

Geocube

Réseau de capteurs autonomes géolocalisés





L'IGN travaille depuis 2006 sur le développement d'un système novateur de mesure, de surveillance et d'alerte au niveau de zones présentant des risques importants de mouvements du sol. Ce système a été baptisé Geocube pour cube géolocalisé; c'est en effet un objet de forme cubique qui contient entre autres un module GPS.

L'IGN est parti de quatre constats :

- certains petits modules GPS peu coûteux fournissent des données brutes intéressantes pour atteindre des niveaux de précision sub-centimétrique en relatif

après post-traitement.

- La précision et la diversité des capteurs de petite taille ne cessent d'évoluer et ces capteurs deviennent de ce fait, de plus en plus intéressants
- la récupération des mesures fournies par les capteurs demeure complexe et exige beaucoup de temps de développement.
- Les concepteurs de semi-conducteurs propose des circuits intégrés à consommation de plus en plus réduite.

Description d'un Geocube

Les Geocubes ont été conçus à l'origine pour surveiller des zones présentant des risques importants de glissement de terrain. Afin de surveiller ces surfaces étendues (sans excéder le kilomètre), ils travaillent en réseau et transmettent les informations à un nœud central connecté à internet. La communication entre chaque nœud du réseau s'effectue par radio ce qui permet de s'affranchir de tout lien filaire. Les Geocubes sont autonomes, ils utilisent, lorsqu'aucune autre source d'énergie n'est disponible, le soleil grâce à des panneaux solaires pour recharger leurs batteries. Il est indispensable pour chaque Geocube, en tant que système de surveillance et donc d'alerte, d'avoir une **autonomie illimitée** durant les mois ou les années de fonctionnement. Un soin tout particulier a donc ainsi été apporté pour réduire le plus drastiquement possible la consommation de l'ensemble des éléments électroniques constituant les Geocubes.

Le capteur central des Geocubes est un module GPS muni d'une petite antenne; ce capteur permet, grâce à la technologie GPS qui est très précise en différentiel, de suivre avec une très grande précision les déformations des mailles du réseau de Geocube.

Le Geocube a une structure modulaire permettant d'étendre ses possibilités, de surveiller d'avantage de données physiques. Chaque axe d'étude tels la météorologie, le suivi de la qualité de l'air ou encore le suivi du taux de radioactivité, est représenté sous la forme d'une couche capteur directement empilable sur une autre et sous le bloc de base Geocube qui a toutes les ressources nécessaires pour transmettre ces mesures.

Un GeoCube est basé autour de trois modules : un module GPS, un module de gestion et un module radio.

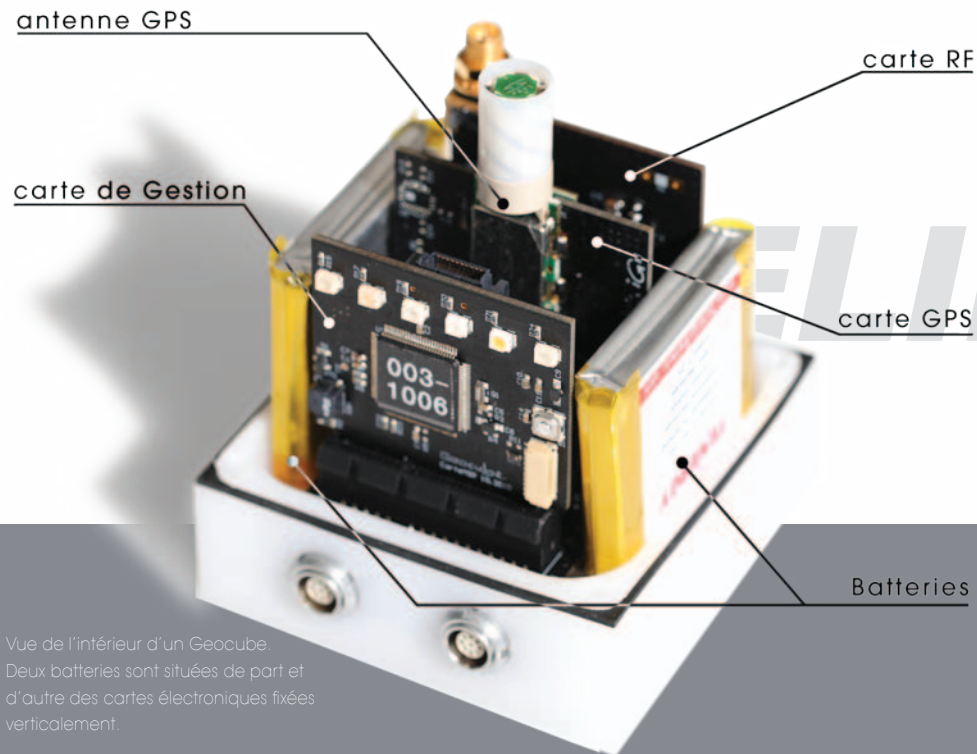
Le module GPS, de faible coût, permet d'obtenir soit une localisation absolue approchée, soit une localisation relative sub-centimétrique. En effet, si l'on considère plusieurs récepteurs GPS installés sur une surface d'environ 1 km², les précisions de positionnement entre récepteurs sont excellentes par rapport à la précision absolue de chacun des éléments. Le module GPS fournit, de plus, une précision temporelle meilleure que la microseconde ce qui est particulièrement intéressant pour dater des événements capteurs.

Le module radio permet la communication sans fil entre GeoCubes. Les fréquences utilisées peuvent être 2.4GHz¹ ou 900MHz². L'atout d'un tel module sera sa faible consommation qui provient en particulier de son très faible débit de l'ordre de 250kbps maximum alors que le wifi propose souvent des débits maximum supérieurs à 56Mbps au coût d'une consommation d'énergie importante.



1 2.4GHz est aussi utilisée pour le wifi
2 868MHz pour l'Europe et 900MHz pour les Etats-Unis. Ces fréquences permettent d'atteindre de plus longues portées que le 2.4GHz, supérieures au kilomètre.

Le module de gestion coordonne différentes tâches permettant d'acquérir des données, de les envoyer ou de les sauvegarder. Ces données peuvent provenir du module GPS mais aussi des capteurs internes ou externes. La gestion de l'énergie est elle aussi assurée par ce module.



Vue de l'intérieur d'un Geocube.
Deux batteries sont situées de part et d'autre des cartes électroniques fixées verticalement.

Le module GPS : précision de géolocalisation, précision temporelle

Le module GPS contenu dans chacun des GeoCubes permet d'obtenir d'excellentes précisions aussi bien en terme de positionnement que temporellement. C'est pourtant un module GPS mono-fréquence L1 comme ceux contenus dans les systèmes de navigation automobiles. Néanmoins, il possède la particularité de fournir des mesures de phase de la porteuse L1 qui permet d'atteindre des précisions très intéressantes en travaillant en différentiel.

En effet, après environ deux heures de collecte de données brutes GPS (phase, doppler...), et un post-traitement en différentiel par rapport à un GPS fixe bi-fréquence, la position relative d'un GeoCube est connue avec une précision sub-centimétrique en planimétrie ($x, y < 5\text{mm}$ $z < 2\text{cm}$). Il est donc possible de suivre des mouvements d'heure en heure ou d'un jour à l'autre, d'une année sur l'autre.

De plus, le module GPS du GeoCube permet de dater des événements avec une précision meilleure que la microseconde³. Les GeoCubes étant conçus pour fonctionner en réseau, cette caractéristique permet de corréler temporellement les divers événements mesurés au niveau de chacun des noeuds du réseau. Il est alors possible, par exemple, de mesurer la vitesse de propagation d'une onde sismique sur la superficie couverte par un réseau de GeoCubes munis de capteurs sismiques.

Par ailleurs, il est aussi possible de déclencher des événements parfaitement synchrones (avec une précision meilleure que la microseconde).

Le module de gestion

Le module de gestion a été conçu à partir du microcontrôleur MSP430F5438A de Texas Instrument de la famille des microcontrôleurs 16-bits «ultralow-power». Cette famille est particulièrement adaptée pour des applications embarquées fonctionnant sur batterie en offrant différents modes d'endormissement plus ou moins profonds par sélection du ou des périphériques à éteindre. De plus, le passage du mode «standby» avec une consommation de 2,1µA, au mode éveillé 4mA, se fait en seulement 5µs ce qui en fait l'un des microcontrôleurs les plus rapides de sa catégorie.

Ce CPU va recevoir des informations depuis les modules GPS et radio mais aussi depuis les capteurs internes ou externes et ce de manière complètement asynchrone. Les micros systèmes d'exploitation (micros OS) proposés sur le marché en 2008-2009 n'étant pas adaptés ni à ce mode de fonctionnement ni à ce dernier né de la famille des microcontrôleurs basse consommation, il a fallu développer, un micro OS «g3OS» (aussi appelé «scheduler») permettant une gestion pseudo-multitâche :

- «pseudo» car il n'y a évidemment qu'un seul processeur;

- «multitâche» car plusieurs événements arrivant en même temps sont gérés par ordre de priorités. Ces priorités sont définies au préalable et permettent au système de jongler de manière rigoureuse et optimisée pour un bon fonctionnement.

Le microcontrôleur est relié via une liaison SPI à une carte mémoire amovible microSD. L'écriture et la lecture suivent la norme du système de fichier FAT32 ce qui rend ces cartes consultables sur un PC standard. Toutes les com-

mandes de gestion de fichiers sont donc accessibles permettant entre autre de créer, supprimer, renommer ou lire des fichiers.

Le firmware des Geocubes se présente sous la forme d'un fichier qui est placé sur la carte microSD. Un Geocube démarre toujours en lançant un petit bout de code appelé «bootloader». Ce dernier compare dans un premier temps la version du firmware présent sur la carte microSD par rapport au firmware installé. Si le firmware de la carte mémoire est plus récent, il est alors installé par le bootloader. La carte mémoire contient toujours un firmware de secours se contentant du strict minimum de fonctionnement (avec gestion du module radio). En cas d'échec de l'installation d'un nouveau firmware, le bootloader prend l'initiative d'installer le firmware de secours. Et c'est grâce à ce mécanisme qu'il est possible de **mettre à jour un firmware à distance** : il suffit d'envoyer un nouveau firmware via le réseau puis de relancer le Geocube (commande à distance) afin que le bootloader l'installe de façon fiable et sécurisée.

#	NAME	S	Pr	Timer	Fre/Stk	Scheduled	WaitQueue
01	DKM3	W	7	0	86/110	1	<tm2msg.sigTM2> [1B64E]
02	SPrs	W	2	0	94/110	1	<sensorCtxt.wq> [17A22]
03	SOEL	W	2	0	94/110	1	<sensorCtxt.wq> [17A22]
04	Shcc	W	2	0	94/110	1	<sensorCtxt.wq> [17A22]
05	gpsS	W	5	0	97/130	196	<gpsCmdBuffer.wq> [1A824]
06	gpsR	W	7	0	107/130	248433	<gpsBuffer.wq> [1B512]
07	rFWK	W	4	0	62/80	1	<rFRRX.sig> [1B64E]
08	rFCM	W	4	0	111/130	1	<rFCMSig> [1B64E]
09	rFBY	W	5	0	28/45	2	<rFRXDusy.sig> [1B64E]
10	rFRX	W	8	0	47/70	138	<rFBufferIn.wq> [1B512]
11	tkey	W	7	0	20/40	2	<sigTouchInt> [1B64E]
12	usb	W	8	0	91/130	22	<usbBuffer.wq> [153A8]
13	rs32	C	3	0	66/130	6816	[12FE2]
14	HBT	S	5	98	21/40	202	[1713C]
15	IDLE	R	0	0	24/40	2717	[10284]
16	main	W	10	0	34/90	88	<semMainTask> [1B64E]

Voici pour exemple, la liste de 16 tâches lancées au démarrage d'un Geocube. La 4ème colonne indique les priorités de chacune des tâches (du moins prioritaire : valeur nulle au plus prioritaire : valeur 10). La tâche rFRX s'occupant de la réception des messages provenant du module radio est ainsi prioritaire par rapport à la tâche rFCM d'émission des commandes via ce même module radio.

La sixième colonne représente la taille restante par rapport à la taille totale des piles consacrée à chaque tâche.

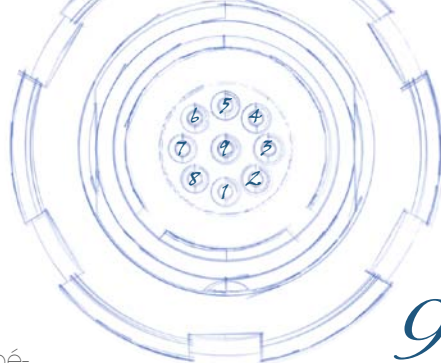
Enfin, la colonne 7, montre le nombre de fois qu'une tâche a été exécutée.

Interface avec les capteurs

Un Geocube est un système qui se doit d'être modulaire afin d'étendre ses possibilités. Le Geocube est finalement une base sur laquelle vont venir se greffer des couches capteurs. L'interfaçage peut être fait de deux façons différentes :

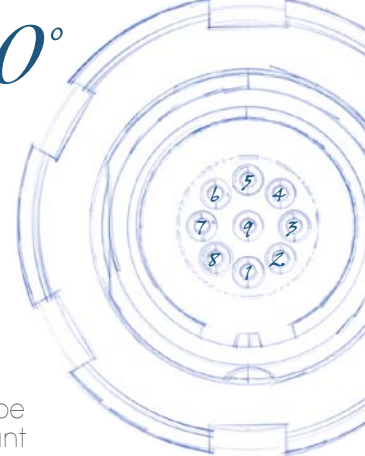
- soit le capteur est volumineux, avec des dimensions supérieures à 65mm ou encore si le capteur doit être positionné à une certaine distance comme par exemple des sondes d'humidité du sol, alors dans ce cas, l'utilisation de l'un des connecteurs externes sera privilégié.

- soit le ou les capteurs seront intégrés dans ce qui est appelée «couche capteur». L'interface électronique est alors un connecteur



90°

30°



carte-à-carte 64 points situé sous chaque Geocube et répété sous chaque couche capteur, permettant d'ajouter plusieurs couches capteur les unes sous les autres.



PRELIMINARY

Les deux connecteurs externes ont des détrompeurs différents: l'un avec des rainures à 90° et l'autre avec des rainures à 30°. Grâce à des interrupteurs internes, le connecteur 30° peut avoir des fonctions différentes ce qui permet de communiquer avec l'extérieur soit en SPI, soit en i2c+USB, soit en UART+i2c, soit en UART+USB. Ce même connecteur permet entre autre de dater un événement ou d'émettre des pulses avec la précision temporelle du GPS.

n°	connecteur 90°	connecteur 30°
1	7,5 - 36V	Sortie 12V
2	7,5 - 36V	SPI - MOSI ou i2c - SDA ou UART - TX
3	7,5 - 36V	SPI - MISO ou i2c - SCL ou UART - RX
4	USB - DP	SPI - CLK ou i2c - SDA ou USB - DP
5	USB - DM	SPI - CS ou i2c - SCL ou USB - DM
6	5V USB	datation événement / pulse GPS
7	MASSE	entrée / sortie microcontrôleur avec interruption
8	MASSE	entrée / sortie microcontrôleur générique
9	MASSE	MASSE

Différentes couches capteur développées à l'IGN :

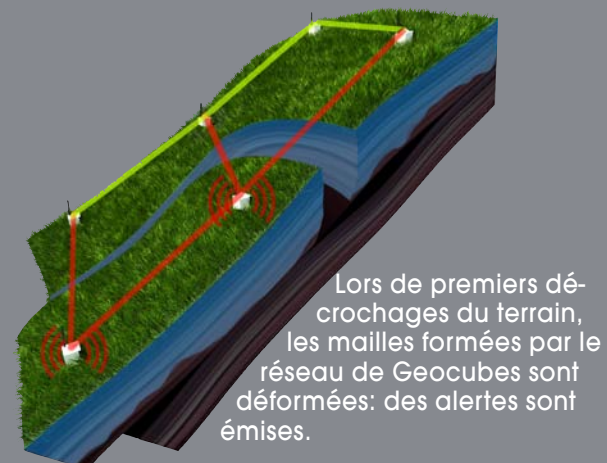
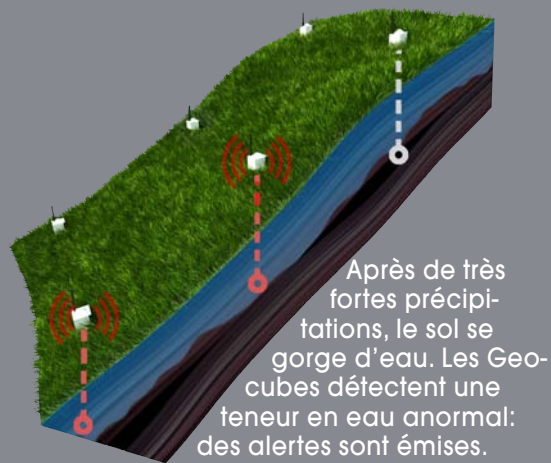
à gauche, un Geocube monté sur la couche capteur de radioactivité. Au milieu, la couche capteur qualité de l'air surmontée d'une carte d'interfaçage (il en existe de différentes hauteurs: 20, 30, 40mm) qui pourrait venir s'insérer sous le bloc de gauche. à droite, la couche météo intégrant un thermomètre, capteur d'humidité et anémomètre/girouette à ultrasons.

Surveillance des zones présentant de forts risques de glissement de terrain

Lorsque l'on étudie les glissements de terrain survenus dans le passé, on peut se rendre compte que la zone de rupture est très localisée: les distances sont inférieures au kilomètre. Par ailleurs, ces terrains pentus sont bien souvent dégagés : ils ont été déboisés ou sont naturellement peu fournis en végétation. Cette caractéristique favorise la pénétration de l'eau et diminue la résistance du sol.

Un réseau de Geocube installé sur un site présentant de forts risques de glissement de terrain va permettre de suivre les déformations du terrain: certains Geocubes seront en dehors de la zone de rupture et ne bougeront donc pas alors que les autres se déplaceront en suivant les gonflements ou autres mouvements du terrain.

Par ailleurs, en ajoutant un capteur plongeant dans le sol permettant de mesurer la teneur en eau du sol, il sera possible d'émettre des alertes en cas de dépassement anormal. L'eau est en effet l'un des facteurs déclenchant les plus importants puisqu'elle agit sur les couches argileuses en provoquant une diminution de l'angle de frottement.



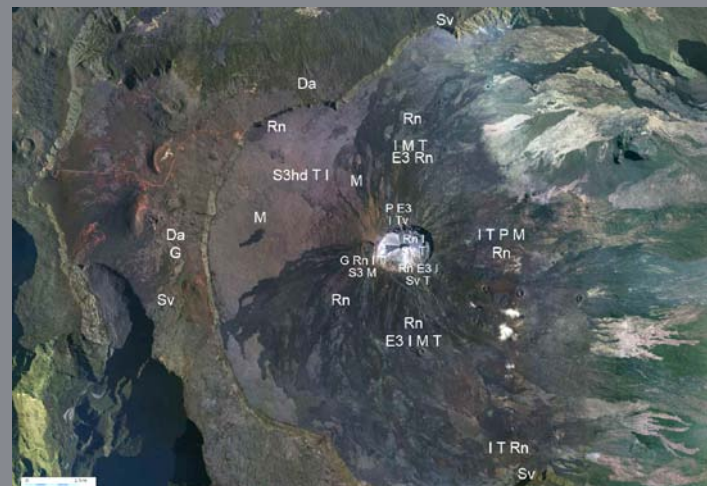
Surveillance des zones volcaniques

Si nous prenons l'exemple du Piton de la Fournaise, ce volcan est bien entendu équipé en capteurs de tout genres : sismomètres, magnétomètres, inclinomètres, extensomètres, GPS... Mais lorsque nous étudions la répartition de chacun d'entre eux, représentés sur l'image ci-contre, nous pouvons nous rendre compte de la faible densité de capteurs de même famille.

Imaginons à présent qu'un réseau de Geocubes équipés soit installé dans la zone d'intérêt étendue du cratère. Les équipements de chaque Geocube seraient des couches capteur permettant de mesurer quasiment toutes les grandeurs physiques mesurées actuellement sur le site mais concentrées pour chaque point du réseau: inclinomètre, magnétomètre, sismomètre, capteur de température et analyseurs de gaz (dont le radon).

Par ailleurs, chaque Geocube possède son module GPS qui va permettre de suivre l'évolution du maillage formé par le réseau: les gonflements locaux, les affaissements et autres mouvements du sol. Le module GPS va, de plus, apporter une très bonne précision de datation des différents événements afin de pouvoir comparer les données issues des sismomètres par exemple et ainsi permettre de localiser les épicentres des vibrations. Les Geocubes peuvent donc surveiller l'ensemble de la zone volcanique en permanence avec une densité de maillage très importante, permettant l'étude approfondie d'une telle zone mouvante.

S3 : sismomètre 3 axes
(hd: haute dynamique)
Sv : sismomètre vertical
G : GPS
I : inclinomètre
E3 : extensomètre 3 axes
M : magnétomètre
Da : distancemètre automatique
Rn : détecteur de Radon
T : température fumerolles
P : pluviomètre



Avec environ 70 Geocubes, l'ensemble de la zone volcanique du Piton de la fournaise pourrait être ainsi surveillée, en permanence et pratiquement sans intervention humaine durant plusieurs années.

La densité des points de mesure et la multiplicité des grandeurs physiques mesurées en chacun des points aideront l'étude et la compréhension des différents phénomènes intervenant dans l'évolution des zones volcaniques.

Analyse du sous-sol

La prospection pétrolière ou la validation d'un lieu d'implantation d'un ouvrage de génie civil comme un viaduc ou un tunnel commence généralement par une étude géophysique qui est ensuite affinée par un maillage sismique. Ce maillage sismique consiste à mesurer en surface les ondes sismiques réfléchies et/ou réfractées par les interfaces des différentes strates composant le sous-sol.



Les ondes sismiques sont générées soit par une masse projetée à la main, soit par explosif, soit enfin par un véhicule spécial possédant une masse de 3 à 5 tonnes vibrant à des fréquences allant de 5 à 250 Hz. Les ondes réfléchies vers la surface sont alors mesurées par des sismographes appelés 'géophones'. Chacun de ces capteurs est géolocalisé au préalable par GPS et l'ensemble forme ainsi une maille dont la géométrie est connue.

Pour l'instant, la grande majorité de ces installations sont filaires : chaque géophone est relié à son voisin par un câble électrique et ce sur des distances très importantes pouvant s'étendre sur plusieurs kilomètres. Ces câbles permettent la synchronisation des mesures provenant de chaque capteur.

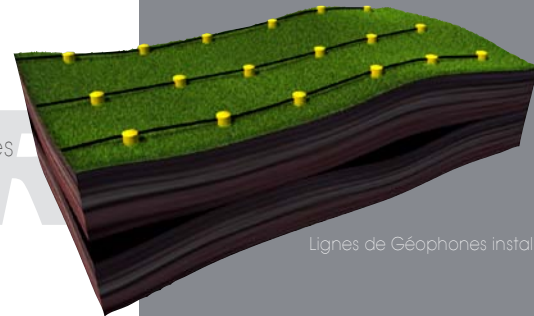
Avec un réseau de Geocubes équipés des mêmes capteurs sismiques que

les géophones, les nœuds sont géolocalisés grâce au module GPS, du moins la géométrie des mailles est connue avec une très bonne précision. Les modules GPS vont aussi permettre de dater les événements et ainsi de synchroniser les mesures, remplaçant ainsi les câbles. Le temps d'installation est considérablement réduit puisque les points de mesures n'ont plus à être localisés au préalable: les Geocubes sont simplement plantés dans le sol et mis en route.

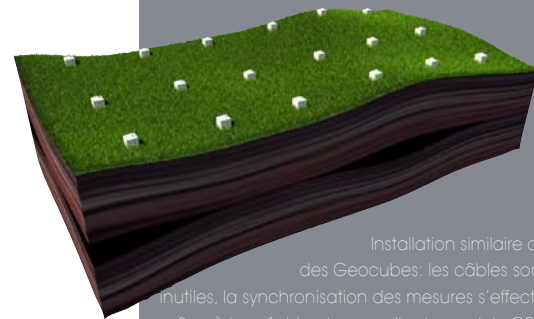
Par soucis d'économie d'énergie, les systèmes peuvent être réveillés uniquement durant les périodes d'émission des ondes sismiques



Geophones (en jaune) reliés par câbles



Lignes de Géophones installés.



Installation similaire avec des Geocubes: les câbles sont inutiles, la synchronisation des mesures s'effectue grâce à la précision temporelle du module GPS

Surveillance du sur-sol: les bâtiments et ouvrages d'art

Entre 2003 et 2009, durant la construction des 7 km de la ligne 9 de Barcelone, des sociétés ont été missionnées pour surveiller l'ensemble des bâtiments situés en surface tout le long de cette construction souterraine. La technologie habituellement utilisée consiste à installer des stations totales (théodolite équipé d'un distancemètre) appelées CYCLOPS (CYCLic OPTical Surveyor) et des prismes sur les bâtiments environnants. Il est alors nécessaire de programmer les CYCLOPS afin d'effectuer des tours d'horizon de l'ensemble des prismes visibles (environ 12s par prisme) depuis ce point d'installation. Ces CYCLOPS doivent être alimentés.



CYCLOPS installé prenant des mesures dans la ville d'Amsterdam. Chaque appareil est protégé contre le vandalisme.
Image: SOL DATA

Pour le chantier de Barcelone, il a fallu environ 600 points d'installation de cyclopes qui ont surveillé, en temps réel, les déplacements d'un nombre gigantesque de prismes situés sur les 18 000 bâtiments.

Nous pouvons alors imaginer que le temps d'installation est très important avec les différentes demandes d'autorisation pour amener le courant jusqu'aux cyclopes; tout ceci intervient directement dans le coût total de la surveillance de la zone.

Un réseau de Geocubes ne pourrait remplacer les cyclopes car la technologie GPS, ne permet pas d'atteindre les précisions sub-millimétriques (+/- 0.5mm à 60m) fournies par un ensemble de cyclopes+prismes. Par contre, il pourrait venir optimiser le fonctionnement de l'ensemble.

Si l'on équipe chaque Geocube d'un capteur sismique et d'un prisme alors tout mouvement anormal sera dans un premier temps détecté par le sismomètre. Le Geocube avertit alors les cyclopes environnants qui viennent effectuer des mesures son prisme. Les cyclopes n'ont donc besoin de faire des tours d'horizon que lorsqu'il y a un mouvement de détecté. La consommation de l'ensemble est donc beaucoup moins importante et des panneaux solaires pourraient permettre un fonctionnement autonome.

Surveillance multi-capteurs

Le Geocube a été conçu dans le but de s'interfacer rapidement et facilement avec des capteurs. Ce sont eux qui vont apporter une valeur ajoutée.

Dans les villes, du fait de sa densité plus élevée, l'impact de la population sur son environnement est particulièrement important. Ceci implique la nécessité d'une surveillance permanente de très nombreuses grandeurs chimiques ou physiques afin d'informer cette population, de modifier éventuellement son comportement ou encore d'agir selon la gravité des événements. Un pic de pollution en région parisienne oblige parfois les pouvoirs publics à restreindre la circulation en interdisant par exemple la circulation des voitures dont la plaque d'immatriculation est paire ou impaire. Ces pics de pollution sont souvent dû à une absence de vent mêlé à des températures élevées : ces paramètres peuvent et doivent être mesurés en permanence.

A Paris, il est possible de quadriller Paris à partir d'une centaine de Geocubes en tenant compte de la portée du module radio. Imaginons à présent que chacun des Geocubes soit équipé pour surveiller la qualité de l'air quartier

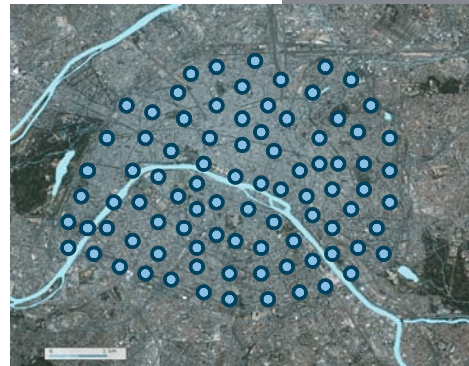
Moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO₂) en petite couronne.
«L'objectif de qualité annuel (40 µg/m³) de dioxyde azote (NO₂) est largement dépassé dans une partie de Paris comme le montre la carte suivante. On estime qu'environ 3.4 millions de Franciliens ont été exposés à un air dépassant la valeur limite en 2010» AirPARIF

par quartier grâce aux capteurs suivants:

- capteur de température
- anémomètre / girouette afin de connaître la vitesse du vent ainsi que sa direction
- capteur de concentration de certains gaz comme l'ozone, le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre
- capteur de concentration de particules en suspension de dimensions inférieures à 10µm (PM10). Ces particules sont principalement émises par le transport routier et l'industrie.

Une telle installation a un coût relativement élevé qui dépendra paradoxalement assez peu du nombre de capteurs de chaque station car chacun consomme souvent très peu d'espace. D'où l'intérêt de diversifier les grandeurs à mesurer. Pour la surveillance des nuisances sonores, un sonomètre pourrait être ajouté. Un compteur geiger permettrait de surveiller le taux de radioactivité et donc de suivre la concentration en radon. D'autres capteurs pourraient être inclus dans chaque station comme un capteur d'ultra-violet, d'humidité ou d'autres périphériques comme des instruments de comptage de foule.

Le Geocube permet d'exploiter facilement et rapidement toute la diversité des capteurs actuels et futurs.



Installation virtuelle de 80 Geocubes équipés multi-capteurs.

AUTONOMIE

L'autonomie dépend de trois critères: la consommation du système, sa capacité de stockage et l'apport énergétique extérieur.

La consommation du système: Le Geocube peut être utilisé comme appareil de surveillance, il doit donc dans ce cas être constamment attentif aux éventuels événements capteur. La plupart du temps, le système est ainsi en veille et sa consommation dans ce mode doit être la plus faible possible.

Le microcontrôleur utilisé dans le Geocube, est particulièrement adapté à ce genre de fonctionnement: il peut être endormi ou partiellement endormi et se réveiller en moins d'une microseconde lorsqu'un événement capteur survient. De plus, les différents périphériques internes au microcontrôleur, comme les ports de communication, peuvent être éteints sélectivement ce qui permet de ne garder éveillées que les parties vitales du système.

Ainsi, la consommation en veille est d'environ 3mW et le maximum 650mW est atteint lorsque les modules radio et GPS sont en pleine activité: émission pour le module radio et en cours d'acquisition pour le module GPS (voir tableau p. ???).

Les capteurs possèdent eux aussi, pour certains, des modes basse consommation. L'accéléromètre de la carte module de gestion par exemple, fonctionne sous deux modes possibles: normal et basse consommation. En mode normal, l'accéléromètre peut envoyer à intervalle régulier ou à la demande des mesures d'accélération au module de gestion. Dans le mode basse consommation, aucune mesure ne peut être transmise; en revanche, l'accéléromètre

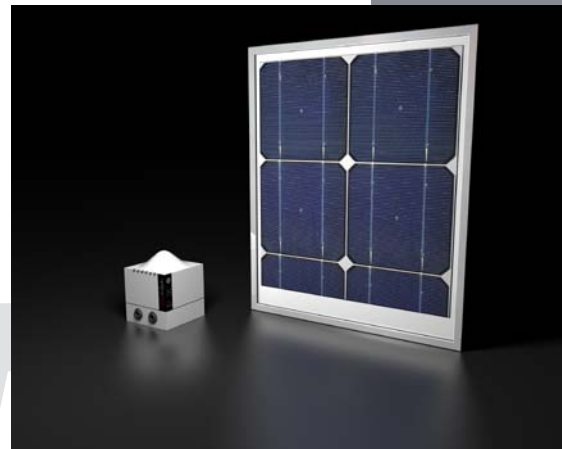
continue de mesurer et filtrer en interne. Il est aussi capable, en cas de dépassement de seuil configuré à l'avance, d'avertir ou de réveiller le module de gestion. En mode normal, la consommation est de l'ordre de 3mA alors qu'elle ne dépasse pas 150µA dans le second mode qui devient extrêmement intéressant dans ce type d'application embarquée alimentée par batterie.

La capacité de stockage:

il existe de très nombreuses technologies de stockage d'énergie réparties dans trois grandes familles: les piles (non rechargeables), les condensateurs et les batteries.

Les piles, notamment les piles au lithium, bien que possédant un faible taux d'auto-décharge, une très bonne résistance aux hautes et basses températures ainsi qu'une densité d'énergie volumique plus élevée que les batteries en général, n'ont pas été retenues car l'autonomie aurait été rapidement limitée ou nécessiterait des dimensions trop importantes et gênantes pour une installation discrète des Geocubes.

Les condensateurs, plus particulièrement les supercondensateurs, possèdent de très nombreux avantages: ils se rechargent très rapidement (quelques secondes), leur nombre de cycles charge/décharge est quasi illimité (10⁶ cycles) et le taux d'auto-décharge est faible. En revanche, la densité d'énergie volumique est encore trop faible. Néan-



Geocube à côté de son panneau solaire de 10W.

Coût du milliAmpère-heure (mAh) en fonction du volume des batteries Lithium/Polymère. Catalogue 02/2011 all-battery.com On s'aperçoit qu'il existe un plateau bas pour les batteries de capacité comprise entre 2200mAh et 16000mAh. Avant et après les formats sont trop spécifiques et se vendent donc moins.

moins, deux supercondensateurs ont été intégrés sur la carte GPS afin d'alimenter la mémoire RAM du GPS dans le cas où l'alimentation du GPS a été coupée. Le module GPS ne nécessite alors que 22µA pour conserver cette mémoire et pouvoir ainsi redémarrer plus rapidement en ayant conservé sa position. Dans ce cas, les supercondensateurs sont parfaitement adaptés.

Les batteries, notamment les batteries Lithium/polymère, ont donc été choisies comme dans de très nombreux systèmes embarqués (téléphones portables, ordinateurs portables...) pour leur grande densité d'énergie volumique. Les principaux inconvénients sont leur faible durée de vie d'environ 500 cycles charge/décharge maximum, les températures de fonctionnement comprises entre -20°C et 60°C et enfin leur taux d'auto-décharge assez élevé de l'ordre de 10% par mois.

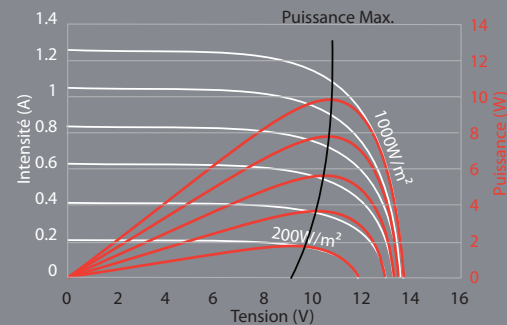
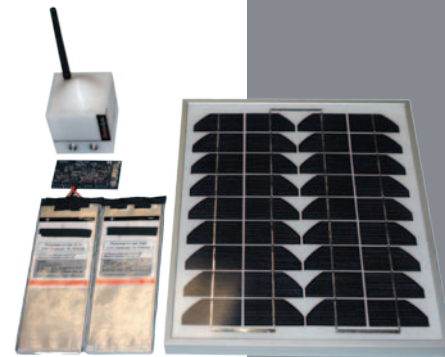
Deux batteries en parallèles d'une capacité de 2200mAh sous 3.7V nominal chacune sont montées à l'intérieur des Geocubes. Le choix s'est fait principalement en comparant le coût du mAh en fonction du volume des batteries.

La gestion de l'énergie disponible est à tout moment disponible grâce à une jauge qui suit en permanence l'évolution de la charge ou de la décharge de ces deux batteries internes. Cette jauge protège les batteries en coupant le circuit lorsque la température sort des bornes (-20°C;+60°C).

L'apport énergétique extérieur:

malgré tous les soins apportés à réduire la consommation du système, il est nécessaire de recharger les batteries de chaque Geocube pour une utilisation sur plusieurs mois ou années. Après étude, lorsqu'une alimentation secteur n'est pas envisageable, l'énergie solaire semble être la solution la plus appropriée malgré les faibles rendements des cellules solaires actuelles (de l'ordre de 12%).

Le Geocube a deux alimentations possibles: soit en 5V (en général, un port USB) soit avec une tension comprise entre 7.5 et 36V. C'est à cette dernière entrée que l'on peut connecter un panneau solaire.

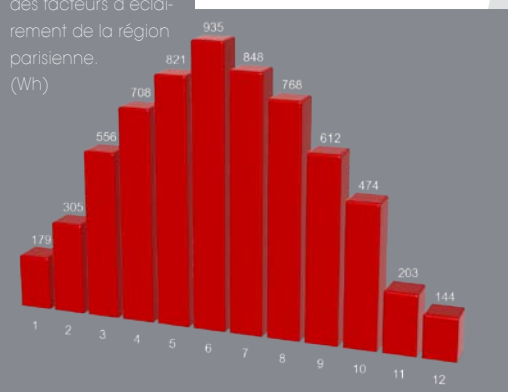


Chargeur Solaire

Le choix d'un panneau solaire devrait se faire en fonction de l'application. En effet, selon les facteurs d'éclairement mensuels du lieu d'installation et la fréquence d'acquisition des mesures, la surface nécessaire de cellules photovoltaïque variera très significativement.

Aux vues des premières installations, la puissance nécessaire pour atteindre l'autonomie illimitée a été évaluée en prenant comme facteurs d'éclairement par mois, ceux de la région parisienne. Cette étude nous a permis de nous orienter vers un panneau de 10W en prenant en compte la consommation maximale pendant 10h par jour du module GPS et cyclique pour le module radio avec un taux de fonctionnement de 10%; l'énergie nécessaire par mois est de 100Wh. Avec le panneau de 10W, l'énergie fournie durant le mois de décembre, le plus défavorable, atteint 144Wh suffisante pour alimenter un Geocube pendant un mois.

Energie théorique produite par mois par un panneau solaire de 10W et de rendement 12% incliné de 45° pour des facteurs d'éclairement de la région parisienne.
(Wh)



	mode endormi <i>puissance (mW)</i>	mode basse consommation <i>puissance (mW)</i>	mode pleine activité <i>puissance (mW)</i>
carte de gestion	3 <i>- accéléromètres OFF - microcontrôleur en mode basse consommation</i>	3,5 <i>microcontrôleur en mode basse consommation</i>	10
carte GPS	0,03 <i>commande alim. carte GPS: OFF</i>	80,5 <i>GPS en mode basse consommation</i>	190 <i>GPS en mode acquisition</i>
carte RF	0,03 <i>commande alim. carte RF: OFF</i>	180 <i>module radio en mode réception</i>	450 <i>module radio en cours d'émission</i>
carte touch	0,02 <i>capteur inactif</i>	0,2 <i>activité réduite à 10%</i>	1
carte socle	0.2 <i>- jauge endormie - batterie chargée, alimentation par USB ou panneau solaire</i>	0.4 <i>- mesure jauge périodique - batterie chargée, alimentation par USB ou panneau solaire</i>	1
TOTAL	3,28	264,6	652

Installation simple et rapide

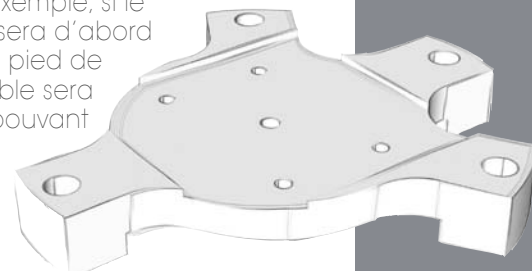
Durant le transport des Geocubes vers le lieu de leur installation, les batteries, qui ne doivent pas être déconnectées afin que la jauge conserve les paramètres de suivi de charge/décharge, pourraient se décharger pour se retrouver vides à l'arrivée. Pour palier ce problème, un emplacement dans la coque a été prévu permettant d'insérer un aimant actionnant une ampoule ILS située sur l'une des cartes électroniques à l'intérieur. La présence de l'aimant coupe

l'alimentation de tout le système en aval du chargeur et de la jauge. Durant le transport, l'aimant qui se présente sous la forme d'une petite clé reste enfoncé dans son emplacement.

Lorsque le Geocube est mis en place, il suffit alors de retirer la clé et le système démarre.

Il existe plusieurs moyens de fixer un Geocube, le choix dépend de la géométrie

du lieu et de l'application. Par exemple, si le Geocube doit être fixé au sol, il sera d'abord vissé sur une pièce en forme de pied de poule par dessous puis l'ensemble sera vissé dans le sol à l'aide de vis pouvant aller jusqu'au M8. Dans le cas d'une embase Leica, il existe un adaptateur garantissant un centrage parfait. Enfin, pour une fixation sur une paroi verticale, un support de caméra de



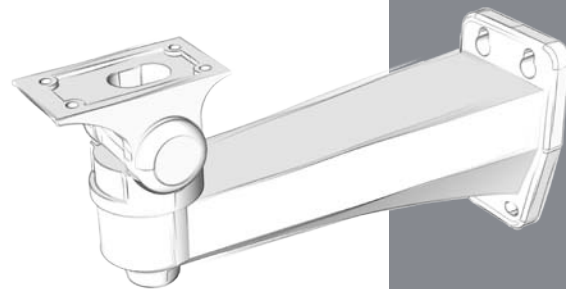
fixation en forme de pied de poule.

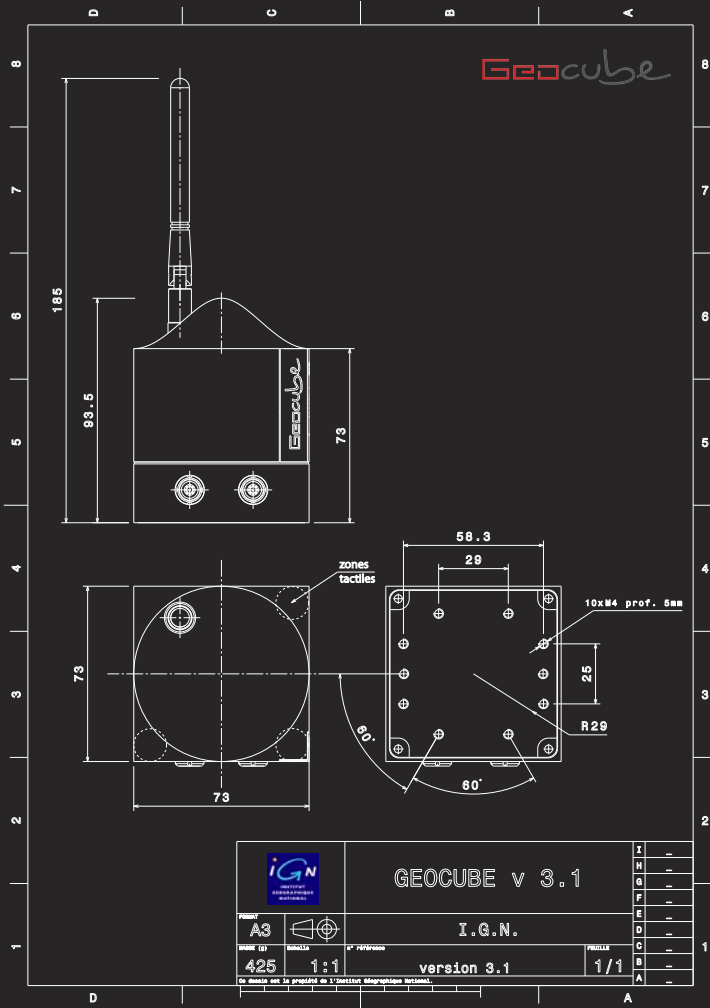
surveillance est utilisé à la fois pour le Geocube mais surtout pour les panneaux solaires.





ci-contre : fixation Leica et adaptateur à visser sur le Geocube.

support de caméra de surveillance





Geocube

		GEOCUBE v 3.1		I	-
		I.G.N.		H	-
Format	A3		N° Référence version 3.1	G	-
Échelle (1)	425			1:1	F
Échelle (2)			version 3.1	E	-
en dessin sur la projection de l'Institut géographique national.			1/1	D	-
				C	-
				B	-
				A	-