

# Game Of Drones

École Polytechnique- Palaiseau

Jeudi 18 février 2016



## Coordination Scientifique

Henry de Plinval (ONERA)

Christophe Denis (ENS-Cachan)

Thiên-Hiêp Lê (ONERA)



## *Editorial Board*

*Dr. Thiên-Hiệp Lê (ONERA)*

*Dr. Roland Sénéor (Ecole Polytechnique)*

*Dr. Christophe Calvin (CEA)*

*Prof. Florian De Vuyst (ENS Cachan)*

*Dr. Christophe Denis (EDF)*

Actes du séminaire du 18/02/2016

# Games Of Drones

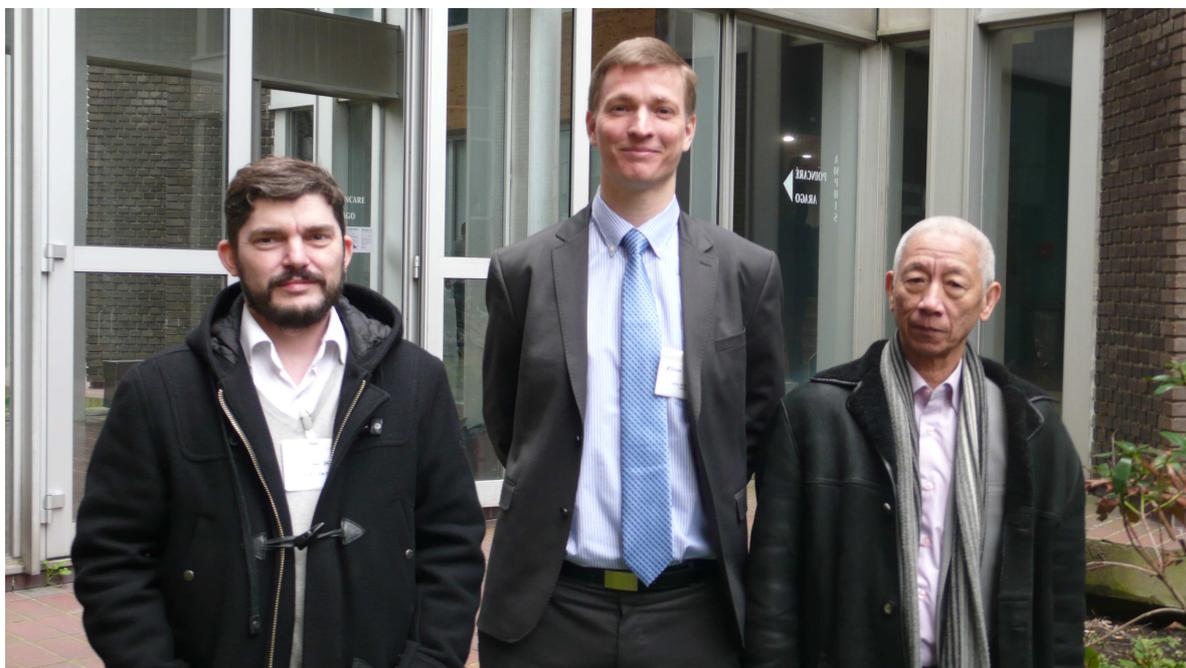
Séminaire Aristote, 18/02/2016 à l'École Polytechnique

Coordination scientifique

**Henry de Plinval (ONERA)**

**Christophe Denis (ENS Cachan)**

**Thiên-Hiệp Lê (ONERA)**



## Sommaire

Compte-rendu des interventions.....	5
Introduction .....	5
Thématique .....	5
1. Le RADAR: un senseur pour les drones notamment pour la fonction détection et évitement	6
2. Des technologies pour une augmentation des capacités opérationnelles des drones.....	7
3. L'autonomie dans les systèmes aériens militaires non habités .....	8
4. L'intégration des drones dans l'espace aérien civil .....	9
5. L'implication des pôles de compétitivité français à vocation aéronautique et spatiale au bénéfice de la filière des aéronefs télé-pilotés («Drones») .....	10
6. Les drones civils : enjeux, marchés, réglementations .....	11
7. Le décollage des drones: un avenir qui s'installe progressivement dans notre quotidien	12
8. Utilisation des drones à ERDF.....	13
9. Retours d'expérience et perspectives d'utilisation des drones à EDF .....	14
10. Un drone à grandes capacités pour les usages civils et les applications scientifiques....	15
11. Drones: les atouts des start-up françaises face à la concurrence internationale .....	16
12. Nouvelles technologies pour sécuriser le vol des drones et accroître leurs performances	17
13. Conception de micro-drones innovants : vol de transition, discrétion acoustique, extraction d'énergie et sûreté de fonctionnement.....	18

# Compte-rendu des interventions

## *Introduction*

**Thiên-Hiêp Lê (ONERA, Aristote)** ouvre le séminaire et accueille les nombreux participants, environ 80, au premier des 7 séminaires Aristote de l'année 2016, dont les sujets seront par exemple la police scientifique, la cyberdéfense, les smartbuildings ou la smartagriculture. Il conseille aux participants présents de concevoir d'autres séminaires.

**Henry de Plinval (ONERA)** a organisé le séminaire avec comme fil conducteur les technologies. Celles qui ont permis de développer les drones et celles qui pourraient permettre de développer encore davantage ce vaste projet. Il prévient qu'on n'aura pas le temps d'aborder tous les sujets. Mais parmi les industriels invités qui conçoivent ou qui utilisent ces drones, on a un bon aperçu des diverses catégories de personnes concernées par le sujet.

## *Thématique*

**Les drones: un mot qui symbolise notre époque, à la croisée du monde numérique et de l'univers aéronautique.**

Leur omniprésence dans les médias s'explique par une explosion du nombre de leurs applications, domaine où l'imagination ne semble pas trouver de limite: la photographie, le cinéma, la surveillance de grands linéaires (voies ferrées, lignes électriques), l'inspection d'infrastructures, l'agriculture, l'industrie,... et, bien entendu, le domaine militaire où, pour la surveillance, l'observation déportée, le combat urbain ou le combat aérien, les utilisations possibles sont aussi extrêmement variées.

Les drones ont ainsi pris une place considérable dans les esprits. Ces objets volants, opérés par des humains au sol, parfois à des distances très éloignées du lieu de leur évolution, peuvent être dotés de technologies extrêmement innovantes. Ces développements technologiques, issus parfois d'autres domaines techniques -aéronautique générale, spatial, etc- rendent possibles des applications nouvelles; à leur tour, les idées d'applications suscitent des défis technologiques nouveaux qui, une fois résolus, rendent ces applications possibles. Qu'il s'agisse des capteurs ultra-performants qu'ils embarquent -ou qui, positionnés au sol, leur communiquent des informations-, de concepts d'intégration de l'homme dans la boucle, de transmissions de données, d'intelligence embarquée, les domaines sont nombreux où se développent de telles technologies.

# 1. Le RADAR: un senseur pour les drones notamment pour la fonction détection et évitement

Patrick Garrec (Thales)

Patrick Garrec s'intéresse aux plus gros drone, ceux de 500 kg. On les appelle des RPAS ou *Remotly Piloted Aircraft Systems*. Avec la fonction *Sense and Avoid*, on regarde ce qui est coopératif et ce qui ne l'est pas. La fonction *Sense* fait des prédictions de trajectoires et d'alertes. Les senseurs coopératifs font que les drones n'ont pas le droit d'aller au crash avec un avion. Le radar est pratique (tous temps, jour et nuit) et donne la vitesse et la distance correcte.



L'électro-optique seule ne voit que des angles. Mais l'action conjointe d'un radar, moins cher, et de l'électro-optique peut être une idée. L'ADS-B a de gros avantages: il est automatique, indépendant, tous temps, mais basé sur le GPS mais il faut tester l'intégrité des données reçues. On peut facilement les truquer. Ce qui est gênant pour les militaires.

Les radars millimétriques sont à très courte portée, et sont atténués en cas de pluie. Le coût de ces technologies est énorme. Les deux fréquences à 16 GHz et à 35 GHz sont permises. Une discussion est en cours pour d'autres fréquences (77 et 94 GHz). Ils sont donc dédiés à de courtes distances. Thales s'est intéressé aux bandes X et Ku. Le radar MIMO est conçu sur le principe de désentrelacer des ondes émises sur la même fréquence. Il a deux antennes avec deux codes d'émission. Et on fait de l'interférométrie. Les antennes sont à patchs avec LMC (25 w d'émission). Le projet MIDCAS a réuni 5 nations et 10 industriels. Il a utilisé un auto-directeur sur un drone pour un balayage de l'espace. Les tests ont été menés près de Naples avec l'ADS-B, avec l'électro-optique et avec le radar. Il y a eu 107 scénarios sur 10 vols différents. Tout fonctionne.

Thalès veut augmenter la précision à grande distance. La solution en bande X ou KU (qui demande plus de puissance) permet d'avoir une plus grande précision instantanée

## 2. Des technologies pour une augmentation des capacités opérationnelles des drones

Julien Farjon (Sagem)

Julien Farjon va élargir le débat en partant du principe que ce qui est intéressant dans les drones sont les missions. Comment augmenter les capacités opérationnelles des drones. Le drone est en liaison avec l'*air traffic management* et met en œuvre de la localisation, de la certification pour assurer la sécurité des personnes et des biens, de la détection des objets proches, l'autonomie et l'exploitation des données.

Le *detect and avoid* assure l'anticollision (surveillance et évitement). Cela se traduit par des fonctions *collision avoidance*, *traffic avoidance* (0,5 mile nautique, 500 pieds), *situation awareness* et *Sense*. Un exemple est l'essai Odrea. Un pod avait un récepteur ADS-B, un interrogateur de transpondeur et de l'optronique, ce qui permet d'avoir un facteur d'état correct. Des manœuvres ont été effectuées (détection + évitement) : approche latérale lente déclenchée à 700 m, un face-à-face détecté à 10 km avec un intrus pisté à 1,5 km et la manœuvre engagée à 1,2 km.

La localisation améliorée permet de consolider la localisation GPS. La vision aide. Un capteur électronique avec traitement d'image est utilisé avec le GPS. La base cartographique permet le guidage. C'est utilisé pour de la localisation inférieure à 1 m.

Dernier point abordé, l'exploitation des données charges utiles. Le projet Seabilla (EU) est un projet en mer pour une recherche autonome (la signature typique de tel navire dans le rail d'Ouessant) et une poursuite autonome. Le but était d'avoir une estimation des dimensions des bateaux.



### 3. L'autonomie dans les systèmes aériens militaires non habités

Pierre Hélie (Dassault-Aviation)

Pierre Hélie définit le périmètre de son intervention: les UAV militaires (gros drones) dont les particularités sont l'environnement potentiellement hostile, soumis à des tactiques de l'adversaire. Ils sont dotés de capacités létales. Il faut prendre en compte les dimensions « menace » plus tard car aujourd'hui ils sont incontestés, la densité du trafic, le temps, leur rôle (surveillance et engagement d'objectifs chez les américains), le C2 (contrôle-commande) isolé mais plus tard à plusieurs, et enfin l'autonomie. Demain ils le seront encore plus.

Un système automatique sait ce qu'il doit faire en s'accordant quelques degrés de liberté. Un système autonome peut prendre une décision qui contredit le plan initial. Il y a différents niveaux d'autonomie. La tâche que le système a à réaliser est décortiquée. La survie du drone est aussi importante, comme la sécurité. Il faut arbitrer entre ces différentes actions et faire des compromis. On applique la boucle OODA (*Observe, Orient, Decide, Act*). Toutes les missions sont décomposées suivant cette logique. Dassault Aviation a à répondre à plusieurs problématiques : a-t-on confiance dans la technologie pour permettre l'automatisme complet ? Quelle règle d'engagement humain ? Et quelles sont les capacités de l'opérateur ? Le niveau d'autonomie va résulter du compromis entre ce que l'homme sait faire, ce qu'il peut faire et ce qu'il a le droit de faire. Les technologies sont classées suivant OODA. Elles sont choisies selon leur bon fonctionnement, leur niveau de confiance et leur domaine d'emploi. Par exemple l'*Automatic target detection/recognition* (ATD/R) est la probabilité d'extraire un objet et de le reconnaître dans une image. Le taux de fausse reconnaissance peut être délicat (maison ou camion ?). Il faut donc un homme pour lever les doutes.



D'autres critères sont à prendre en compte : comme le système a été conçu ? Qui est le meilleur entre l'homme et la machine ? La Fitt's list est le point de départ pour savoir quelles tâches sont à confier à l'homme et celles à confier à la machine. Tout dépend des possibles éducation et entraînement des opérateurs ainsi que des capacités des machines. La situation de contrôle déporté induit des limitations au niveau de la perception de l'environnement et de la capacité de contrôle. Il y a des règles opérationnelles à prendre en compte et aussi une flexibilité à garantir.

Dernier point, comment assurer une coopération entre l'homme et la machine afin de régler le niveau d'automatisme ? Et comment parler aux robots intelligents (développement de standards développés pour des simulations comme C-BML) ? Aujourd'hui les machines ne prennent pas le pouvoir contrairement à ce que dit la presse.

Un exemple : le démonstrateur Neuron, un drone discret doté de capacité de tir d'armement. Des essais ont été menés en France, en Suède et en Italie (120 vols). Ils se poursuivent cette année et l'année prochaine. Neuron a un mode contrôle et un mode supervisé. Des actions sont impossibles si l'opérateur n'a pas donné son approbation.

En conclusion, l'autonomie n'est pas globale mais doit être réfléchié suivant les actions. Il faut laisser le temps aux opérateurs de s'approprier le comportement des systèmes et veiller à préserver la prédominance de l'homme sur la machine.

## 4. L'intégration des drones dans l'espace aérien civil

Catherine Ronflé-Nadaud (DGAC)

Comment maintenir un niveau de sécurité élevé pour l'espace aérien? Catherine Ronflé-Nadaud, du service de la navigation aérienne à la DGAC, a travaillé sur les drones, et s'interroge maintenant, à la DTI, à comment ajouter un nouveau système que sont les drones. Ce qui revient à définir le système de management de demain. En introduction, elle note qu'on est passé de UAS (*Unmanned Aircraft System*) au RPAS (*Remotly Piloted Aircraft System*), mais le drone n'est pas piloté, juste contrôlé. Le télépilote est chargé de piloter le véhicule (RPA). La spécificité est que ce pilote est au sol et doit interagir avec le RPA dont le poids va de 150 g à plus de 150 kg. On ne peut pas prendre en compte ce système d'un seul bloc. Les missions peuvent être en haute altitude (>45000 pieds) ou en moyenne (1000< x>45000) altitude. Le télépilote vérifie qu'il n'y a pas d'obstacle s'il est en *visual line-of-sight* (VLOS) ou en *beyond visual light-of-sight* (BVLOS). La DGAC doit vérifier que ces deux systèmes fonctionnent avant d'autoriser les vols. En BVLOS, hors de portée de radio, il faut introduire un autre système, comme une liaison satellite, ce qui introduit une latence qui n'est pas compatible avec les procédures. Cela pose un problème. Une technologie doit être proposée. Sinon ce type d'appareil sera interdit.

Les principes de l'ATM: garantie d'atterrissage dans les terrains qui leur sont accessibles. Le design aérien doit être organisé pour cela. Il faut aussi un plan de vol pour prendre en compte si on sait faire avec toute la flotte en action. Autre principe, la séparation des trafics: il faut dès le début séparer les aéronefs. L'évitement de collision n'intervient que quand il y a eu un loupé de séparation.

Pour les gros drones, la DGAC oblige l'emport d'équipements équivalents à ceux de l'aviation pilotée. Les drones ne sont pas adaptés à la montée rapide. Il faut prendre cette spécificité en compte. La séparation est assurée par le control aérien.

Il faut que le nouveau système soit compatible avec l'existant, car l'espace aérien est très conservateur. Pour les petits drones (<500 pieds ou 150 m), il faut organiser de nouvelles règles. Surtout au regard des sites sensibles. Mais la DGAC n'a pas les moyens de contrôler les petits drones. Il faudrait un système à bord qui donnerait l'identification et la localisation de l'appareil qui serait enregistré. Il serait demandé une intention de vol (pas un plan). Il y aurait un système d'identification pour les VLOS (exemple: laisser 150 m entre chaque drone) ou, pour les BVLOS, pouvoir récupérer les localisations et les données électroniques. Un récepteur GPS serait obligatoire et disponible pour les autorités de l'aviation civile. Le système peut-ils être certifié? Au niveau européen? À un coût correct?

Les communications entre le télépilote et le contrôleur aérien doivent être comparables à celles en VHF. L'ITU a alloué en 2012 la bande C (5030-5091 MHz) pour les gros drones. Mais rien pour les petits. C'est en train d'être travaillé. Il faut que les labos et les autorités travaillent ensemble. Le *Detect and Avoid* doit aussi maintenir la séparation dans les espaces aériens non contrôlés. Il doit détecter le sol, les phénomènes météo dangereux. Les nouveaux systèmes: ACA X (évitement, minimisation des algorithmes), l'ACS Xu est spécifique pour les unmanned.

Pour les petits drones, la réglementation de 2012 a été upgradée fin 2015. Elle prend en compte l'état de l'art des technologies. En 2035, une étude de la *Volpe National Transportation* prédit l'existence de 245 000 RPAS.



## 5. L'implication des pôles de compétitivité français à vocation aéronautique et spatiale au bénéfice de la filière des aéronefs télé-pilotés («Drones»)

Claude Tribout (ASTech Paris Region)

Il y a en France 3 pôles de compétitivité à vocation aéronautique et spatiale. ASTech, à Meudon, en Ile-de-France, a un comité stratégique drones que Claude Tribout préside. Le deuxième pôle est Aerospace Valley sur l'Aquitaine et Midi-Pyrénées. Sa commission des marchés s'occupe des drones. Le troisième pôle, en PACA, est Safe cluster (ex-Pegase) qui possède aussi un programme de modèles autonomes. Claude Tribout préside encore pour un mois la structure d'accueil qui doit faire émerger des projets de R&D.

La DGA oblige les 3 pôles à coopérer sur les drones, entre autres sur ce qui est en maturation. ASTech a une convention de partenariat (cluster drones) avec une piste pour réaliser des essais sur l'ex-base BA 217 en Essonne. En Aquitaine, plus en avance que l'Île de France, il y a plusieurs possibilités de tests dont certains à longue portée, ce qui n'est pas possible sur BA 217. Les 3 pôles siègent au sein du conseil pour les drones civils (CDC) qui a 3 comités : 1-opérations, réglementations et usage (SAFE). 2-technologies et sécurité (AEROSpace), 3-soutien et promotion de la filière (ASTech). Chaque comité a des groupes de travail.

Les pôles servent à mettre tout le monde en relation, organiser des journées thématiques et des colloques. Depuis 2006, 25 projets ont été subventionnés par le FUI ou les régions, soit 45 M€ d'investissements et 18 M€ de subvention.

Les technologies à développer doivent répondre au besoin d'intégration des RPA dans l'espace aérien européen non ségrégué et de mission de longue endurance. Il y a les niveaux types de plate-forme, agiles, convertibles. Des véhicules plus résistants aux champs et courants forts, sobres acoustiquement, avec de bonnes communications en ville. Claude Tribout cite d'autres études qui concernent la miniaturisation (autopilote, senseurs, calculateur) ou la réduction de l'énergie à l'impact. Du côté de la sécurité de la navigation, il note qu'il faut développer les vols autonomes sans GPS, la perception artificielle, le partage d'autorité et la résilience aux dommages.



## 6. Les drones civils : enjeux, marchés, réglementations

Cristophe Mazel (FPDC)

Christophe Mazel veut informer les auditeurs sur les professionnels de la filière en décrivant leur vie de tous les jours et leurs problèmes. La France a un retour d'expérience intéressant. Les drones civils sont un business. La FPDC a été créée en 2013. Et en 2015 le bureau a été élargi de 3 à 18 personnes. Elle rassemble les opérateurs, les constructeurs, les centres de formation, les éditeurs de logiciels, les assureurs, les avocats, les donneurs d'ordre, etc. Elle représente donc la profession et apporte un appui et des conseils aux professionnels. Ce sont en général des TPE et PME. L'intérêt économique des drones civils est évident.

Les drones sont d'un intérêt économique surtout sur le marché industriel. Ils sont de plus en plus utilisés, limitent les risques et étendent les limites des opérations au même coût. Ce sont des outils pour la sécurité civile et publique. Beaucoup de monde travaille sur l'énergie à bord, la prévention et l'évitement des obstacles, les communications, l'atterrissage sécurisé. Au niveau opérationnel, les travaux portent sur les vols hors de vue, les espaces aériens interdits ou partagés, les zones peuplées, les limites de charge embarquée. Des technologies sont disponibles. Les opérateurs ont besoin de pouvoir piloter les RPAS, qu'ils soient fiables et robustes et certifiés. La réglementation de la DGAC (fin 2015) comporte 4 scénarios (LOS, VLOS), suivant le poids. Cette réglementation a fait émerger le marché, mais elle doit évoluer pour accéder aux marchés exigeants. Christophe Mazel note qu'il faut former les télépilotes.

Il note aussi les enjeux économiques des drones. Les marchés porteurs sont les réseaux de transport, l'électricité, les hydrocarbures, la construction, les mines et carrières, l'agriculture et l'environnement. En 2013, le marché était de 27 M€, puis de 85 M€ en 2015. Il croît très vite (environ 700 M€ prédits en 2020). En 2014, c'étaient les médias qui utilisaient le plus les drones (50%), mais l'industrie va prendre le dessus.

Question emploi, 5 000 personnes aujourd'hui engagées dans ces métiers, 20 000 le seront en 2020. Au 31 décembre 2015, 2338 sociétés sont déclarées opérateurs de drones (4222 drones dans le ciel), avec une augmentation du nombre d'opérateurs de 90% sur 12 mois.

Christophe Mazel conclut sur la nécessaire homogénéisation de la filière et de la réglementation nationale ou internationale. La normalisation va très vite avec des premiers documents en juin prochain. Il faut conserver l'avance acquise par la France.



## 7. Le décollage des drones: un avenir qui s'installe progressivement dans notre quotidien

Lionel Legat (Police Municipale)

Lionel Legat est chef de service de police municipale de la ville de Saint-Etienne. Il note que le marché des drones explose, la France étant en 3ème position. Suivant l'activité, les engins ne sont pas les mêmes.

La société Gopro envisage de se mettre sur ce marché. Le drone Lilly suit son utilisateur pour de la course à pied ou des exploits sportifs. Ce sont essentiellement des prises de vues de particuliers ou de sociétés cinématographiques, mais il y a aussi des courses de drones. En télévision, les drones permettent des économies substantielles. En agriculture, ils servent aux traitements, à la collecte d'informations sur les sols et la surveillance des cultures et du bétail.

Troisième domaine, la topographie avec la collecte d'informations et de données. La surveillance concerne les ponts, les édifices, les chantiers, les réseaux électriques ou ferrés et les études énergétiques. Elle concerne également tous les sites sensibles, les gazoducs, les raffineries, l'aéronautique (inspection des avions au sol), les énergies renouvelables (inspection des pales d'éoliennes). À noter, la sécurité incendie, la prévention des risques chimiques. Ce sont aussi des outils d'aide à la décision pour la police lors d'une intervention, de l'évaluation de l'ampleur d'une manifestation ou dans le cadre d'une enquête. Aux États-Unis, les drones peuvent être équipés d'un Tazer (à moins de 12 m). Il y a aussi le Naviator de l'Université de Rutgers, dans le New Jersey (drone volant et nageant). Solar Impulse étudie un drone solaire et les sociétés de livraison étudient l'utilisation des drones (Poste suisse, Amazon, DHL).

Mais il y a des contraintes que sont les conditions météo et l'autonomie de l'appareil. Pour Lionel Legat, nous ne sommes qu'au début de l'évolution technologique de ce type de machines. Il faut nous attendre à des usages multiples et variés, voire parfois insolites de ce type de matériel, dans les années à venir.



## 8. Utilisation des drones à ERDF

Michel Cordonnier (ERDF)

ERDF (100 000 clients en moyenne tension, 34 millions de clients en basse tension) gère 352 000 km de lignes aériennes moyenne tension et 410 000 km de lignes aériennes en basse tension. ERDF visite déjà ses lignes par hélicoptère (100 000 km moyenne tension chaque année) pour la maintenance ou le dépannage. Ce sont des lignes basses, visitables par drone, mais le linéaire est grand et le relief varié. Le réseau s'approche au plus près des habitations et des zones réglementées.



Michel Cordonnier note que le drone est utile pour les missions de longues distances (VLOS) ou de proximité. Les RPA expérimentés ont des voilures fixes, tournantes ou hybrides ou le dirigeable. Il faut voler par mauvais temps et sous couverture radio. L'automatisation est intéressante pour visiter les lignes qui sont fixes. Les capteurs haute définition permettent de contrôler les ouvrages. Le lidar a été utilisé pour des mesures de distances réglementaires entre les lignes et leur environnement. Les données sont traitées automatiquement quand ce sont des données Lidar ou 3D. Le traitement permet de modéliser la pousse de la végétation, de reconnaître des objets et des anomalies et de constituer une base de données. L'usage qu'a ERDF des drones est par exemple l'élagage. Cela permet de déterminer s'il faut le faire, à quelle distance et faut-il couper la ligne ou non. La solution est le drone à voilure fixe de masse < 2kg. La solution préindustrielle est développée. Autre exemple, en phase expérimentale, le diagnostic après un aléa climatique. Le drone complète les moyens hélicoptères et les visites au sol. Cela permet de réagir plus vite. Le drone agit en mode dérogatoire avec un capteur infrarouge. Dans le futur, ERDF prévoit de faire le diagnostic mécanique des ouvrages (support tordu, usé, cassé), en emportant des capteurs HD et infrarouge. Idem pour la cartographie des lignes.

Les expérimentations sont en cours.

## 9. Retours d'expérience et perspectives d'utilisation des drones à EDF

Coline Brothier (EDF)

Coline Berthier est responsable du centre de compétence drone à EDF, producteur d'électricité avec un parc thermique, un parc hydraulique, un parc nucléaire. À partir du besoin métier, EDF réfléchit au capteur nécessaire et au vecteur à utiliser. Il y a des enjeux et des gains, au niveau économique, par exemple un drone plutôt que des échafaudages. Une inspection des conduites forcées, réalisées par des cordistes peut être préparée par un drone en vue d'un éventuel approfondissement par une visite à pied. Idem pour les parements des barrages. Autre exemple, le suivi des herbiers en rivière qui viennent colmater les conduites des centrales nucléaires. Il y a donc plusieurs applications pour les drones (inspection visuelle, cartographie, thermique, bathymétrie, longs linéaires, suivi de la végétation, topographie, mesures acoustiques ou génie civil).

Par exemple, au Havre, EDF a expérimenté l'inspection visuelle. Un contrat d'expertise est mis en œuvre cette année. La cartographie des conduites forcées permet de préparer l'arrivée des cordistes mais aussi de dresser un état 0 de la conduite. La topographie a été testée en créant un fontis artificiel sur une digue. EDF prévoit de réaliser cela avec un lidar et un appareil photo sur de grands linéaires. L'entreprise prévoit des inspections de filets de protection au dessus des barrages, des mesures de débit de rivières, des prélèvements d'eau, des inspections de l'intérieur de conduite, des études de maintenance, etc.

Le centre de compétence drone d'EDF fait une vielle technologique et réglementaire, ce qui permet de monter des solutions drones clef en main, faire des expérimentations, créer un référentiel industriel. Quand cela fonctionne, ils déploient la solution à l'ensemble des métiers. Le CCD a un appui fort de la R&D d'EDF pour développer des outils de détection semi-automatiques de fissures.



## 10. Un drone à grandes capacités pour les usages civils et les applications scientifiques

Michel Gavart (AJS)

Le drone Boreal de la société AJS est un drone de moins de 25 kg mais avec des perspectives intéressantes. Un vecteur de cette taille est soit aussi lourd que l'air, soit plus lourd que l'air. Dans cette dernière catégorie, on a les voilures tournantes (multirotor, hélicoptère), les voilures fixes (classiques ou ailes volantes) et les convertibles. Dans les aussi lourds que l'air, ce sont des ballons et des dirigeables. Les ailes volantes sont propices à l'emport de charge importante, alors qu'un multirotor est soit chargé mais très peu durand, soit durand mais doit être ultraléger. La vitesse est déterminante quand il y a du vent. Là encore les ailes volantes sont intéressantes. C'est pourquoi le drone Boreal a des ailes volantes.

Il emporte 5kg de charge utile, a 10h d'endurance, une croisière de 1 000 km à 100 km/h. Son envergure est de 4,2 m pour une longueur d'1,2m, ce qui donne une stabilité de vol impeccable. Il est catapulté au départ et atterrit à 30 km/h sur le ventre. Au delà de 4 500 m, la puissance n'est plus suffisante. La puissance électrique de 100 W y est générée. Il est déployé et peut décoller en moins de 20 minutes à partir d'une remorque. Il a déjà été utilisé avec MétéoFrance avant 2012 à 3500 m, avec Yellowscan Lidar scanning et avec le CEA, pour une campagne de suivi de l'état du corail à Mururoa et Fangataufa, en Polynésie. Il est resté 4 semaines sur le site et a parcouru 2000 km en prenant 7000 images THR entre 600 et 1600 m.

Boreal a aussi des applications scientifiques: le projet Mistale de cartographie GNSS. Le drone reçoit le signal des satellites et le signal réfléchi par le sol. On peut détecter ainsi le sillage des bateaux, les mesures de brume au niveau de la mer. Il est possible aussi (projet Miriad (2025-2018)) de faire passer les sondes très près de la surface de la mer pour mesurer les flux énergétiques et les aérosols. Un bateau peut le faire mais lentement et en perturbant le milieu. Un avion ne peut pas voler si près de l'eau. Autre avantage, les scientifiques ont accès au drone pour l'instrumentation, alors que ce n'est pas le cas pour un avion à cause des réglementations. L'avion jaune (le drone Boreal) a été déployé le long des rivages des Landes (50km de long, 5km de large).

Un projet de charge utile de 10kg est lancé cette année.



## 11. Drones: les atouts des start-up françaises face à la concurrence internationale

Arnaud Le Maout (Airborne Concept)

Arnaud Le Maout est fondateur d'Airborne Concept, une start-up toulousaine qui conçoit et fabrique des drones de tous types. Il commence son intervention par une citation d'Emma Marcegaglia, ex-patronne du Medef italien : « *quand il y a une innovation, les Américains en font un business, les Chinois la copie et les Européens la réglementent* ».

La France est un terrain fertile pour l'innovation, 4<sup>e</sup> pays pour le nombre de brevets délivrés en 2013. Elle est leader dans l'industrie aéronautique ainsi que dans les écoles et les laboratoires de recherche. La bonne stratégie est de penser que les drones sont des avions. C'est même l'aéronautique du futur. Quand on sera habitué aux voitures autonomes, on pensera aussi aux avions sans pilote. La technologie a dépassé le savoir-faire humain au moins dans la réactivité de l'action. En France, on a toute la matière performante pour construire des drones. Mais Arnaud Le Maout note que la filière est atomisée (90% des start-up sont unipersonnelles). Le marché se structure mais est peu porteur dans l'Hexagone. Car chez nous, le serpent se mord la queue : en France on n'investit pas, ce qui freine la R&D, donc pas de produit à vendre, donc un besoin d'investissement, mais pas d'investissement, etc. C'est dommage, car dans les drones civils, la France avait de l'avance.



Mais il y a des start-up créatives, réactives, flexibles, compétentes et rigoureuses. Avec ces qualités, elles peuvent garder leur leadership et leur pouvoir d'innovation. Exemple : question rigueur et fiabilité, il n'y a pas besoin d'investir dans les parachutes que certains réclament. Un avion de ligne n'a pas de parachute et personne ne le réclame. Arnaud Le Maout montre un film racontant comment sa société a conçu son drone largué depuis un avion. Il se stabilise avec un parachute et s'en détache pour sa mission. Un autre brevet, en commun avec Egis, est un système de signalisation d'un mini-drone, l'ADS-B. C'est un module de 100 g, capable de signaler sa présence par radio. Le prochain défi est « l'aéropostale par drone » : traverser l'Atlantique en 2018 avec l'aide des étudiants de Supaero.

Bref, s'il y a beaucoup d'idées, Arnaud Le Maout conclut qu'il faut nous donner les moyens de rester leader dans la compétition internationale.

<https://www.youtube.com/watch?v=lodeCOhu66A>

## 12. Nouvelles technologies pour sécuriser le vol des drones et accroître leurs performances

### Henry de Plinval (ONERA)

Henry de Plinval fait un panorama rapide des nouvelles technologies nécessaires pour améliorer les drones. L'Onera travaille sur 60 projets concernant les drones (100 personnes impliquées).

Le premier enjeu est la sécurisation des vols : il faut fiabiliser l'avionique. Par exemple, être capable de vérifier les codes informatiques et ce que la théorie raconte. Cela permet de valider ce qui est à bord du drone. Par exemple, le projet Fui First concerne le déclenchement d'avalanches à partir d'un drone. Un autre enjeu de la sécurisation est la surveillance de la santé du drone et l'adaptation en cas d'aléas, qui occupe Henry de Plinval lui-même (projet Onera Dropter (2016-2019)). La question posée est: quelles sont les techniques et technologies recouvrant la mission en cas de blocages d'ailerons, de perte de capteurs, de perte de communications, de rafales de vent) ? D'autres projets concernent la visualisation de l'atterrissage, l'insertion dans le trafic aérien. Un énorme domaine en pleine expansion est la prise en compte de l'homme dans la boucle. Car l'automatisation n'est pas un but en soi. Il y a - et il y aura - toujours un homme dans l'histoire pour effectuer les tâches où il est le plus efficace. De même, les facteurs éthiques sont à prendre en compte pour dépasser les conflits éthiques qui peuvent survenir.

D'autres études de l'Onera concernent des systèmes complets de drones : Eole est un drone qui pourrait porter des mini-satellites en orbite basse ; Clearflight est un insecte artificiel pour aller dans des endroits très particuliers qui nécessitent sa très petite taille. Autres études, le développement de capteurs optroniques ou radar plus fiables, plus petits, plus performants. Ou encore l'amélioration de l'autonomie. Un aspect peu mentionné durant le séminaire est l'interopérabilité, la coordination et la coopération de drones (ou de robots). Cela permet de résoudre des missions même si un élément tombe en panne ou de maintenir la communication entre les différents éléments.

Enfin, et si le drone était malveillant? Un projet cherche à développer les capacités de repérer ces drones potentiellement malveillants en fusionnant diverses sources d'informations provenant de différents capteurs.



### 13. Conception de micro-drones innovants : vol de transition, discrétion acoustique, extraction d'énergie et sûreté de fonctionnement

Jean-Marc Moschetta et Patrick Fabiani (ISAE Supaéro)

Jean-Marc Moschetta est professeur d'aérodynamique et directeur du GIS Micro-drones, ensemble du CNRS regroupant des dronistes (fabricant et étudiant) et des droneurs (utilisateurs). Les micro-drones sont un sujet très intéressant pour la pédagogie.



Les micro-drones convertibles (voilures fixes et tournantes) sont utiles. Cela fait 15 ans qu'ils y travaillent. Plusieurs thèses se sont enchaînées. La dernière bénéficie d'une soufflerie avec des écoulements de 2 m/s, ce qui est rare. L'étudiant travaille sur le passage d'un mode de voilure à l'autre. Un autre micro-drone hybride « *roll and fly* » possède deux roues qui lui permettent de rouler sur des parois et passer sur des obstacles. Un autre (*stick and fly*) possède une ventouse ce qui permet d'étudier les moteurs coupés ou l'intrusion dans des bâtiments exigus. Plus récemment, une thèse a été lancée sur l'exploration martienne : un drone pourrait aider le robot Curiosity à visiter la planète Rouge, mais du fait de la faible gravitation, de la faible pression atmosphérique, du CO<sub>2</sub> au lieu de N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>, cela change les caractéristiques des ailes et des moteurs. Un résultat intéressant de cette étude est un ensemble de 4 pales coaxiales. Pour contrer les tempêtes de vents martiens, la meilleure solution est un drone en forme de grenades anti-personnelles. Dernier exemple d'étude, les micro-drones furtifs au niveau acoustique. Cela permet d'augmenter l'endurance, car le maximum de furtivité acoustique coïncide avec celui de l'endurance. Celle-ci peut-être aussi amélioré quand on copie le vol de l'albatros. Et encore mieux si on lui met une hélice sur le bec.

Jean-Marc Moschetta passe ensuite la parole à son collègue Patrick Fabiani, directeur de la recherche à l'Isae/Supaéro. Il parle quant à lui de la sûreté et la certification des systèmes embarqués. Comment les méthodes de l'ingénieur capitalisent le retour d'expériences pour améliorer les opérations. Exemple, un gestionnaire de parc d'infrastructures qui possèdent des ponts avec des piles et un tablier veut ausculter ses ouvrages avec un drone. La manoeuvre est délicate car sous le tablier et derrière la pile on perd le signal GPS et la vue du drone. Il faut savoir comment le système

embarqué va réagir. En hybridation serrée, on va chercher au plus près du signal GPS et utiliser les capteurs. Il ne suffit de faire un algorithme qui fonctionne et reproduit, il faut savoir le faire sur des calculateurs embarqués qui tournent suffisamment vite. Il faut aussi prendre en compte les interruptions de liaison de données, de GPS et les pannes du système et des moteurs. Cela veut dire qu'il faut savoir à quel niveau du système il faut agir. Les solutions peuvent avoir un impact sur les méthodologies dans l'aéronautique. D'où de nouveaux marchés, de nouvelles technologies et de nouveaux standards.

Fin du séminaire, Thiên-Hiêp Lê remercie tout le monde et renouvelle son appel à proposition pour des sujets de prochains séminaires.