant l'humidité du sous-sol, un capteur mesurant la radioactivité ou encore des sismomètres.

Ces caractéristiques font du Geocube un récepteur multi-capteurs géo-localisé sans fil et autonome en énergie. De plus le coût unitaire est environ 10 fois inférieur à celui d'un récepteur GNSS géodésique ce qui permet d'envisager le déploiement de réseaux denses comportant de nombreux nœuds.

Réseau de Geocubes

Le déploiement en réseau local est au cœur du principe du Geocube. Les réseaux envisagés sont toutefois d'étendue limitée car la distance entre récepteurs doit être inférieure à 1 km pour permettre la liaison radio entre Geocubes et limiter fortement les biais atmosphériques lors du positionnement GPS. Mais les zones cibles sont surveillées par un réseau pouvant comporter de nombreux nœuds sensibles ce qui conduit à un maillage dense de l'objet. Ainsi les inhomogénéités de mouvements et les déformations internes de la zone peuvent être suivies. De plus des paramètres supplémentaires (météo, état du sol, sismicité...) peuvent être mesurés en certains points grâce à l'ajout de couches capteurs. L'ensemble des mesures effectuées sont alors transmises en temps réel au

coordinateur du réseau où elles sont consultables par un utilisateur distant moyennant une connexion internet (Figure 4). Il s'agit d'un petit ordinateur de terrain, pouvant être alimenté lui aussi par un panneau solaire. Ses principales fonctions sont :

- Assurer l'interface entre le réseau de Geocubes et l'utilisateur distant.

Pour cela le coordinateur possède un module radio qui communique avec les Geocubes par le protocole Digimesh® et une liaison internet qui assure le lien avec l'utilisateur. Cette connexion internet peut être filaire si le coordinateur se situe en zone accessible, ou par satellite pour les zones isolées.

- **Coordonner les acquisitions** : le coordinateur peut être vu comme le chef d'orchestre du réseau. C'est lui qui transmet aux Geocubes les ordres venus de l'utilisateur et qui synchronise les acquisitions en pouvant endormir et réveiller simultanément l'ensemble des récepteurs. De plus, lors de l'installation, c'est lui qui réalise la "découverte" du réseau qui permet de repérer les Geocubes présents sur la zone d'étude.

- **Réaliser les traitements GPS** : les calculs de positionnement sont réalisés au niveau du coordinateur où les données sont centralisées, ce qui rend possible un calcul en réseau qui améliore la précision et la fiabilité du résultat. Les Geocubes se contentent donc d'acquérir des données de phases et de les transmettre une fois compressées, ce qui leur permet d'économiser de l'énergie et donc de renforcer leur autonomie.

- **Archiver les données** : Les données de positionnement ainsi que les données des couches capteurs collectées par le réseau et centralisées dans le coordinateur sont archivées dans une base de données. Cette base de données permet le stockage des données finales issues de calculs et leur consultation par l'utilisateur du réseau.

Le coordinateur est donc le cœur du réseau. Il permet la centralisation, le traitement et l'archivage des données. De plus c'est par lui que passe l'administration et l'exploitation du réseau par l'utilisateur distant.

Positionnement d'un Geocube au sein du réseau

Le positionnement relatif de chaque Geocube au sein du réseau avec une précision infra-centimétrique est obtenu à partir des données GPS collectées. Pour cela un logiciel de traitement dédié a été développé (Figure 5). Afin d'obtenir la précision désirée, les données de phase sont utilisées comme observables. Comme les récepteurs utilisés sont mono-fréquence, un positionnement relatif basé sur des doubles différences est réalisé afin d'atténuer très fortement les biais dus à la propagation des ondes dans l'atmosphère. Les lignes de base étant très courtes (inférieures au kilomètre), cette stratégie élimine le biais ionosphérique ainsi que les erreurs d'horloges et atténue très fortement le biais troposphérique. La partie non différenciée du biais troposphérique est finalement modélisée à l'aide d'une fonction de projection de Niell couplée au modèle de Saastamoinen ; les seuls paramètres à estimer sont alors les coordonnées des Geocubes.

Le traitement en réseau intègre simultanément les données de tous les récepteurs au calcul. L'utilisation de pivots (satellite et récepteur) lors de la formation des doubles différences rend les observations corrélées ce qui impose une matrice de variance-covariance des observations pleine pour obtenir un résultat indépendant du choix des pivots. La mise en référence s'effectue simultanément en ajoutant une contrainte lâche sur les coordon-

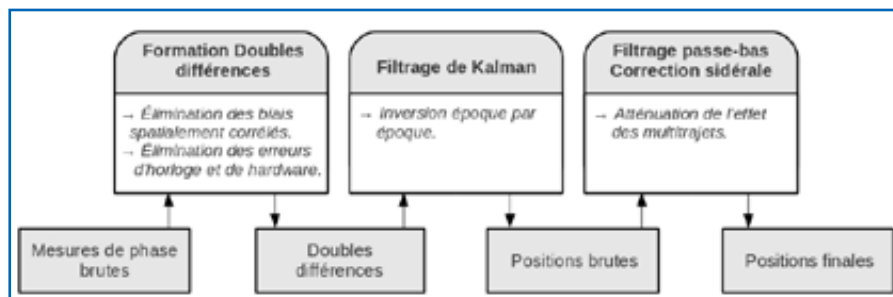


Figure 5. Les différentes étapes du calcul de positionnement

nées de Geocubes supposés fixes, situés sur des zones stables (rives d'un glacier, bâtiment stable...). Un filtre de Kalman étendu permet ensuite une résolution époque par époque du système qui aboutit au calcul d'une position pour chaque récepteur à une fréquence égale à la fréquence d'échantillonnage des observations (Figure 5). Ce processus ne peut être réalisé en temps réel que grâce au transfert par radio des phases compressées entre les Geocubes et le coordinateur.

Atténuation de l'effet des multitrajets et précision atteinte

La faible longueur des lignes de base au sein d'un réseau de Geocubes élimine par différentiation la quasi-totalité des biais spatialement corrélés. Les principales sources d'erreurs brisant les positions sont donc provoquées par l'environnement proche du récepteur. En premier lieu les multitrajets, réflexions/diffusions des ondes GPS sur l'environnement proche du récepteur interférant au niveau de l'antenne avec les ondes directes (Larson et al, 2007), ont un impact important dans le cas des Geocubes. En effet les antennes utilisées possèdent un lobe de gain quasi-sphérique qui les rend bien plus sensibles à ce phénomène que les antennes spécialement conçues pour rejeter les ondes venant du sol (*choke-ring* par exemple) qui équipent les récepteurs géodésiques. La variation des centres de phase des antennes peut également être assimilée à l'effet de multitrajets générés par le récepteur lui-même. Afin d'atténuer l'impact de ces perturbations, deux stratégies de dé-bruitage des positions brutes sont implémentées dans notre chaîne de calcul (Figure 5).

Pour cela on exploite tout d'abord le fait que, dans le cas de mouvements lents, la fréquence caractéristique des multitrajets (0.1 Hz à 0.001 Hz) est disjointe de celle des mouvements observés qui sont plus basse fréquence. Un filtrage des positions brutes par un filtre passe-bas permet donc de rejeter les multitrajets. Pour réaliser ce traitement nous appliquons aux positions brutes un filtre de Kalman basique comportant un faible bruit de processus. Il présente l'avantage de réaliser le filtrage désiré en temps réel avec une faible complexité de calcul. La solution filtrée présente une bien meilleure répétabilité que la position brute mais elle n'accommode que lentement les mouvements soudains (Figure 6).

Afin de détecter quasi instantanément les mouvements brusques, une autre méthode de correction est utilisée. Elle s'appuie sur le fait qu'au premier ordre les multitrajets ne dépendent que de la géométrie du système satellite – réflecteur – antenne. Comme la constellation des satellites GPS se répète à chaque jour sidéral (Agnew et al, 2007), les multitrajets se répètent également si l'environnement proche du récepteur reste inchangé. Dans le cas de faibles

mouvements (< 10 cm/jour) qui est extrêmement fréquent pour les chantiers de surveillance, cette hypothèse est en grande partie vérifiée. Une solution d'atténuation de l'effet des multitrajets consiste alors à réaliser une correction sidérale (Figure 6) en soustrayant aux données brutes du jour courant un modèle de multitrajets calculé à partir des données de jours sidéraux précédents. La principale limitation vient de la répétition imparfaite des multitrajets d'un jour à l'autre, en grande partie due à l'effet de la constante diélectrique sur les réflexions qui varie avec les paramètres météorologiques (Larson et al, 2008).

Finalement trois solutions sont fournies en sortie du calcul de positionnement (Figure 6) :

- Une solution brute directement issue de l'inversion des données de phase qui accomode rapidement tous types de mouvements mais demeure relativement bruitée avec une répétabilité (3σ) de 1.5 cm en planimétrie et 2.5 cm en altimétrie.
- Une solution filtrée qui présente une bonne répétabilité (3σ) de 0.6 cm en planimétrie et 1.2 cm en altimétrie. Par contre elle ne permet que le suivi de mouvements lents et réguliers, la détection et l'accommodation de mouvements brusques étant différée.
- Une solution comportant une correction sidérale qui permet de détecter les mouvements brusques et possède une répétabilité (3σ) de 0.8 cm en planimétrie et 1.5 cm en altimétrie. Cette solution présente un bon compromis dispersion/accommodation des mouvements, mais peut être

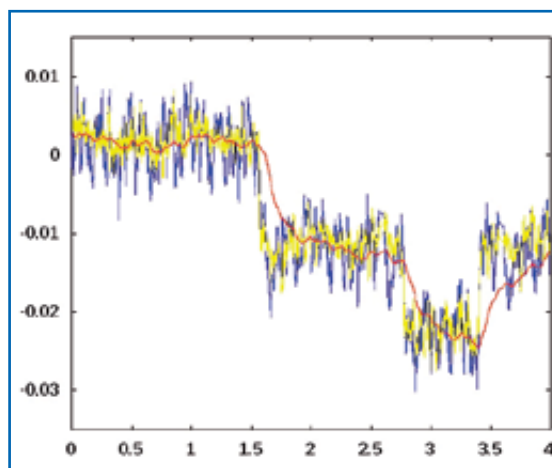


Figure 6. Différentes solutions appliquées à la mesure d'un même mouvement.

Bleu : solution brute, jaune : solution avec correction sidérale, rouge : solution filtrée. Abscisses : temps (jours) ; Ordonnées : déplacement (m). Un mouvement de 1.2 cm a lieu au jour 1.5, un mouvement de 1 cm a lieu au jour 2.7 avec retour en position initiale au jour 3.4.



dégradée lors des changements de conditions climatiques.

L'utilisateur peut alors choisir entre ces différentes solutions pour construire un outil adapté au chantier en cours, tout en étant obligé de faire un compromis entre répétabilité de la solution et rapidité de détection des mouvements.

Utilisation des Geocubes pour des chantiers de mesure de déformations

■ Déploiement et exploitation

Plusieurs aspects du design des Geocubes facilitent en pratique le déploiement de réseaux denses de capteurs :

- Le faible coût unitaire permet de multiplier les points de mesure.
- La faible consommation d'énergie permet l'alimentation des récepteurs par des panneaux solaires ou des batteries de petite taille, faciles à transporter et à installer.
- La communication sans fil allège l'installation à réaliser.

Les seules contraintes lors de l'installation d'un réseau de Geocubes sont la présence de zones stables à proximité afin d'établir des références et la possibilité d'accéder au moins une fois à la zone d'étude pour déployer les récepteurs. Le déploiement suit les étapes suivantes :

- 1) Installation de Geocubes sur des références stables (typiquement 2 à 3).
 - 2) Monumentation des points d'intérêt dans la zone mobile et installation des Geocubes.
 - 3) Installation du coordinateur et mise en place d'une connexion internet.
 - 4) Réalisation d'une session de mesure de 3 h pour déterminer les positions initiales des références et des points mobiles.
 - 5) Lancement du suivi des déformations (1^{er} jour) : seules les solutions brutes et filtrées sont disponibles car aucune correction sidérale n'est encore connue.
 - 6) Suivi des déformations : après un jour d'initialisation les trois solutions présentées ci-dessus sont disponibles en continu et en temps réel.
- Une fois le réseau installé il peut être



Figure 7. Différentes étapes du déploiement d'un réseau de Geocubes.
Haut gauche : monumentation d'un récepteur mobile sur glace.
Haut droit : monumentation d'un récepteur fixe.
Bas : installation du coordinateur et d'une connexion internet par satellite.



re-configuré et maintenu à distance depuis n'importe quel terminal distant. Les paramètres d'acquisition des données et du calcul de positionnement peuvent être changés et les logiciels présents dans les Geocubes et le coordinateur peuvent être mis à jour. De plus l'installation permet de réaliser automatiquement l'acquisition continue des données, leur transfert par radio et un traitement GPS temps réel qui aboutit à un positionnement en temps réel de tous les récepteurs du réseau par rapport aux références fixes. Les positions calculées peuvent être consultées à tout moment par l'utilisateur en interrogeant la base de données du coordinateur où sont stockés tous les résultats. Une seule intervention sur le site est donc nécessaire pour toute la durée du chantier (Figure 7). Seules les étapes 1 à 3 du déploiement nécessitent une intervention sur le terrain qui prend environ 5 jours-homme pour l'installation d'un réseau de 20 Geocubes et 1 coordi-

nateur sur une zone accidentée et difficile d'accès ne possédant pas de connexion internet (glacier ou glissement de terrain par exemple).

■ Exemple de déploiement de réseaux de Geocubes

Lors du développement du système, deux déploiements de réseaux de Geocubes ont été réalisés par le laboratoire LOEMI afin de tester l'infrastructure et de qualifier le positionnement obtenu. Ils ont permis d'étudier pendant deux mois le comportement du glissement de terrain de Super-Sauze en collaboration avec l'IFSTAR, le CEREMA (direction Centre-Normandie) et l'IPGS (été 2012, figure 8), ainsi que le glacier d'Argentière en partenariat avec les laboratoires LISTIC et EDYTEM de l'Université de Savoie (automne 2013, figure 9). De plus ces expériences ont été l'occasion de mettre au point et de tester la plupart des couches capteurs développées jusqu'à maintenant.

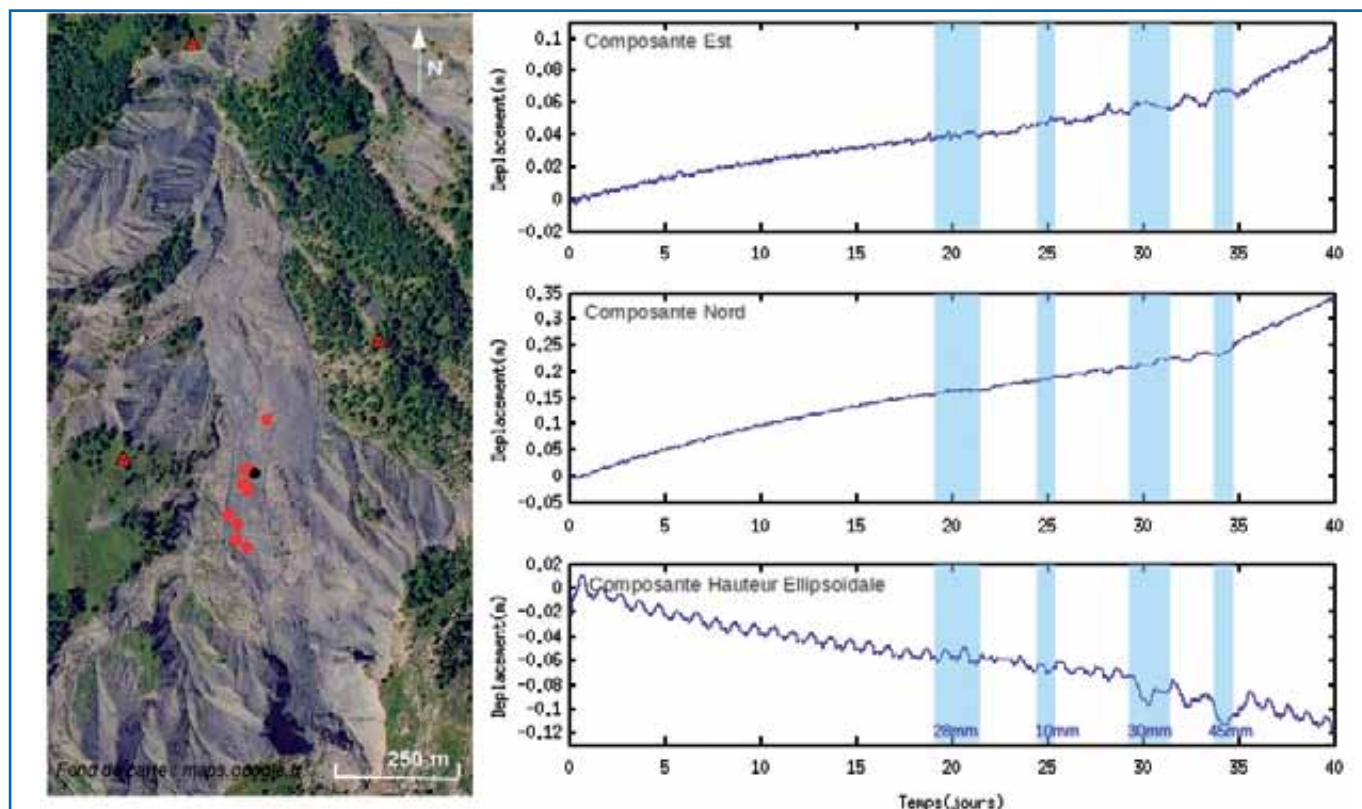


Figure 8. Surveillance du glissement de terrain de Super-Sauze par un réseau de Geocubes.

Gauche : Carte du réseau déployé (triangle = récepteur fixe, point = récepteur mobile).

Droite : Séries temporelles pour un récepteur (en noir sur la carte) corrélées aux précipitations mesurées (bleu).

Ces deux tests ont démontré le bon fonctionnement de l'infrastructure dans des conditions parfois difficiles (fortes pluies, neige, gel) et ont montré la capacité d'un réseau de Geocubes pour suivre des déplacements allant de 1 cm/jour (glissement de terrain de Super-Sauze) à 20 cm/jour (glacier d'Argentière) avec une précision de positionnement relatif souvent meilleure que le centimètre. A l'issue de ces expériences des cartes de déplacements internes ont pu être calculées (Figure 9) afin de détecter les hétérogénéités de mouvements générant des déformations d'objets étudiés. En complément des positions des Geocubes, les données acquises par les capteurs additionnels (les couches capteurs) en certains nœuds du réseau permettent d'interpréter, de compléter ou d'assurer la fiabilité des déplacements mesurés. Par exemple des inclinomètres placés dans les Geocubes permettent de vérifier la verticalité des récepteurs au cours du temps et donc de détecter des mouvements parasites induits par une mauvaise monumentation conduisant à l'inclinaison des capteurs. Ces

données nous ont été particulièrement utiles lors de la surveillance du glacier d'Argentière où les Geocubes placés sur des tiges de 2 m ancrées dans la glace se sont inclinés à cause de la fonte de la surface du glacier. D'autre part des capteurs météorologiques et des sondes mesurant l'humidité du sol ont permis, lors de la surveillance du glissement de terrain de Super-Sauze, d'interpréter les variations de vitesses mesurées par GPS lors de passages pluvieux (Figure 8).

Au cours de ces dernières années les Geocubes ont donc été utilisés essentiellement pour étudier des objets géophysiques. Ces tests ont permis de démontrer le bon fonctionnement du système dans des lieux isolés et soumis à des conditions climatiques difficiles.

Conclusion

Le Geocube est né de la volonté de coupler les capacités de positionnement et de datation des GNSS avec la mesure co-localisée d'autres paramètres physiques, tout en obtenant un

récepteur économe en énergie et de faible coût. Pour l'instant la puce utilisée pour le positionnement ne fournit que des données GPS, mais les développements actuels dans le domaine des modules GNSS devraient permettre l'exploitation d'autres constellations comme Glonass et Galileo dans un avenir proche. Le système obtenu est opérationnel pour la surveillance de zones de taille kilométrique à l'aide d'un réseau de capteurs sans fil, facile à déployer et opérable à distance. Le déplacement de l'objet étudié ainsi que ses déformations internes peuvent être suivis en continu et en temps réel avec une précision infra-centimétrique. Des tests de déploiement de réseaux de Geocubes ont été menés avec succès par l'IGN pour l'étude d'un glissement de terrain et d'un glacier. Cependant les ouvrages d'art (par exemple digues, barrages, talus ou ponts) et les zones présentant une subsidence locale (effondrement minier, passage d'un tunnelier) sont à terme la principale cible des Geocubes. Afin de permettre l'utilisation des Geocubes dans ce contexte par une communauté d'utilisateurs dépassant

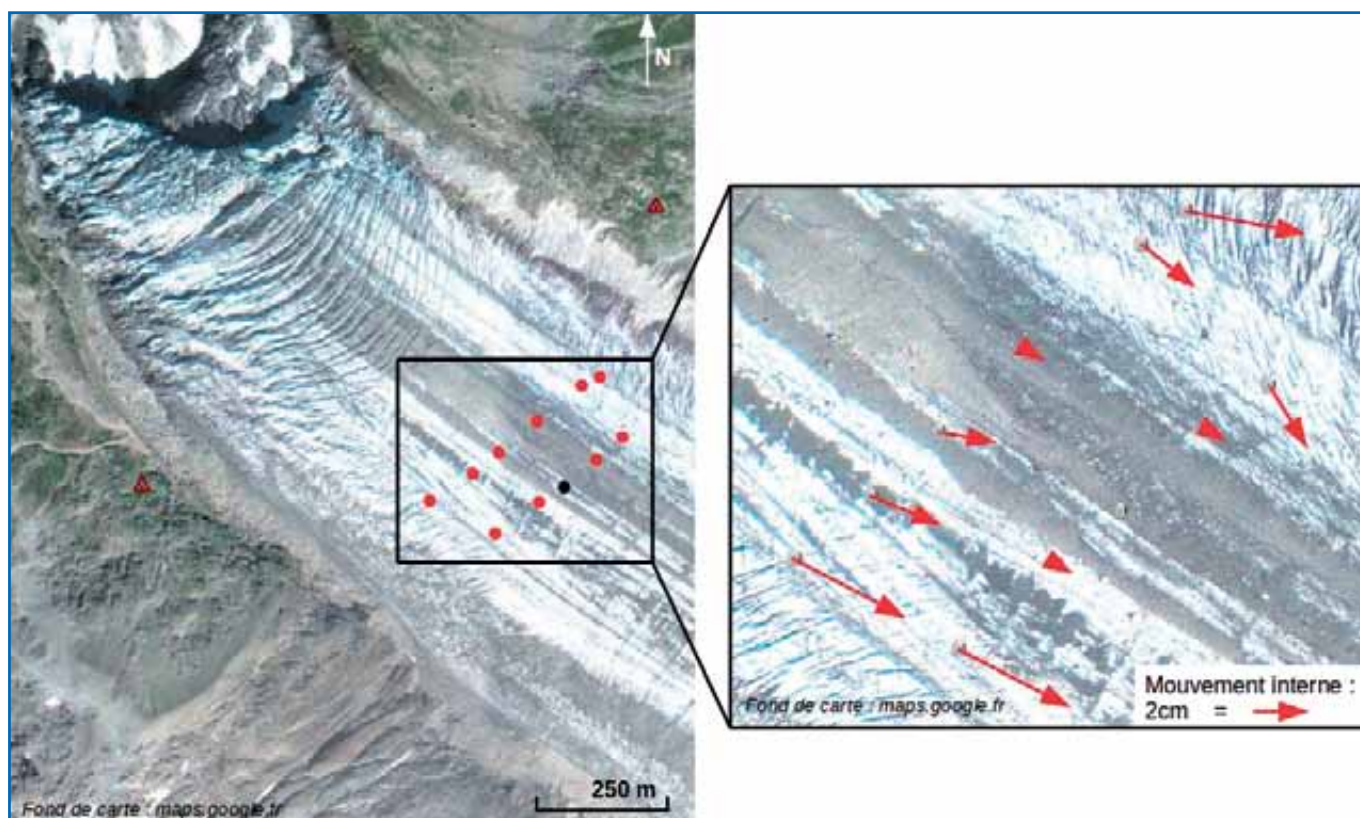


Figure 9. Surveillance du glacier d'Argentière par un réseau de Geocube.
Gauche : Carte du réseau déployé (triangle = récepteur fixe, point = récepteur mobile).
Droite : Déplacements internes pour 5 jours de mesures. Les déplacements absolus sont importants (~70 cm) et très semblables.
On représente donc les déplacements relatifs dans le référentiel d'un récepteur fixé arbitrairement (en noir sur la carte).



les développeurs du système, une phase d'industrialisation du produit est actuellement en cours. Il s'agit d'automatiser le système et de rendre son utilisation plus simple grâce à une interface ergonomique. Une fois cette phase achevée, le challenge suivant consistera sans doute à permettre l'intégration de quelques récepteurs géodésiques bi-fréquences dans les réseaux de Geocubes afin d'augmenter l'étendue des chantiers potentiels. ●

Contacts

Lionel BENOIT Doctorant, IGN – LOEMI,
lionel.benoit@ign.fr

Olivier MARTIN
Ingénieur de recherche, IGN – LOEMI, olivier.martin@ign.fr

Christophe MEYNARD
Ingénieur de recherche, IGN – LOEMI,
christophe.meynard@ign.fr

Christian THOM
Chef du LOEMI, IGN – LOEMI,
christian.thom@ign.fr

Bibliographie

Agnew D.C., Larson K., *Finding the repeat times of the GPS constellation*, GPS Solutions, 11, pp. 71-76, 2007

Buchli B., Sutton F., Beutel J., *GPS-Equipped Wireless Sensor Network Node for High-Accuracy Positioning Applications*, in : Proceeding of the 9th European Conference on Wireless Sensor Networks (EWSN 2012), pp. 179-195, 2012

Cattin P., Brahier J., *Geomonitorage par GPS avec des équipements à faible coût*, Geomatique Suisse, 06/2011, pp.306-308, 2011

Larson K., Bilich A., Axelrad P., *Improving the precision of high-rate GPS*, Journal of Geophysical Research, 112, doi:10.1029/2006JB004367, 2007

Larson K., Small E., Gutmann E., Bilich A., Axelrad P., Braun J., *Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: Initial results*, GPS Solutions, 12, pp. 173-177, 2008

ABSTRACT

In order to monitor small extend structures (dams, bridges, buildings) or geophysical objects (landslides, glaciers) the French national mapping agency (IGN) developed its own wireless multi-sensor geo-monitoring system named Geocube. The basic device is equipped with a GPS chip (ublox LEA-6T) and a wireless communication module. It can be supplemented with various sensor modules such as meteorological sensors, ground humidity and pressure sensors or seismographs. Thanks to the low cost of each receiver, spatial dense surveying networks can be deployed. Data are continuously collected and transmitted to a processing computer in real-time as well as saved in situ on a Micro-SD card. Raw GPS carrier phase data give access to real-time relative positioning on all mesh nodes if small baselines are used and a centimeter level precision is reached. Two field tests were carried out in order to ensure the capability of the system under operational conditions. The acquired data were used for the geophysical study of a landslide and a glacier.