

L'exploration de galeries difficiles d'accès grâce à des drones volants

Stanislas Francfort

17 Juin 2015

stan.speleo(a)notgmail.fr
Spéléo Club de Touraine, CDS 37

Les drones en spéléo ?

Qu'est-ce qu'un drone ?



Figure 1: Drone Parrot

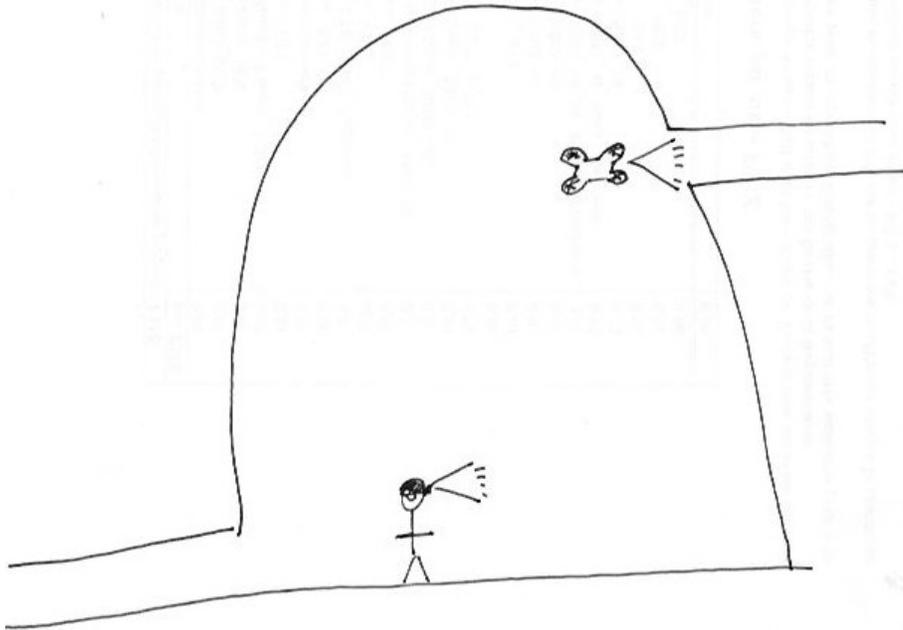
Les drones soulèvent autant d'espairs que de réticences. Ici, nous allons uniquement considérer qu'un drone est un robot volant, télécommandé, et sur lequel

nous pouvons embarquer des appareils de mesure tels que des caméras, des capteurs, et autre.

Un rêve de spéléo

Je crois que tout spéléo explorateur s'est déjà retrouvé en face d'une galerie difficile d'accès en se disant : "ah ! Si seulement j'avais sous la main un hélicoptère télécommandé équipé d'une caméra, je pourrais l'envoyer dans cette galerie".

Imaginons : une galerie située au plafond d'une voûte éloignée, ou au delà d'une trémie instable, ou d'un cours d'eau impétueux, ou encore hors d'accès derrière une parois verticale inondée par une cascade...



Dans ces cas, si nous pouvions envoyer un drone dans cette galerie, cela serait un merveilleux outil. Nous pourrions utiliser un tel drone pour récolter des informations utiles telles que :

- en exploration : le drone pourrait rapporter des photos, une topo (même une topo sommaire serait utile), ou tout type de mesures. . .
- en spéléo-secours : aider à la localisation de victimes

Ce que je veux montrer avec cet article est que ce rêve est en passe de devenir réalité.

Actuellement

Les actualités ne cessent de parler des drones. Je ne vais pas ici faire un survol exhaustif, mais seulement indiquer quelques utilisations ou expérimentations actuellement en cours.

- **Drones en environnement souterrain.** Une expérimentation est en cours chez *SUEZ environnement* à Barcelone. Des drones sont utilisés pour la surveillance des 13 réservoirs d'eau souterrains. Ceci afin d'éviter les débordements des eaux usées.
- **Drones en secours.** Des drones sont déjà utilisés lors de catastrophes (Népal, Philippines, etc.), notamment pour le repérage des victimes. La *BBC* indique ainsi : "Les drones sont d'une aide précieuse car, de part leur petite taille, ils peuvent entrer dans des endroits confinés. De plus, ils peuvent survoler les zones atteintes par la catastrophe, devenues inaccessibles à cause des routes détruites, afin de localiser les victimes ayant le besoin le plus urgent d'être secourues". Pour plus d'informations, voir le [lien](#).

Particularités de la spéléo

Difficultés

Si concevoir des drones est devenu une activité bien maîtrisée, il nous faut pourtant prendre en compte quelques particularités dues au milieu souterrain.

Difficultés surmontables

Prendre en compte les caractéristiques du milieu comme l'obscurité et l'humidité sont des difficultés surmontables. Des optiques sous vide et des moteurs "*brushless*" (sans balais) contre l'humidité feront l'affaire. Il ne faudra pas oublier de bien sécher le drone après chaque utilisation. Un éclairage à diodes saura vaincre efficacement l'obscurité. En ce qui concerne le transport du drone sur place, même si ce n'est pas forcément une tâche facile, les spéléos sont rompus à l'exercice du transport de charges lourdes et fragiles dans le cadre de leur activité. Le choix du matériel à embarquer sur un drone sera difficile, mais pas insurmontable. Il faudra bien prendre garde à utiliser un drone capable d'embarquer la charge que l'on compte lui adjoindre.

Plus difficile

Pour certaines questions par contre, nous n'avons pas encore de réponses directes, et il va nous falloir concevoir des drones pouvant les surmonter. Citons les difficultés suivantes :

- Il faudra que l'opérateur puisse contrôler le drone en étant à l'abri du danger et de l'inconfort. Il devra par exemple être éloigné des risques de chutes de pierre, se trouver en position assise, dans une zone sèche, sans

courant d'air excessif, afin de limiter les risques de blessures, de fatigue et de refroidissement.

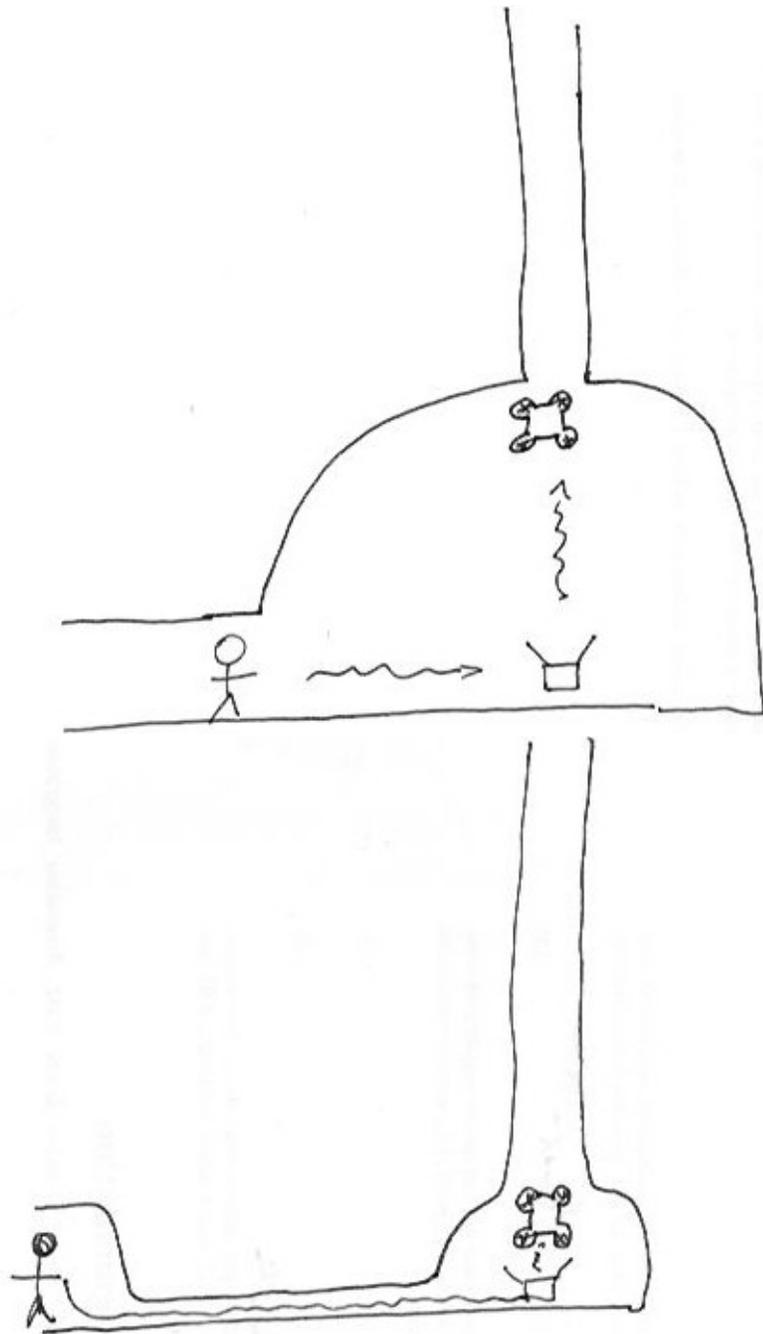
- Il faudra éviter les collisions entre le drone et les parois sous peine d'endommager le drone, voire de le perdre. Éviter les collisions permet aussi de limiter les risques d'abîmer la cavité, ou de casser des concrétions.
- Enfin, il faudra gérer les risques de perte de signal par le drone, qui engendrerait une perte de contact entre le drone et l'opérateur... Effectivement, il faut récupérer le drone en fin de mission

Malgré ces trois types de difficultés principales, nous avons des raisons de croire que les technologies permettant la conception d'un drone d'exploration souterrain sont à portée de main, et de les difficultés sont surmontables.

Des raisons d'y croire - contrôler le drone en étant à l'abri

Grâce à l'utilisation de deux périphériques distincts, l'un étant une interface de contrôle, l'autre un périphérique de communication avec le drone, et en reliant ces deux périphériques, le contrôleur pourra se positionner à l'endroit de son choix. Le périphérique de contrôle et le périphérique de communication seront reliés soit par une communication filaire, soit par une communication sans fil, selon les cas. Une communication filaire peut être utile dans le cas où un passage étroit sépare les périphériques l'un de l'autre. Dans le cas d'une communication sans fil, le déport de contrôle sera effectué par un répéteur de signal, comme un répéteur wifi.

Le contrôleur étant positionné à l'endroit de son choix, il n'aura pas forcément une vue directe sur le drone, il devra alors le contrôler à travers une interface lui fournissant une vue subjective, à la première personne.



- La vidéo suivante montre comment il est possible de guider un drone grâce à une vue à la première personne : [Vidéo Démo](#)

Des raisons d’y croire - éviter les collisions

Afin d’éviter les collisions avec les parois, le drone devra être capable de les localiser. Ceci sera fait grâce à une interprétation de l’environnement du drone par une caméra optique. Le projet Drone4U ([lien](#)) a démontré la faisabilité d’une telle technologie. Le sonar peut-être d’une grande utilité également pour repérer les collisions, comme cela est utilisé sur les voitures. Un projet d’étudiant a même démontré qu’un robot humanoïde de type NAO était capable de résoudre un labyrinthe en se localisant avec des sonars ([article pdf](#)).

La méthode de détection de l’environnement sera intégrée à des capteurs à inertie, et des modules de contrôle-commande automatisés permettant au drone de se maintenir à distance des obstacles en temps réel.

Voici une courte vidéo montrant l’utilisation d’un sonar anti-collision sur un mini robot : [Vidéo Démo](#)

Des raisons d’y croire - la perte du signal

En cas de perte de signal, le drone devra être capable de revenir vers une zone où le signal est capté. Il retrouvera son chemin grâce à sa conscience de l’environnement. Pour acquérir cette conscience, il devra embarquer une intelligence permettant la fusion de données issue de capteurs tels que caméra, sonar, lidar, accéléromètres. . . La fusion des données lui permettra de topographier son environnement. De plus, il devra également être capable d’autonomie décisionnelle afin de décider par lui-même quel chemin emprunter pour arpenter la cavité, ou pour décider à quel moment il doit revenir sur son chemin.

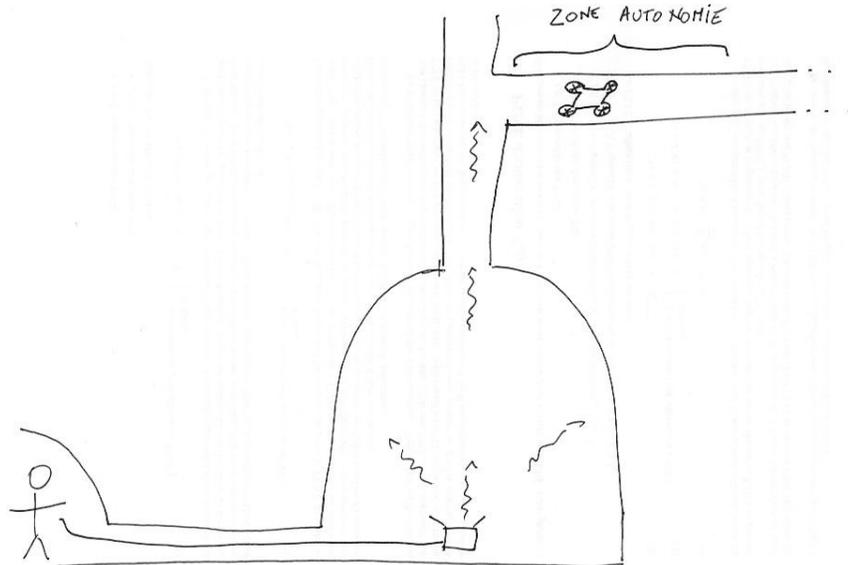
Le projet Drone4U, une nouvelle fois, a démontré cette faisabilité. Voici une vidéo l’illustrant : [Vidéo Démo](#)

Pour aller plus loin

Exploration en autonomie

La figure ci-dessous illustre le cas d’usage canonique : le spéléo qui contrôle le drone est à distance du drone, à l’abri. Il le contrôle grâce à une vue à la première personne. Il communique avec une base grâce à un fil ou avec une communication sans fil. Cette base communique directement sans fil avec le drone. L’opérateur envoie le drone, en le guidant, vers une galerie difficile d’accès, puis il lui donne la commande de s’engouffrer dans cette zone. Le drone y entre, perd le signal. Une fois qu’il a perdu le signal, il continue à arpenter la galerie en toute autonomie. Une fois sa mission terminée, il décide de retourner dans une zone où il capte le signal. Lorsqu’il capte de nouveau le signal, il transfère les données acquises vers l’opérateur

et abandonne son autonomie décisionnelle en se mettant en mode “contrôlé”.

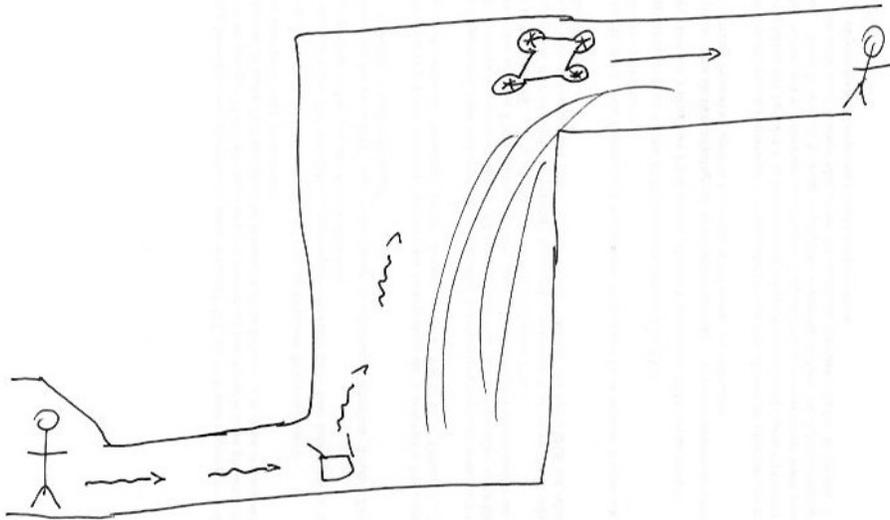


- Comme dit précédemment, ce type de mission permettra de collecter des informations dans des galeries difficiles d'accès telles que la topographie, des photos et vidéos, des mesures avec des capteurs divers.

Spéléo secours

Un drone d'exploration souterrain autonome pourra tout naturellement être utilisé en secours souterrain, ainsi que pour tout type de secours en intérieur, *indoor*.

- En embarquant un minimum d'instrument supplémentaire, le drone pourra servir de support à la localisation des victimes. Il pourra être utilisé pour la détection automatique de personnes, ou la recherche de passages alternatifs lors des phases de **recherche et localisation**.
- Le drone pourra également être utilisé afin d'étendre la chaîne de communication des secouristes jusqu'à la victime. En effet, le drone pourra enregistrer et délivrer des messages de divers type, par exemple des messages audio. Ainsi, même lorsque les secouristes ne peuvent pas atteindre la victime, mais que le drone le peut, il sera possible d'avoir une chaîne de communication complète du Poste de Contrôle jusqu'à la victime :
 - [PC - spéléos secouristes - opérateur drone - DRONE - victime(s)]



Détection de personnes

Pour que le drone soit capable de détecter la présence de personnes, il n'est pas nécessaire d'ajouter des équipements coûteux. Ceux-ci sont trouvables aisément dans le commerce, légers, faciles à embarquer. Les instruments et les algorithmes de détection tireront parti du fait que le bruit de fond de différents signaux est monotone dans un environnement souterrain. En effet, la température est fraîche, constante, et monotone ; les bruits sont rares, ou alors monotones (bruits de cours d'eau) ; et la lumière brille par son absence.

Nous pouvons en déduire quelques méthodes de détection :

- détection de chaleur grâce à une caméra infrarouge thermique. La chaleur d'un corps, d'une flamme, ou celle s'échappant d'un point chaud monté par la victime sera aisément repérable par un algorithme automatique
- détection de son grâce à un micro. Le bruit de cris, de sifflements, ou de coups d'un instrument métallique sur la roche ou sur un autre instrument métallique seront facilement identifiable dans l'environnement silencieux d'une grotte
- détection de lumière visible. Grâce à une simple caméra embarquée, la lumière d'une lampe à diodes ou d'une flamme sera détectable sans équivoque.

Nous avons donc à notre disposition au moins trois types de méthodes de détection bon marché et simples à embarquer sur le drone. Les algorithmes de détection en eux-mêmes sont largement à la portée d'un programmeur maîtrisant quelques bases de traitement du signal.



Conclusion

Nous pouvons donc affirmer que nous pouvons envisager la conception dans un futur proche d'un drone d'exploration autonome souterrain. La technologie est déjà disponible. Il reste donc à intégrer tous les différents éléments décrits dans le présent article.

La prochaine étape sera de concevoir un drone d'exploration autonome sous-marin. Outre l'environnement aquatique, il y aurait d'autres difficultés à surmonter, comme la communication sans fil, les courants, ou encore la turbidité de l'eau. En tout cas, tous les coéquipiers de plongeurs spéléo dits "*fond de trou*" préféreraient transporter un drone plutôt que des bouteilles de plongée...

Références

- **Navigating autonomously in indoor and outdoor environments**, Drone4U, Eurecom & Telecom Paristech, 2015 [lien](#)
- **How robots are changing search and rescue**, BBC, 2014, [lien](#)
- **Résolution de labyrinthe avec le robot humanoïde NAO**, Damien Detoef, 2013, [article pdf](#)
- **First Test Sonar Anti-Collision System with SRF05 on Arduino**, Ant Vor, 2012, [lien](#)
- **FPV Racing drone racing star wars style Pod racing are back!**, Hervé Pellarin, 2014, [lien](#)