



# L'Hippocampe

**DOSSIER**  
**DRONES**



©Armée de l'Air



## Éditorial

Gilles-Emmanuel BERNARD (79) Président de l'ACN 1

## L'Association

Annuaire 2014 2  
 Agenda 2  
 Nouveauté : La Boutique 2  
 Journée de l'Ingénieur 2014 2  
 Retrouvailles de la promotion 63 - Par Pierre VAUSSY (63) 3

## Groupe Auvergne

L'ACN Auvergne en plein redémarrage ! - Par Mathieu LEBLANC (11) 4

## Groupe Ain-Rhône

Nouvelle organisation du groupe Ain-Rhône 4

## Groupe Bretagne-Pays de la Loire

100 centraliens de Nantes, Paris, Lyon réunis à la Cité des Congrès ! 4  
 - Par Vanessa MICHEL-JOLIETTE (06)

## École

Remise des diplômes 2013, un franc succès - Par communication@ec-nantes.fr 5  
 Le Week-End des Dipômés 2013 - Le Staff WED2013 5  
 Les MOOCS... et au-delà - Par Morgan MAGNIN (04) 6

## Élèves

EI Pros - Par Clara STIBBE (E12) 7  
 TEDx - Par Olivier CHASLOT (E12) 7

## Groupe Centrale Énergies

Stockage des énergies renouvelables - François BARSACQ (ECP 1984) 8-9

## Reportage

Les secrets de la Grotte Cosquer - Par Luc VANRELL 10-12  
 Autour de Chinon – Trois facettes d'un patrimoine 11-13  
 - Par Claude GUERIN ( 58) et André COPIN (66)

## Dossier : Drones

Éditorial - Par Bernard DIMOYAT (79) et Jean-Marc PINARD (82) 14  
 Drone nEUROn vole ! - Par Jean-Marc PINARD (82) 15-17  
 Dominique Fleygnac (82) prend les commandes de nEUROn 18  
 Watchkeeper, un système de drones tactiques - Par Jean-François HENRIO 19-20  
 Drones tactiques : retour d'expériences et enjeux d'avenir 21-23  
 - Par Patrick DURIEUX  
 TANAN™ 300 - Par Daniel CUCHET 24-25  
 Les drones civils : un enjeu économique majeur - Par Christian VIGUIÉ 26-27  
 Fly-n-Sense : notre nouvel ange gardien - Par Eric SPAMPINATO 28-30  
 Drelio : un drone hélicoptère pour la recherche en environnement 31-33  
 - Par Philippe GRANDJEAN et Pascal ALLEMAND

### NAISSANCES

02.04.2013 Mélina et Athina, filles de Marie VARLOUD (05) née LE NABOUR et de Olivier VARLOUD

### DÉCÈS

17.11.2012 Yannick SANTOLARIA (95)  
 18.04.2013 Yannick SCHMIDT (65)  
 30.06.2013 Philippe JEANMICHEL (77)  
 02.10.2013 Maurice JAN (T41)  
 15.11.2013 Daniel LECUYER (66)

### Photo de couverture :

1<sup>er</sup> Vol du drone NEURON, le 1<sup>er</sup> décembre 2012 à Istres

©Armée de l'Air


  
**ISSN 1624 - 6683**  
 Revue trimestrielle éditée par l'Association des Centraliens de Nantes (ACN)  
 1, rue de la Noë - 44321 Nantes cedex 3  
 Tél. 02 40 37 25 64 - Fax 02 40 37 25 62  
 E-mail : asso.ingenieurs@ec-nantes.fr  
 www.ec-nantes.fr  
**Directeur de la publication :** Gilles-Emmanuel BERNARD  
**Rédacteur en chef :** Gérard DELHOMMEAU  
**Secrétaire de rédaction :** Christelle ROUSSEAU  
**Dépôt légal :** 4<sup>e</sup> trimestre 2013  
**Commission paritaire :** 1014 G 82 212  
**Conception - réalisation :** CM5 Ouest-Nantes  
 Tél. 09 81 14 98 50  
 contact@cm5ouest.fr  
**ABONNEMENT 2013 (4 numéros)**  
 Adhérents : 11 € pour les élèves ingénieurs membres juniors  
 19 € pour les promotions 2007 à 2012  
 23 € pour les autres promotions  
**Ce numéro a été imprimé à 2 500 exemplaires**  
*Les articles et informations publiés dans la revue le sont sous la responsabilité exclusive de leurs auteurs.*  
**Ce numéro a été remis à la Poste le 27 décembre 2013**



Chers amis,

L'enthousiasme et la foi en l'avenir des nouveaux Diplômés, rencontrés lors de la cérémonie de remise des diplômes du 15 novembre dernier, est sans doute le plus bel exemple des forces intrinsèques que recèle notre pays ... quoiqu'en disent les Cassandre habituels .

Centrale Nantes, dans la lignée des promotions qui se sont succédées depuis presque un siècle, sait ainsi continuer à former des Ingénieurs, Docteurs, et Master (sans oublier nos amis Techniciens de la première heure !), empreints du même sens des responsabilités, d'une curiosité renouvelée, de la même volonté de faire progresser la Société et les organisations grâce à leurs acquis scientifiques et managériaux.

A un moment où l'organisation de l'enseignement supérieur est de nouveau soumise à des questionnements, il n'est qu'une seule réponse, basique : regardons ce qui marche !

Durant cette année 2013 qui s'achève, de nombreuses évolutions auront marqué notre Ecole et notre Association :

- sur le plan local, le rapprochement progressif d'Audencia et sans doute bientôt de l'Ecole d'Architecture, permettant ainsi de constituer à Nantes un pôle de formation d'excellence autour des thématiques de la Science, du Management et du Design.
- sur le plan national, le redémarrage des travaux de rapprochement avec les Écoles Centrales, afin de consolider cet ensemble unique que constitue le réseau Centrale.
- la décision de l'Ecole de regrouper en un seul lieu sur le campus (le bât E) les activités tournées vers les entreprises, les diplômés, les étudiants. Nous y retrouverons ainsi : notre Association, la Direction du Développement et des Relations Industrielles, la Fondation Centrale Initiatives, l'incubateur SYMBIOSE commun avec Audencia, ...et la cafétéria !
- l'initiative de notre CA, en juin dernier, d'étudier le regroupement des moyens de gestion de notre Association avec ceux de l'Ecole dans un pôle de ressources commun dédié aux relations avec les diplômés, les étudiants et les entreprises. Cette initiative sera présentée lors de notre prochaine Assemblée Générale du 5 avril 2014 à Nantes, mais vous pouvez d'ores et déjà nous joindre pour mieux participer à cette réflexion.

Permettez-moi de souhaiter à tous de profiter pleinement des moments de rencontre et de convivialité que notre association permet de réaliser, ... et de passer d'excellentes fêtes de fin d'année !

Gilles-Emmanuel BERNARD (79)  
Président de l'ASSOCIATION  
DES CENTRALIENS DE NANTES (ACN)

## ANNUAIRE 2014



Comme pour la parution 2012 les Éditions S.E.F.E se voient confier la publication de l'annuaire 2014 de l'ACN.

Les recherches publicitaires ont débuté courant octobre et nous vous remercions de réserver le meilleur accueil à l'équipe qui vous contactera.

Pour que l'annuaire soit à jour, il est indispensable de nous informer de tout changement d'adresse en renvoyant la fiche de mise à jour par courrier ou en mettant à jour vos coordonnées sur l'annuaire en ligne onglet "Mon Profil".

## AGENDA

5 Avril 2014

Assemblée Générale ACN 2013 à Nantes

## NOUVEAUTÉ



**NOUVEAUTÉ : Centrale Nantes Boutique\* vient d'ouvrir !**



Vous pouvez désormais passer votre commande de mug, de parapluie, de porteclés,...et bien d'autres objets à l'effigie de Centrale Nantes.

accès : [www.centralenantesboutique.com](http://www.centralenantesboutique.com)

\* Centrale Nantes Boutique est une réalisation conjointe du BDE, de l'ACN et de la direction de Centrale Nantes.

## JOURNÉE NATIONALE DE L'INGÉNIEUR 2014



**SAVE THE DATE : La prochaine Journée Nationale de l'Ingénieur est fixée le Jeudi 3 avril 2014**

IESF s'attache ainsi à défendre le progrès, à mettre en relief l'innovation, l'industrie et plus généralement l'entreprise, et à encourager ses membres à s'engager dans la vie publique. Notre corps professionnel souhaite s'inscrire pleinement dans le paysage économique et prendre toute sa part dans le redressement de notre pays. La création de la Journée Nationale de l'Ingénieur est un exemple concret de notre engagement dans ce sens.

La deuxième Journée Nationale de l'Ingénieur (JNI 2014), se tiendra dans toute la France le 3 avril 2014 à l'initiative d'Ingénieurs et Scientifiques de France et est placée sous le haut-patronage de Monsieur Arnaud MONTEBOURG, Ministre du Redressement Productif.

**En 2014 la JNI abordera le thème central :**





# La promotion 63 a fêté son cinquantenaire les 26 et 27 septembre à NANTES

Par Pierre VAUSSY (63)

La promotion 63 a fêté son cinquantenaire les 26 et 27 septembre à Nantes en commençant par l'accueil des premiers arrivants à l'occasion du dîner du 25 au Novotel Cité des Congrès.

Quelques Nantais accompagnant G. Zitoun, l'Organisateur des journées, ont retrouvé des camarades dont certains, peu nombreux, n'étaient pas revenus à Nantes depuis l'obtention de leur diplôme !

Le choc a été perçu au premier contact, avec une émotion certaine, mais vite estompée par l'ambiance de la promotion toujours aussi soudée. D'entrée tous se sont retrouvés avec la chaleur des relations pour le vécu dans l'instant comme pour l'évocation du temps passé.

Le lendemain après qu'ait été rappelée la mémoire de nos

préoccupations, les discussions et échanges ont montré que tous restaient des ingénieurs intellectuellement en prise avec l'actualité et l'avenir.

Nos remerciements unanimes vont à toutes les personnes qui ont contribué à notre accueil.

La croisière déjeuner sur l'Erdre nous a rappelé le paysage Nantais et ses charmes. Au cours de la visite de la ville en bus panoramique qui a suivi, il était amusant d'entendre les commentaires et discussions dans lesquels chacun tentait de retrouver ses repaires d'étudiant dans une ville qui a beaucoup changé tout en gardant ses fondamentaux.

Le vendredi matin a été consacré aux "Machines de l'Ile" qui dans l'esprit de Jules Verne constitue une attraction considérée comme originale et généralement appréciée.



camarades disparus, dont deux d'entre eux au cours du voyage de fin d'études, le Major de promotion Jean Paul Reynaud, et Gilles Anglade qui en plus de ses qualités personnelles et académiques cumulait celles d'un dessinateur humoristique de haut niveau qui a beaucoup contribué à l'ambiance de la promotion. Nous n'avons pas oublié nos autres camarades trop nombreux au gré de tous dont nous avons été séparés au cours du temps, particulièrement Henri Charonnat qui il y a encore peu de semaines participait activement à l'organisation de ces journées.

65 participants venant de tout l'hexagone et de plus loin, ont été chaleureusement accueillis le lendemain à l'École par le Directeur, le Professeur Arnaud Poitou et son Equipe à laquelle s'étaient joints deux élèves ingénieurs. Beaucoup d'entre nous ont perçu ce qu'est devenue notre École. La visite et les conférences qui nous ont été proposés ont su captiver leur attention et faire en sorte que certains se seraient facilement transposés cinquante années en arrière dans l'École d'aujourd'hui. Bien que pour la plupart, l'activité professionnelle ne soit plus la dominante parmi leurs

Nous avons découvert ou redécouvert le château de la Duchesse Anne nouvellement restauré et ses musées remarquables dont celui retraçant l'aventure industrielle locale.

Les participants ont su profiter des instants pour se retrouver chaque fin d'après-midi à la convenance de chacun et de la convivialité des soirées au cours desquelles tous et chacun ont pu apprécier la gastronomie nantaise ou d'autres lieux ainsi que les animations qui leur étaient proposées.

Tous ont salué les efforts personnels de camarades qui malgré leurs difficultés ont voulu absolument participer à ces journées. Nous avons regretté l'absence de tous ceux qui pour des raisons diverses n'ont pas pu se joindre à nous, et nous nous sommes séparés en espérant retrouver le plus grand nombre d'entre nous pour une journée amicale comme celles qui depuis cinquante ans maintiennent et développent les liens entre les membres de la promotion.

Pierre VAUSSY (63)

## GROUPE AUVERGNE

### L'ACN AUVERGNE EN PLEIN REDÉMARRAGE !

Par Mathieu LEBLANC (11)

Le 3 octobre dernier, les Centraliens de Nantes installés en Auvergne se sont retrouvés pour une première rencontre depuis le redémarrage du groupe. Près d'une vingtaine de Centraliens, toutes promotions confondues, étaient présents sur la place de Jaude, à Clermont-Ferrand.

Les anciens élèves, des promotions 1954 jusqu'à 2013, ont fait connaissance et se sont rappelés les bons moments passés à l'ENSM ou à l'ECN. Fort de cette dynamique et dans l'objectif d'animer le réseau, un afterwork est organisé tous les 1ers jeudis de chaque mois à Clermont-Ferrand.

Si toi aussi tu as rejoint la région Auvergne, merci de mettre tes coordonnées à jour sur le site de l'ACN. Tu peux également contacter Mathieu Leblanc ([mathieu.leblanc@centraliens-nantes.net](mailto:mathieu.leblanc@centraliens-nantes.net)) pour tout renseignement, et rejoindre le groupe Facebook [www.facebook.com/ACNAuvergne](http://www.facebook.com/ACNAuvergne)



## GROUPE AIN-RHÔNE

**Nouvelle organisation du Groupe Ain-Rhône qui couvre les départements 01, 42 et 69.**

**Correspondant :**

Michel DEMICHELIS (1982)  
55 Rue Francois Peissel  
69300 CALUIRE ET CUIRE  
Tél. : 06.18.43.73.47  
[michel.demichelis@cic.fr](mailto:michel.demichelis@cic.fr)

**Philippe CARTIER (1982) est le nouveau Président du Groupe Ain-Rhône.**

Philippe CARTIER (1982)  
63 Avenue Paul Santy  
69130 ECULLY  
Tél. : 06.64.74.26.47  
[philippe.cartier@centraliens-nantes.net](mailto:philippe.cartier@centraliens-nantes.net)



## GROUPE BRETAGNE-PAYS DE LA LOIRE

### 100 centraliens de Nantes, Paris, Lyon réunis à la Cité des Congrès !

Par Vanessa MICHEL-JOLIETTE (06)

Après le succès des 2 premières soirées organisées à l'initiative de Didier Dollet (94) et de Vanessa Michel-Joliette (06), le groupe Bretagne Pays de la Loire de l'Association des Centraliens de Nantes a renouvelé son partenariat avec l'Orchestre National des Pays de la Loire pour obtenir des tarifs très préférentiels lors d'une soirée de concert classique à la Cité des Congrès de Nantes.

Mercredi 27 novembre 2013, ce concert classique a réuni 100 centraliens : élèves, diplômés de Nantes mais aussi de Paris et Lyon !

Cette soirée était la 3ème rencontre centralienne autour de la musique classique à Nantes, dans le Grand Auditorium de la Cité des Congrès.

On attend la prochaine avec impatience en 2014...

Le programme de tous les événements organisés avec l'ACN (Association des Centraliens de Nantes) sur le site, rubrique agenda.

[website.ec-nantes.fr/ingenieurs](http://website.ec-nantes.fr/ingenieurs)



# REMISE DES DIPLÔMES 2013, UN FRANC SUCCÈS

Par [communication@ec-nantes.fr](mailto:communication@ec-nantes.fr)

Les diplômés promotion 2013 de l'École Centrale de Nantes ont reçu leur diplôme au cours d'une cérémonie qui s'est déroulée le vendredi 15 novembre 2013 à La Cité de Nantes. Ce sont 551 diplômés qui ont été délivrés.

## La promotion 2013 est constituée :

- des PhD (58 docteurs),
- des Masters (154 diplômés),
- du Mastère Spécialisé "procédés de fabrication des structures composites" (7 diplômés),
- des ingénieurs centraliens (332 diplômés).

Ont été également diplômés des ingénieurs des spécialités "mécanique" et "BTP" (58 diplômés) en partenariat avec l'ITII des Pays de la Loire.



Remise des mallettes aux correspondants d'options

[communication@ec-nantes.fr](mailto:communication@ec-nantes.fr)



La cérémonie s'est déroulée en présence des enseignants-chercheurs, des familles, de Gilles-Emmanuel Bernard, Président de l'ACN - Association des Centraliens de Nantes et d'Arnaud Poitou, directeur de Centrale Nantes.

# WEEK-END DES DIPLÔMÉS 2013

Par le Staff WED2013

Vendredi 15 novembre, soir de la Remise des Diplômes, l'École Centrale a accueilli son Gala qui a réuni plus de 600 élèves. Au programme : bars à thèmes, défilés de mode, groupe de musique, numéros de théâtre, salle de poker et... coupe de champagne pour fêter dignement le diplôme de la promotion 2013.

Et le lendemain, le Week-End des Diplômés, ou WED, a démontré qu'il est bien devenu une tradition. La 6<sup>ème</sup> édition qui s'est tenue samedi 16 Novembre 2013 à l'École Centrale a réuni plus d'une centaine de diplômés et autant d'étudiants qui ont pu échanger autour des différentes activités de l'après-midi.

Tout d'abord, une conférence sur "Le Centralien à l'international" avec les témoignages d'Alexandre Schütze (promo 2008), correspondant Allemagne de l'ACN, puis Xavier Guérard, délégué régional Pays de la Loire d'Ubifrance, et enfin Charles Herval (promo 1973), président du groupe international de l'ACN.

Ensuite, le Workshop métiers & Networking, introduit par M. Arnaud Poitou et M. Gilles-Emmanuel Bernard, a obtenu un grand succès auprès des étudiants. De nombreux élèves ingénieurs ont pu profiter des conseils et retours d'expériences de nos chers diplômés autour de tables qui étaient vraiment rondes cette année !

Le célèbre tournoi sportif a comme chaque année remporté un vif succès, les valeurs du sport ont toujours eu une place privilégiée dans le cœur des Centraliens.

Enfin, la visite de l'école à cette année était assurée par Christophe Binetruy. Plus d'une vingtaine de personnes sont allées visiter le nouveau bâtiment T et le CRED.

Plus de 1500 viennoiseries, des dizaines de litres de jus de fruits et de café ont été consommés par les Centraliens lors de l'incontournable café gourmand. L'objectif du WED 2013 était de réunir un maximum de Centraliens dans un cadre convivial propice à l'échange. Objectif réussi.

Nous tenons donc à remercier tous les participants : les diplômés et les étudiants mais aussi l'Association des Centraliens de Nantes, l'administration de l'École et notamment monsieur Arnaud Poitou pour leur soutien et sans qui l'événement n'aurait pas pu avoir lieu.

Nous vous attendons encore plus nombreux pour l'édition 2014 du WED et du Gala !

Le Staff WED2013 : [wed@ec-nantes.fr](mailto:wed@ec-nantes.fr)



## LES MOOCS... ET AU-DELÀ

Par Morgan MAGNIN (04)

En une trentaine d'années, l'avènement de la micro-informatique et la démocratisation de la connexion à Internet ont radicalement modifié notre rapport à l'information et à la communication. Le secteur de l'éducation n'échappe évidemment pas à cette mutation en profondeur.

Jusqu'à peu, quiconque souhaitait élargir le spectre de ses connaissances devait s'inscrire dans un établissement de formation, se libérer le jour et l'heure auxquels avaient lieu les cours et se rendre physiquement à la bibliothèque pour assurer sa part de travail personnel. Au début des années 2000, la Formation Ouverte à Distance a fait exploser les murs de la salle de classe : il est devenu possible de suivre des cours de n'importe où à la seule condition de disposer d'une connexion à Internet. Mais parce que ces formations sont généralement coûteuses, elles ne sont destinées qu'à certaines catégories d'étudiants ou de salariés. **Les Massive Open Online Courses** (Cours en Ligne Ouverts et Massifs), **ou MOOC**, ont levé cette dernière barrière à la démocratisation du savoir. Initiés à la fois par le Canada (de longue date impliqué dans l'intégration des technologies dans les modèles pédagogiques) et les Etats-Unis (dont les Universités recherchent à la fois de nouveaux publics et de nouveaux modèles économiques), ils ont émergé à partir de 2008. Le principe pour les apprenants : pouvoir suivre pendant 8 à 16 semaines, sans déboursier un centime, un cours en ligne fait de séquences vidéos, de matériel pédagogique complémentaire, de TP et d'exercices d'évaluation en ligne. Un MOOC, pour être réussi, doit s'appuyer sur une scénarisation pédagogique rigoureuse, adaptée non seulement aux technologies numériques mais également à l'ouverture totale qui le caractérise. Car n'importe qui peut librement suivre le cours à distance !

La formule séduit, et les plus populaires des MOOCs accueillent jusqu'à 160.000 inscrits. Certes, le taux d'abandon (aux alentours de 90%) est élevé. Il s'explique par le fait que beaucoup de personnes s'inscrivent par curiosité ou pour suivre une ou deux séances bien précises, correspondant aux compétences spécifiques qu'elles recherchent. La révolution réside dans le fait que plusieurs milliers de personnes suivent simultanément un cours, interagissent, passent les évaluations intermédiaires et finales. Et ce, malgré leurs différences de culture, d'âge ou de situation personnelle ou professionnelle.

Le premier MOOC francophone, ITyPA (Internet, Tout y est Pour Apprendre) a été lancé en 2012 par des membres de l'École Centrale de Nantes et de Télécom Bretagne alors pionnières parmi les grandes écoles françaises, en association avec Christine Vaufrey, rédactrice en chef de Thot Cursus. Au printemps 2013, Centrale Lille a proposé un MOOC dédié à la Gestion de Projet, sous l'impulsion de Rémi Bachelet. Ce MOOC s'est entre autres distingué par la délivrance de certificats aux participants qui remplissaient toutes les conditions de validation du cours.



Carte (non exhaustive) des participants au MOOC ITyPA en 2012

Enfin, à l'automne 2013, nous avons proposé une nouvelle itération d'ITyPA en approfondissant justement la question des certificats dans un MOOC. Les participants ont eu le choix d'assister librement aux séances ou de s'investir davantage dans le but d'obtenir non pas un simple certificat mais un badge délivré à partir d'une évaluation personnelle. Celle-ci est alignée sur le référentiel de la Fondation Mozilla dans le cadre l'Open Badges Initiative qui permet la reconnaissance de compétences acquises sur le web ou en présentiel. Plus de 2000 personnes ont pris part à cette seconde édition. Dans le même temps, début octobre, Geneviève Fioraso, ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche, annonçait le plan « France Université Numérique » et la mise en place d'une plate-forme institutionnelle d'hébergement de MOOCs. Car l'enjeu est crucial pour les établissements français. Il s'agit tout autant d'être visibles sur leurs thématiques d'excellence que d'attirer vers eux de potentiels nouveaux talents...



Aperçu d'une séance en direct où les animateurs d'un MOOC répondent aux questions des apprenants

Et demain ? La réflexion doit porter sur l'évolution des outils numériques tout autant que sur la transformation des lieux physiques d'enseignement. Les salles de cours, et plus généralement les campus, ne doivent pas uniquement constituer un lieu de transmission du savoir. Nous devons donner aux étudiants l'envie de venir y travailler sur leurs projets, d'y vivre, et d'en faire émerger les inventions de demain.

Morgan MAGNIN (promotion 2004)  
maître de conférences et chargé de mission EAT-TICE  
à l'École Centrale de Nantes



## EI PROS Du 18 au 21 novembre 2013

Par Clara STIBBE (EI2) Responsable Semaine Pro

Du 18 au 21 novembre 2013, ont eu lieu les Ei Pros organisés par le BDE : des diplômés reviennent à l'ECN pour rencontrer les futurs ingénieurs et témoigner de leurs expériences professionnelles.

Nous avons décidé de clore ce début de mois de Novembre placé sous le signe de la professionnalisation (suite au Forum Atlantique et aux ateliers du FA) en faisant cette fois appel au réseau nantralien.

Cette Semaine Pro s'est organisée autour de la présentation de deux secteurs d'activité par soir. Pour chaque thème, les diplômés contactés se présentaient et décrivaient leurs diverses expériences professionnelles. Les élèves présents avaient alors l'occasion de poser toutes leurs questions aux différents intervenants, leur permettant ainsi d'affiner leur projet professionnel en découvrant les carrières qui leurs seront ouvertes à la sortie de l'ECN. Ces rencontres étaient alors suivies d'un échange plus informel et chaleureux autour d'un cocktail.

Les secteurs représentés cette année ont été : les transports, l'audit/conseil, l'énergie/environnement, la finance, le génie civil, l'entrepreneuriat, l'informatique/télécommunications et l'océan.

Cet évènement est une véritable plus-value, que l'on soit l'Elève-Ingénieur qui vient écouter ou que l'on soit le professionnel qui revient dans son école.

Pour les élèves, il peut s'agir d'un premier contact avec le réseau : des Centraliens qui sont passés par les mêmes bancs, par les mêmes questionnements sur le projet professionnel. La semaine Pro permet aussi de commencer à se décider sur les options de troisième année, de peut-être conforter l'envie d'un double diplôme, ou encore de confirmer un projet professionnel esquissé en première année. Enfin, elles permettent de se renseigner sur les opportunités qui attendent les élèves à la sortie de l'Ecole, les différents métiers possibles etc...

Pour l'ancien Centralien qui retrouve les bancs de son école, c'est l'occasion de partager son expérience, de conseiller ces jeunes qui sont à la place où il se trouvait et qui se posent les mêmes questions que lui à une époque plus ou moins lointaine.

Le BDE de Centrale Nantes tient donc à remercier les intervenants et les élèves qui sont venus, ainsi que l'ACN et la DDRI pour leur aide. Nous souhaitons que ces rencontres Ei Pros se perpétuent d'années en années.

Clara STIBBE (EI2)  
Responsable Semaine Pro

## CENTRALE NANTES ACCUEILLE L'INNOVATION

Par Olivier CHASLOT (EI2)

Ce 23 novembre a eu lieu à l'École Centrale de Nantes une conférence TEDx, organisée par ses propres étudiants, autour du thème "Ever expanding circles".

### Qu'est ce qu'un Tedx ?

Le concept TEDx été créé il y a une vingtaine d'années dans la SiliconValley : sous forme de courtes conférences (18 mn maximum), des conférenciers de talent, leaders de leurs domaines viennent présenter et partager les idées de demain sur des sujets aussi variés que possible.

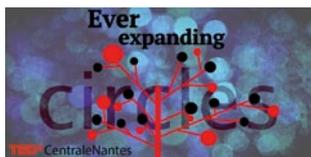
Forts de leurs découvertes sensationnelles et projets époustouflants, ces derniers tiennent en haleine un public passionné qui s'arrache régulièrement des places à 6000\$ ! Alors que chacune des conférences est ensuite en libre accès sur internet (jusqu'à 20 millions de vues !)

Ce phénomène issu de l'élite américaine a pris une ampleur mondiale et tient désormais lieu de référence dans les secteurs d'innovation.

Aussi, pour encore plus élargir le cercle de cette diffusion, les créateurs de TED ont ouvert leur concept aux villes du monde entier, c'est la naissance des TEDx : même format, même but mais n'importe où dans le monde.

### Le programme :

Pour cette journée, 12 éminents spécialistes ont été réunis et les Talks allaient de l'impact de la publicité à l'enseignement peer-to-peer, de la nanotechnologie au rôle du scientifique.



En voici une liste des plus prestigieux :

- Olivier Crouzet, directeur académique de la nouvelle école 42.
- Anthony Hamelle, directeur technique de la société de publicité CLM BBDO.
- Ian Ardouin-Fumat, designer d'interaction et diplômé du MIT.
- Frédéric Grellier, traducteur aveugle dont le Talk fut poignant.
- Vincent Minier, astrophysicien.

Et bien d'autres ! Dont notamment certains appartenant au réseau centralien et audencien.

Bref, un programme bilingue, varié et surtout très enrichissant, ponctué des six vidéos de TED préférées des organisateurs.

### Quels ont-été les retours ?

"Des étoiles pleins les yeux"... Une semaine seulement après l'évènement, les premiers retours semblent très positifs voire élogieux. Qu'il soit étudiant centralien ou extérieur à l'école, chacun semble avoir été conquis par les différentes conférences, et amplement satisfait de l'organisation, qui prévoyait un petit-déjeuner, un buffet à midi et une collation à 16 h ainsi que des démonstrations effectuées par Orange (partenaire de l'évènement) durant les pauses.

Ainsi, les étudiants, qui organisaient un TEDx pour la première fois et maintenant forts de leur expérience, comptent bien renouveler l'expérience dès l'année prochaine. Et pour le moment, toutes les conférences seront à retrouver sur [TEDxCentraleNantes.com](http://TEDxCentraleNantes.com)

Olivier CHASLOT (EI2)

## STOCKAGE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES : de la maison autonome en énergie à la transition énergétique

Par François BARSACQ (ECP 1984)

Cet article reprend les principaux thèmes abordés lors la conférence Centrale-Energies du 17 avril 2013 animée par Marion Perrin, responsable du laboratoire de stockage de l'électricité au sein de l'Institut National de l'Énergie Solaire (INES).

Les réseaux de transport et de distribution de l'électricité ont été conçus dans un contexte de centralisation de la production d'électricité à partir d'un nombre limité de sites à la puissance connue et pilotable. Le développement massif de la production d'électricité d'origine renouvelable (ENR), à la fois décentralisée sur l'ensemble du territoire, faiblement prévisible et par nature incontrôlable et intermittente, rend plus délicats la gestion de l'équilibre entre production et consommation électriques comme du plan de tension dans les seuils réglementaires sur les lignes recueillant des productions d'ENR. Les problématiques d'ajustement Production/Consommation et les solutions à mettre en œuvre sont multiples et doivent s'analyser aux différents niveaux du réseau électrique (production, transmission, distribution, consommation). Dans tous les cas, le stockage d'énergie apparaît comme une solution transversale envisageable, voire indispensable, bien que la multiplicité des modèles d'affaires et l'influence de réglementations évolutives, voire imprévisibles, en rendent les bénéfices délicats à valoriser pour les nombreux acteurs économiques impliqués.

de stockage verra son outil de production (et donc son capital) inutilisé et son retour sur investissement dégradé. Allant plus loin dans l'assimilation des fermes PV à des centrales traditionnelles, les appels d'offre de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) exigent désormais une nouvelle catégorie de centrales photovoltaïques équipées de systèmes de stockage d'énergie permettant d'exiger de la part des exploitants un engagement prévisionnel à 24 h de quantité d'énergie PV injectée dans le réseau selon des rampes de montée/descente et des puissances maximales prédéfinies, tout écart conduisant à la facturation de pénalités contractuelles. Dans ce contexte, les systèmes de stockage deviennent simplement indispensables, les modélisations réalisées par l'INES aboutissant à un dimensionnement optimal de 600 kWh utiles par MW installé.

Les solutions de stockage des ENR permettent également d'apporter des éléments de réponse à la gestion des pics de consommation aux heures de pointe qui, année après année, ne cessent d'augmenter dans une consommation moyenne relativement stable, phénomène qui sera amplifié par le développement du parc de véhicules électriques (VE). Pourquoi pas, d'ailleurs, utiliser les VE en charge sur le réseau comme autant de systèmes de stockage susceptibles d'être pilotés à distance et capables de soutenir le réseau ? C'est le concept de Vehicle-to-Grid (V2G) sur lequel les études se multiplient.

Pour le particulier, l'écart entre tarif de rachat de l'énergie PV et tarif d'achat du kWh traditionnel (37 centimes contre 12 centimes) est encore trop important en France pour inciter au développement massif de l'autoconsommation domestique. Il en va tout autrement en Allemagne où cet écart est inversé (15 centimes par kWh pour l'électricité PV contre 22 à 25 centimes venant du réseau). Sans surprise, les systèmes de stockage domestique s'y multiplient, de plus en plus de foyers allemands préférant auto-consommer en totalité leur production PV avant d'en ré-injecter le surplus sur le réseau. Conséquence mécanique et vertueuse, les pics d'appel de puissance aux heures de pointe s'en trouvent réduits d'autant. Une expérience

de grande ampleur menée en Corse dans le cadre du programme franco-allemand Solion a permis de démontrer qu'une habitation équipée d'un champ PV dimensionné pour couvrir en moyenne la consommation domestique annuelle voyait son auto-consommation passer de 30% sans stockage (alimentation "naturelle" des consommateurs fonctionnant en journée) à plus de 60% une fois équipée d'une batterie.

**cea tech** LA PROBLÉMATIQUE DU PV 

**Au niveau du client final**

- Produire son électricité
- Être indépendant du tarif de l'électricité
- Besoin de mettre en « phase » production PV et consommation
- Solution: Développement de l'autoconsommation

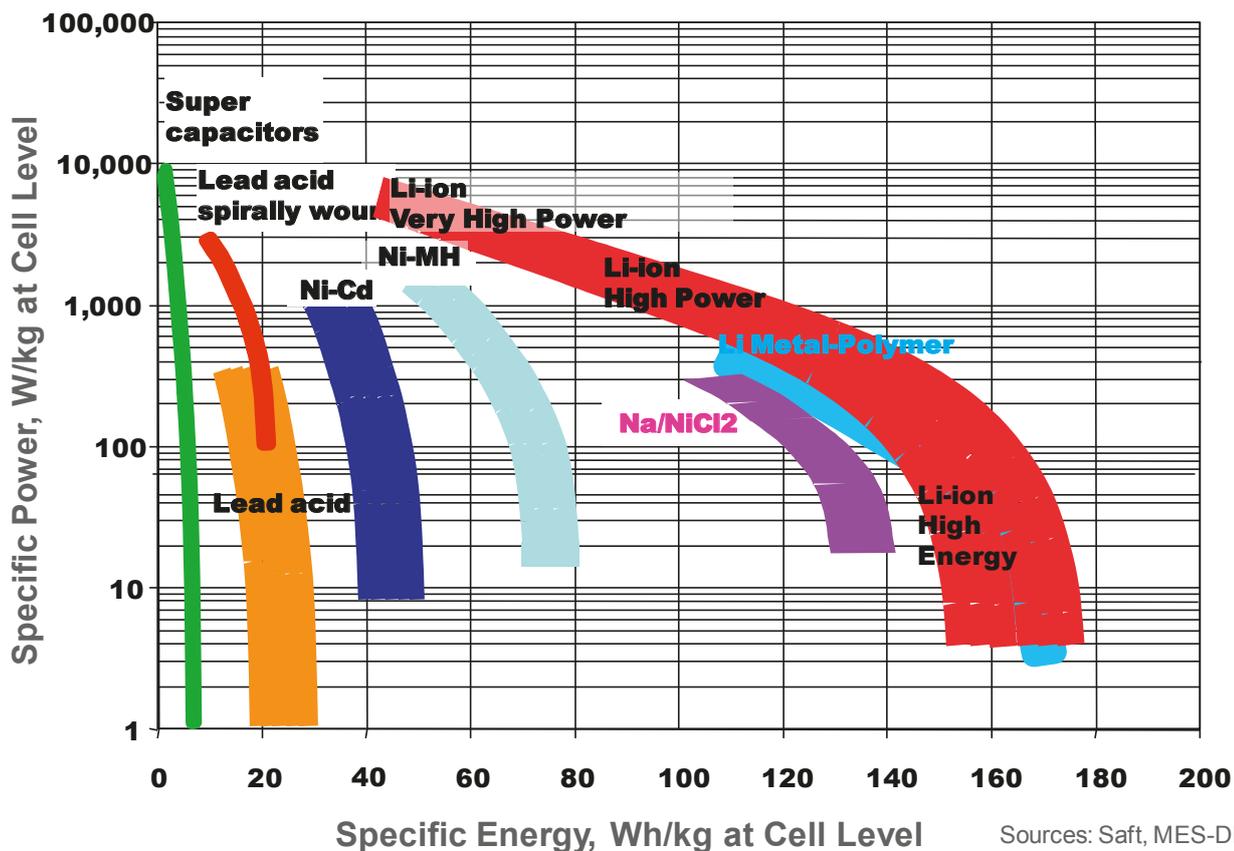
**Au niveau du réseau de distribution**

- Accueillir le PV
- Assurer le maintien de l'approvisionnement
- Besoin de gestion du plan de tension et des surcharges transformateur
- Solution: Ecrêtage du PV

**Au niveau du réseau de transport**

- Accueillir le PV
- Assurer l'équilibre production/consommation
- Besoin de certitudes dans la « variabilité » du PV afin de maintenir la fréquence
- Solution: Réserves opérationnelles nécessaires pour apporter de « l'inertie » à la production PV

D'un point de vue purement technique, le stockage des ENR est pourtant devenu incontournable dans les réseaux isolés, par définition non interconnectés, les gestionnaires de réseaux étant autorisés à déconnecter toute ferme ENR de puissance supérieure à 100 kW lorsque la puissance photovoltaïque (PV) instantanée injectée sur le réseau dépasse le seuil de 30% de la puissance appelée au même moment. Ainsi, l'exploitant d'une centrale PV non équipée



Les sites autonomes non raccordés au réseau ont constitué les premières applications historiques du stockage des ENR, et en demeurent de grands utilisateurs. La continuité de l'alimentation des consommateurs en sites isolés ne pouvant se faire sans stockage local, des niveaux de coût relativement élevés (de l'ordre de 0.50 €/kWh) sont longtemps restés acceptables pour ces installations. Il en va autrement des grands champs ENR raccordés au réseau qui exigent un stockage plus court et de plus forte puissance à des coûts compatibles avec d'autres solutions de gestion de l'offre et de la demande (démarrage de centrales à gaz, par exemple). Pour ces applications, le coût de stockage acceptable se situe en dessous de 0.10 €/kWh et l'objectif final autour de 0.05 €/kWh. Les solutions actuelles en sont encore loin, ce qui justifie l'intensité des programmes de R&D partout dans le monde.

Les technologies de stockage électrochimique sont nombreuses et fortement différenciées, comme en témoigne le diagramme de Ragone Puissance/Energie : au Plomb (la plus ancienne) au Nickel (associé au Cadmium, aux hydrures métalliques, au Zinc) au Lithium, au Sodium (Sodium-Soufre, Sodium-Chlorure de Nickel). En ce qui concerne les technologies Lithium, les plus médiatisées (à juste titre, compte tenu de leurs performances) les premiers travaux de R&D ont commencé dans les années 70. Au début des années 80 apparaissaient les batteries à électrode négative au Lithium métal et à électrolyte polymère. C'est l'origine de la technologie Bolloré/Batscap produite aujourd'hui de façon

industrielle, notamment pour les Blue Cars du programme Auto'Lib.

Les technologies à ions Lithium (anglicisées sous la terminologie Lithium-ion) furent développées dans les années 80 et sont actuellement les plus diffusées. Leur électrode positive utilise des oxydes de métaux lithiés (Cobalt, Nickel, Manganèse ou un mélange des trois dans des proportions variables) des phosphates métalliques (principalement de fer). Leur électrode négative, des feuillets de graphite (ou du carbone) ou encore des titanates de Lithium ou des composés Silicium/Carbone. Les performances de ces différentes technologies Lithium sont bien différenciées, tant en densité d'énergie qu'en durée de vie, caractérisée non seulement en nombre de cycles de charge/décharge mais aussi en vieillissement dans le temps (dit calendaire), lui-même accéléré par la température. L'optimisation de la performance d'une batterie au Lithium est ainsi le résultat d'une stratégie de gestion complexe dépendant de nombreux paramètres : nombre de cycles, profondeur de décharge, puissance de charge et de décharge, températures de fonctionnement, conditions de stockage prolongé... Paramètres trop souvent mal pris en compte dans nombre d'applications industrielles, ce qui nous permet de reprendre le mot de la fin de notre conférencière Marion Perrin: "Une batterie ne meure pas, elle est assassinée !"

François BARSACQ (ECP 1984)

# LES SECRETS DE LA GROTTTE COSQUER OU 30 000 ANS D'HISTOIRE DE L'HUMANITÉ

Par Luc VANRELL



Gravure animale, datée de -19000 ans. 177 animaux recensés dans la Grotte

C'est en 1985 que Henri Cosquer, un habitant de Cassis passionné de plongée sous-marine, a découvert fortuitement une immense grotte sous-marine ornée de peintures rupestres et qui porte désormais le nom de son "découvreur". D'accès difficile, complètement fermée et en grande partie noyée, la Grotte Cosquer, comme celles de Lascaux ou de Chauvet, détient de nombreux signes attestant de la présence humaine en ces lieux. Pendant 6 années, entre 1985 et 1991, Henri Cosquer entouré de quelques proches effectue, dans le secret, un relevé minutieux de tous les dessins et graffitis peints dans la partie aérienne de la grotte. La datation au carbone 14 situe la période d'habitation entre 27000 et 10000 ans avant notre ère, soit 170 siècles de fréquentation humaine continue. C'est en septembre 1991 que Henri Cosquer déclare sa découverte aux Affaires Maritimes à Marseille. Il publie peu après un ouvrage bien documenté qui consigne l'ensemble des relevés effectués au cours des plongées successives.

Aujourd'hui la Grotte Cosquer fait partie de l'Inventaire des Monuments Historiques. Mais c'est aussi un chef d'œuvre en péril ! Trois menaces principales pèsent sur la pérennité de ce trésor : d'abord l'inexorable montée des eaux qui a déjà anéanti les trois quarts des parois et effacé à jamais de nombreux dessins, ensuite les mouvements de terrains favorisés par la forte sismicité de la région et enfin la pollution maritime et humaine, cette dernière ayant été cependant limitée par la non ouverture à l'air libre de la grotte. Pour sauvegarder le maximum des informations inscrites sur les parois, Luc Vanrell, archéologue renommé dans la prospection sous-marine et plongeur qualifié, a été désigné dans le début des années 2000 comme expert chargé d'établir l'inventaire précis de la grotte et de reconstituer une copie virtuelle des lieux. Le 7 novembre 2013, Luc Vanrell s'est déplacé sur le site de l'École Centrale de Marseille pour présenter un film documentaire réalisé avec la collaboration de l'équipe Thalassa et pour dresser un état d'avancement de ses recherches. Laissons la parole à l'archéologue et au plongeur !

André CHALONY (59) et Alexis BOURDEAUX (10)

## Positionnement géographique et description de la Grotte

La grotte Cosquer est située sur la commune de Marseille (Bouches-du-Rhône), sur le littoral du parc national des Calanques, entre les villes de Marseille au nord-ouest, d'Aubagne au nord-est et de Cassis à l'est. Elle est insérée entre les épais bancs de calcaires urgoniens du cap Morgiou, entre le mont Puget (563 m) et les monts de Marseilleveyre (432 m), au lieu-dit la Pointe de la Voile. Cette zone de falaises abruptes plongeant dans la mer regorge de cavités émergées ou sous-marines. L'accès actuel à la grotte Cosquer se fait par une entrée (l'entrée originelle) située à 37 m de profondeur et en suivant un boyau remontant submergé.

Le cap Morgiou, dans lequel se développe la grotte, forme un long éperon rocheux recouvert d'une rare garrigue où domine le chêne kermès (*Quercus coccifera*). Il surplombe la mer sur trois côtés et sépare les calanques de Sormiou et Morgiou. Ses hautes falaises plongent verticalement dans la Méditerranée.



Vue aérienne du Cap MORGIOU

La côte montagneuse des Calanques est doublée au sud par l'archipel des îles de Riou. Lors de la dernière glaciation, alors que le rivage se trouvait à plusieurs kilomètres au sud, l'étendue entre ces deux massifs formait un plateau steppique clos sur trois côtés. Ce plateau, ouvert au sud-est, était propice aux grands herbivores (chevaux, bisons, aurochs, cerfs élaphe, mégacéros) et à leur chasse. Les massifs de Marseilleveyre, de Saint-Cyr et de Puget, qui surplombent aujourd'hui le littoral, étaient alors des montagnes peuplées de caprinés, rupicaprinés et antilopinés (bouquetins, chamois et saïgas). Au maximum de la régression würmienne, on estime le niveau local de la mer 135 m plus bas que le niveau actuel, ce qui situe le littoral pléistocène à plus de six kilomètres de la cavité. Les hommes trouvaient là des animaux marins, phoques et pingouins notamment. La proximité de ces trois biotopes, mer, plaine à graminées et montagne, rendait cette région particulièrement propice aux chasseurs-cueilleurs du paléolithique. L'accès a été noyé par l'ingression marine postglaciaire il y a environ 9 000 ans.

Préservée depuis de la fréquentation humaine, la partie encore exondée de cette caverne nous permet d'approcher un lointain passé dont la plupart des traces ont aujourd'hui disparu sous la mer. Seul un cinquième des surfaces de la cavité exploitables par les artistes du Paléolithique supérieur nous est parvenu. Le reste est aujourd'hui noyé et toute trace humaine lessivée par la Méditerranée.



On y accède maintenant en plongée sous-marine. La quantité des œuvres pariétales et les nombreuses traces d'activités font de ce site l'un des plus importants du Paléolithique supérieur. Les datations situent la présence humaine du Gravettien ancien à l'Épigravettien ancien. Aujourd'hui, ce site est menacé par divers phénomènes tels que la montée des eaux, une instabilité des couches géologiques, une desquamation ou un concrétionnement des parois ornées et un risque élevé de pollution marine.



Coupe schématique de la Grotte Cosquer

### Mesures de sauvegarde mises en place

En 2010, le SRA PACA y a mené une première campagne de relevés avec un triple objectif :

- enregistrer la topographie de la grotte et des œuvres pariétales les plus menacées afin de conserver une archive numérique exploitable ;
- permettre à la communauté scientifique de travailler sur les œuvres dans des conditions proches du réel ;
- offrir la possibilité au grand public de découvrir ce véritable musée d'art pariétal inaccessible.

Une équipe associant archéologues, plongeurs professionnels et géomètres est intervenue dans un environnement extrêmement contraignant du fait de son accessibilité, de la complexité de sa géométrie et de la très grande fragilité des parois.



Les archéologues à l'œuvre dans la Grotte

L'enregistrement a été décomposé en quatre phases, chacune correspondant à une progression dans le niveau de détail :

#### • Mise en place d'un réseau de repères topographiques.

Ce réseau fige un système de coordonnées, véritable colonne vertébrale sur laquelle les futures campagnes de mesures s'appuieront.

#### • numérisation 3D à une précision et une densité centimétriques.

Un scanner rotatif a enregistré des nuages de points depuis des stations régulièrement distribuées dans la cavité. Il a aussi numérisé les repères topographiques, permettant le recalage précis de chaque station. Plusieurs dizaines de millions de points ont été enregistrés, permettant une modélisation 3D du relief des parois. Ce procédé ne permet cependant pas de restituer les reliefs anthropiques.

#### • numérisation 3D inframillimétrique.

Des numérisations 3D plus poussées ont été réalisées par corrélation d'images. Elles ont couvert des panneaux ornés à une précision inframillimétrique. Les modèles obtenus ont été recalés sur le modèle centimétrique. Les fines gravures et les tracés digitaux y sont alors parfaitement lisibles.

#### • couverture photographique haute résolution.

Pour apporter l'information de la couleur en complément de celle du relief, des photographies numériques haute résolution ont été prises, couvrant les panneaux ornés à une résolution du dixième de millimètre. Leur calibration a abouti à la texturation des modèles inframillimétriques pour l'enregistrement d'archives géoréférencées précises et exploitables.



Reproduction d'une main, datée de -27000 ans.  
65 Mains recensées dans la Grotte

### Actions complémentaires à développer

En 2013, les travaux de numérisations ont pu être complétés. Nous espérons tous la restitution prochaine des informations recueillies soit par un procédé cinématographique, soit par la réalisation d'une grotte en fac-similé

La première solution consisterait à recréer l'intérieur de la grotte par un procédé cinématographique, "le Procédé Coupole" de la société Panrama, en donnant l'impression au spectateur qu'il se trouve à l'intérieur.

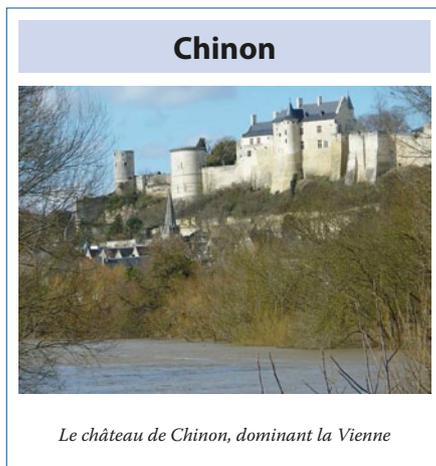
La deuxième solution consisterait à la reproduire en fac-similé dans une galerie existante sous le fort Saint Nicolas, mais la quantité de diverticules, de multiples salles de toutes tailles la rendrait sans doute difficile à reproduire.

Souhaitons que le financement sera prochainement trouvé pour permettre à tout un chacun d'admirer le travail des artistes du paléolithique.

Luc VANRELL

## AUTOUR DE CHINON TROIS FACETTES D'UN PATRIMOINE

Par Claude GUERIN ( 58) et André COPIN (66)



Après la facette technique, organisée le 25 octobre 2012 par la visite de la Centrale Nucléaire de Chinon, la journée du 26 est consacrée, à l'initiative du Groupe Ile de France accompagné par le Groupe Centre, à la découverte de deux autres facettes du patrimoine Chinonais :

- Son Château, par sa position de Forteresse Royale au Moyen Age, nouvellement restauré par le Conseil Général d'Indre et Loire
- Son vignoble d'appellation contrôlée "CHINON"

### A - LE CHATEAU DE CHINON ... ... un peu d'histoire

Situé à la croisée de trois provinces - l'Anjou, le Poitou et la Touraine - le Château acquiert sa silhouette actuelle sous Henri Plantagenet. Philippe Auguste fait considérablement évoluer les fortifications en particulier à l'ouest du château (la Tour du Coudray) et à l'est (la Tour de l'Echauguette) pour mieux protéger le "château du milieu". C'est sur la façade sud, juste au-dessus de la Vienne, que l'on a en effet édifié les logis royaux...

Les grandes figures du Château : Jacques de Mollay, Grand Maître du Temple, incarcéré en 1307 dans la Tour du Coudray avant d'être brûlé à Paris en 1314 - Jeanne d'Arc venue y rencontrer Charles VII en 1429 - le Cardinal de Richelieu propriétaire alors du Château sera celui qui le laissera amorcer son déclin au 17<sup>ème</sup> siècle.

Propriétaire actuel, le Conseil Général d'Indre et Loire marquera l'édifice de son empreinte en redonnant à la forteresse son aspect d'origine : trois forts séparés par des fossés et reliés par une magnifique muraille extérieure.

Lecteurs de l'Hippocampe, visitez ce Château d'Est en Ouest : vous y découvrirez successivement le Fort du Coudray, le Château du Milieu et enfin le Fort Saint Georges, le tout magnifiquement restauré. A votre passage dans la Tour de l'Horloge, admirez la cloche fondue en 1399 et qui ne tinte que lors d'événements extraordinaires, le dernier étant le 8 mai 1945...

<http://acoeurotaxis.centerblog.net/6584088-moyen-age-chateaux-forts-chinon-1>

Vue sur les bâtiments restaurés de cette Forteresse Royale. Dominant la Vienne, le plateau de Chinon finit en éperon, presque à toucher la rivière. Cet éperon, fortifié dès les Romains, connaît pendant dix siècles une histoire confuse et tragique.

### B - LE TERROIR et les VINS de CHINON... ... un peu de géographie

Le terroir viticole, au sens strict, désigne la parcelle adaptée à son climat et à son sol par celui qui la cultive : cette adaptation est généralement le fruit de plusieurs générations de vignerons.

On comprend alors toute la dimension historique et culturelle que revêt la notion de Terroir.

La majeure partie du terroir de Chinon est implantée sur des formations géologiques calcaire du Turonien (nom formé à partir du mot Touraine) et sur des alluvions de plaine.

La particularité du Véron provient de son microclimat qui se traduit par la présence d'une faune et d'une flore de type méditerranéen sur certains secteurs. Il est communément admis par les spécialistes de tout poil que le terroir du Véron confère aux vins de Chinon qui y sont produits plus de rondeur que ceux des autres secteurs ou appellations limitrophes.

C'est à proximité de ce terroir du Véron, des vins de Chinon, qu'est implantée la Centrale Nucléaire de Chinon, sur la commune d'Avoine (37).

Rabelais, dès le 16<sup>ème</sup> siècle, ne s'y est d'ailleurs pas trompé en écrivant "ce bon vin Breton qui poinct ne pousse en bretagne mais en ce bon pays de Véron".

Le Cabernet Franc appelé Breton produit ici un vin monocépage (bien que les règles de l'AOC autorisent l'utilisation du cabernet Sauvignon à hauteur de 10%) issu d'un raisin noir à jus blanc : la couleur est obtenue par macération au début de la fermentation alcoolique.



Le rosé, dit de "saignée", est obtenu en soutirant un premier jus seulement quelques heures après fermentation.

Le blanc est quant à lui issu du cépage Chenin, appelé aussi Pineau de Loire : ce cépage est emblématique des AOC du Val de Loire pour lesquelles il produit également des vins mousseux et liquoreux, tandis que le Chinon est un blanc dit "Sec" (moins de 6 grammes de sucres résiduels après fermentation).

### B.1 - Visite de la cave touristique de Panzoult

Habités par le souci de faire connaître leur production (vins de Chinon) autrement que par l'intermédiaire du tarif, les vignerons de Panzoult ont su réaliser de leurs propres mains une cave qui mérite grandement la visite. Creusant à même dans le tuffeau, chaque viticulteur s'est aménagé dans les parois de la cave un comptoir de présentation orné à son fronton d'une sculpture aux accents rabelaisiens. Un espace spécialement aménagé au fond de la cave, crée là aussi une ambiance toute rabelaisienne nous rappelant ce magnifique conte du grand écrivain, l'Abbaye de Thélème. Les photos donneront sans nul doute au lecteur l'envie de découvrir l'endroit, c'est d'ailleurs un des projets à venir du Groupe Centre.



Groupe ingénieurs ECN pendant la visite

### B.2 - L'histoire de la cave de Panzoult

La commune de Panzoult (37) a acquis la cave il y a plus de vingt ans et depuis cette date, de nombreux travaux d'aménagements y ont été menés à l'initiative de l'Association des Vignerons de Panzoult, avec le support des diverses municipalités et du Conseil Général.

Ce caveau, grâce aux aménagements successifs dont il a bénéficié a atteint la renommée qui est la sienne aujourd'hui ainsi que la reconnaissance de tous les acteurs régionaux. Citons simplement la dernière manifestation du 1<sup>er</sup> mai 2008 qui a vu se réunir en ce lieu festif, tous les acteurs de la fête du vin des communes de Panzoult et de Cravant, soit plus de 40 exposants et qui a attiré un public nombreux estimé à plus de 1 000 visiteurs.

En 2002, pour clairement mettre en évidence la volonté d'utiliser la cave dans un but de promotion du vignoble, l'Association de Vignerons de Panzoult signe un bail de location avec la commune et devient donc ainsi le Maître d'Ouvrage principal.

Une 2<sup>ème</sup> tranche de travaux est lancée en 2005 avec comme objectif l'augmentation de la capacité d'accueil grâce à un prolongement de la cave et la création d'une salle de banquet, chauffée, éclairée, équipée d'une cheminée et d'un four à pain.



Cave de Panzoult – le caveau du domaine de Charles PAIN, notre accompagnateur



Vues sur le groupe ACN ( Bretagne Pays de Loire, Ile de France et Centre), lors du repas pris à l'Auberge du Port-Boulet avant la visite de la Centrale de Chinon le 25.10.2012 - photo de Michel TEXIER ( 62)

Claude GUERIN ( 58) et André COPIN (66)

# Drones

Ce dossier, réalisé par l'Association des Centraliens, est paru dans la revue Centraliens n° 626 de juin 2013

## Vive l'industrie aéronautique et spatiale... !

**E**n ces temps de crise économique où il est à nouveau annoncé des taux de croissance négatifs et où les médias ne manquent pas de souligner le climat de morosité qui en résulte, l'industrie et, tout particulièrement, les entreprises du secteur aéronautique et spatial doivent être une raison d'espérer.

En effet, dussions-nous contredire quelque peu le respectable Igor Sikorsky qui déclarait : « L'aéronautique n'a été ni une industrie, ni une science. Ce fut un miracle », celle-ci répond bien à la définition d'une vraie industrie « qui crée des produits en série à partir de matières premières et de ressources énergétiques ». Et c'est même l'une des plus florissantes de notre pays. Jugeons-en par le chiffre d'affaires des sociétés affiliées au GIFAS, en augmentation annuelle de 15 % et dont 75 % de la production s'exporte. Elles représentent un tissu industriel solide et structuré et sont génératrices de technologies très variées et des plus innovantes.

En cette année de la 50<sup>e</sup> édition du Salon du Bourget, rappelons-nous que nos brillants anciens qui se sont illustrés dans notre discipline, les Gustave Eiffel, Louis Seguin, Louis Blériot, Pierre-Georges Latécoère, Etienne Oehmichen et, plus près de nous, Yvon Gattaz et Roger Vignelles furent non seulement des créateurs passionnés mais aussi des industriels remarquables. Sachons garder leur enthousiasme et suivre leur exemple.

Et pour terminer mon propos, permettez-moi de vous adresser un message au nom des Groupements Professionnels : ceux-ci sont une composante, à part entière, de notre Association ; ils offrent une palette intéressante d'activités : conférences, dîners-débat, think tanks, visites de site et, dans tous les cas, constituent un réseau convivial où il fait bon se retrouver. N'hésitez pas à les rejoindre et à participer à leurs manifestations.

**Bernard Dimoyat (79)**  
Président du Groupement Professionnel  
Aéronautique et Espace



**T**ous les deux ans, année impaire, à l'occasion du Salon du Bourget ou « Paris Air Show », le Groupement des Centraliens de l'Aéronautique et de l'Espace (GCAE) propose un dossier. Ce groupement professionnel dynamique, dont la création remonte à une quarantaine d'années, relancé par Jacques Pellas (71) il y a tout juste dix ans, à l'occasion du Salon de 2003, et désormais animé par Bernard Dimoyat (79), organise régulièrement des visites et des conférences ouvertes à tous les centraliens de l'aéronautique et de l'espace, et même au-delà.

Cette année ce dossier est consacré aux « drones », ou aéronefs sans pilote à bord, ou encore « aéronefs télépilotes » (RPAS : *Remote Piloted Air System*) conformément à la réglementation en vigueur, destinée à ouvrir la voie à leur insertion dans l'espace aérien. En revanche, affirmer qu'ils sont « sans personne à bord », comme c'est le cas actuellement, c'est se fermer la voie vers de futurs systèmes capables de transporter des passagers, tel que celui du projet prospectif européen PPlane piloté par l'ONERA dans le cadre du 7<sup>e</sup> PCRD technologique.

Il est à noter que le sujet des drones MALE (*système de surveillance Moyenne Altitude Longue Endurance*) n'a pas été abordé en tant que tel dans ce dossier. En effet, il s'agit d'un sujet éminemment politique, au sens noble du terme, dont l'enjeu est de gérer au mieux le compromis entre un besoin immédiat des Forces en opérations et le développement de compétences industrielles en France et en Europe afin de ne plus être tributaire des deux pays pionniers dans ce domaine. Et ceci au nom de la souveraineté européenne en matière de défense. C'est donc en tant que citoyen que le centralien doit se sentir concerné par un tel sujet.

Le domaine des drones, en pleine expansion, est porteur d'avenir en Europe. Et à ce titre on peut citer deux premières européennes en moins de six mois : le 1<sup>er</sup> vol du nEUROn le 1<sup>er</sup> décembre 2012 et le 1<sup>er</sup> vol d'un Eurocopter EC-145 « dronisé » capable du vol avec ou sans pilote à bord. Ces deux premiers vols ont eu lieu à Istres, la plus longue piste d'Europe et qui fut, à ce titre, base de déroutement des navettes spatiales américaines de la NASA.

De plus, la nouvelle réglementation de la DGAC d'avril 2012 a donné lieu à l'émergence de start-up dynamiques dans le domaine des mini-drones civils à usage professionnel, et ceci au sein des régions dans le cadre des pôles de compétitivité, de clusters d'entreprises ou de collaborations avec des organismes scientifiques. Les applications envisagées sont variées : agriculture, viticulture, inspection d'infrastructures, architecture, urbanisme, relevés à usage d'études d'aménagement ou de gestion de crise localisée, tel un incendie de forêt.

Ces perspectives prometteuses ne doivent pas faire perdre de vue les exigences d'ordre éthique dans l'emploi des drones par une stricte maîtrise par l'humain dans la boucle, et par un cadre juridique approprié.

En vous souhaitant une bonne lecture de ce dossier à la découverte de ce domaine innovant et même parfois étonnant. ■

**J.-M. Pinard**

DESS Analyse des Systèmes Stratégiques (96)  
Université de Versailles -  
St-Quentin-en-Yvelines



## Sommaire

### Drone nEUROn vole!

**Dominique Fleygnac (82)**  
prend les commandes de nEUROn

**Watchkeeper,**  
un système de drones tactiques

**Drones tactiques:**  
retour d'expériences et enjeux d'avenir

### TANAN™ 300

**Les drones civils:**  
un enjeu économique majeur

**ly-n-Sense:**  
notre nouvel ange gardien

**Drelio:**  
un drone hélicoptère pour la recherche en environnement





# Drone nEUROn vole !



© Dassault Aviation - R. Michelin.

**Le nEUROn est le premier drone « échelle 1 » conçu chez Dassault Aviation en coopération avec cinq autres industriels Européens : Alenia Aermacchi en Italie, SAAB en Suède, EADS-CASA en Espagne, HAI en Grèce et RUAG en Suisse. Il est le résultat d'une initiative française, lancée au Salon du Bourget de 2003, de développement en coopération européenne d'un démonstrateur technologique d'UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle) de la taille d'un avion de combat. Le marché a été notifié par la Direction Générale de l'Armement (DGA) début 2006 et le 1<sup>er</sup> vol du drone nEUROn a eu lieu dans les Bouches-du-Rhône à Istres le 1<sup>er</sup> décembre 2012.**

## Furtif et autonome

Le nEUROn contribue à écrire une page de l'histoire aéronautique européenne, et, à ce titre, on peut lire dans « L'Histoire de l'aviation pour les nuls » (First édition 2010) : « Le programme nEUROn est la réponse européenne aux UCAV américains [...]. Le nEUROn est un drone de combat. [...] La furtivité est ici recherchée par la forme très plate du drone qui ressemble plus à un boomerang qu'à un chasseur. » L'auteur du livre, Philippe Benhamou, ingénieur à l'ONERA, ne croit pas si bien dire. En effet, en tant qu'avion sans pilote à bord, il est normalement en relation constante avec sa station sol de contrôle, grâce à une double-liaison de données dans deux bandes de fréquences distinctes. Mais, s'il advient que cette double-liaison s'interrompe momentanément, alors le nEUROn se met à voler en hippodrome en attendant que la liaison sol-bord soit rétablie. Si, au bout d'un certain temps, cette dernière n'est toujours pas rétablie alors le système de contrôle du vol de l'avion est conçu pour ramener l'avion à la base de façon totalement autonome, c'est le mode « Return To Base » automatique, d'où la pertinence, à la fois géométrique et fonctionnelle, de la comparaison avec un boomerang !

## Le permis de vol

A propos de boomerang, il est intéressant de noter que le nEUROn a un cousin qui n'est pas germain, mais plutôt d'outre-Manche. Il s'appelle Taranis et est développé par BAE

Systems dans un contexte purement national. Il devrait effectuer son premier vol cette année en Australie (pays du boomerang!) au dessus d'une zone désertique.

Le nEUROn, quant à lui, a obtenu un permis de vol, délivré par la DGA, le 28 novembre 2012, l'autorisant à survoler des zones habitées à faible densité de population, telle la région située à l'Ouest d'Istres, du côté du delta du Rhône. Ce document officiel était un pré-requis indispensable pour avoir le droit de prendre l'air dans certaines conditions préétablies. La délivrance de ce permis est le résultat d'un travail conjoint de longue haleine entre les industriels et les experts de la DGA. Il est basé sur un dossier de justification de la définition du système nEUROn (l'avion + la station sol + les liaisons de données entre les deux) en regard des exigences de navigabilité et sur une analyse de sécurité au niveau système et sous-systèmes. Le but de ce travail, pour un système sans pilote à bord, est de démontrer que les conséquences de tout incident ou panne se produisant au cours de la mission, sont maîtrisées et qu'elles ne conduisent pas à un risque fatal vis-à-vis d'un tiers.

## Défis technologiques d'avenir

Des objectifs ambitieux de démonstration ont été assignés au programme nEUROn : la réalisation d'une plate-forme furtive dans les domaines radar et infrarouge, le tir d'armements à partir d'une soute interne, et l'exécution d'une mission air-sol.



## Rôles des partenaires industriels de rang 1 (MNSC=Main National Sub-Contractors)

**Dassault Aviation** (France), maître d'œuvre, responsable: de la conception générale, de l'architecture, du Système de Contrôle du Vol et des commandes de vol associées, des dispositifs furtifs, de l'assemblage final des éléments de cellule avec l'installation des câblages, des tuyauteries et des équipements dont le moteur et les trains d'atterrissage, de l'intégration des systèmes (logiciels et équipements électroniques) livrés sur le site d'Istres, ainsi que des essais au sol et en vol.

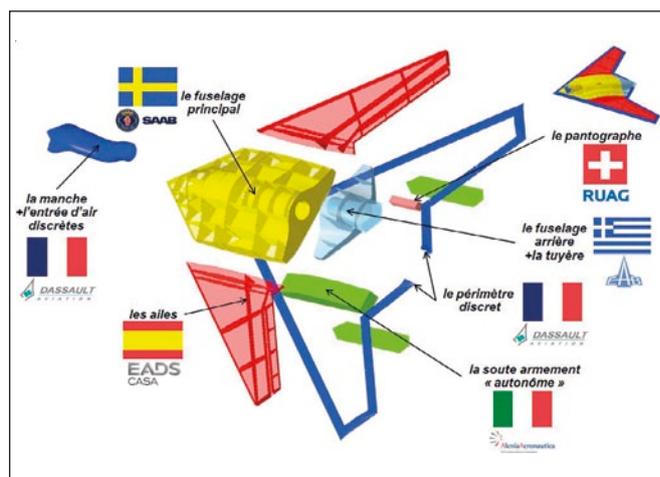
**Alenia Aermacchi** (Italie) concept novateur de soute interne d'armements, capteur optronique interne, les trappes de soutes, le système électrique et l'anémométrie discrète du véhicule.

**SAAB** (Suède) participation à la conception générale (formes), parties avant et centrale du fuselage, les trappes de train, l'avionique et le système carburant.

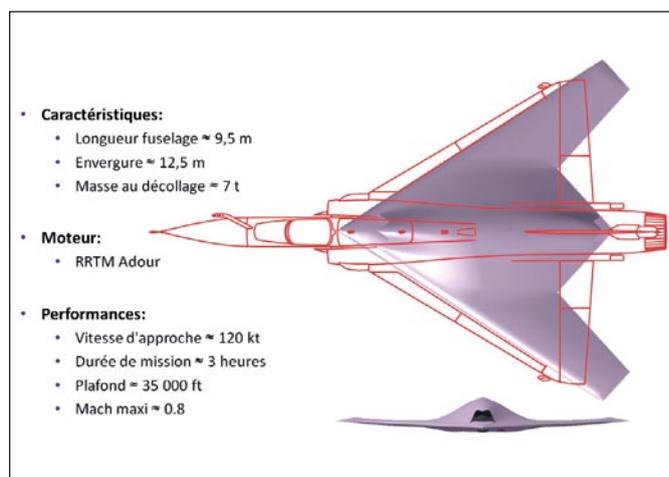
**EADS-CASA** (Espagne) les deux voilures, la station de contrôle au sol et l'intégration de la liaison de données.

**Hellenic Aerospace Industry - HAI** (Grèce) la partie arrière du fuselage et la tuyère discrète.

**RUAG** (Suisse) une partie des essais en soufflerie et le pantographe d'interface de l'armement en soute.



Répartition de la cellule entre les 6 industriels © Dassault Aviation.



Caractéristiques et performances du nEUROn © Dassault Aviation.

## La recette du nEUROn

- Pour commencer prenez un avion de combat. A l'avant retirez d'abord le radar pour le remplacer par un « œil » que vous mettez en soute dans le fuselage, derrière une fenêtre. A l'avant aussi, retirez le poste de pilotage pour l'installer au sol dans un « shelter » appelé station sol, où se trouvent les opérateurs, relié à l'avion par des liaisons hertziennes.
  - De part et d'autre du fuselage retirez les entrées d'air latérales et à la place du cockpit précédemment enlevé, mettez une entrée d'air centrale sur le dessus, car c'est plus discret vu depuis le sol. A l'arrière retirez la dérive bien trop voyante au radar, ce sera au système de contrôle du vol d'assurer la stabilité et le contrôle de l'avion. A l'arrière aussi, retirez le canal postcombustion bien trop indiscret en vol et remplacez-le par une tuyère aplatie, masquée depuis le sol par une plaque triangulaire. Ensuite videz complètement ce qui reste à l'intérieur pour le remplacer par les équipements de différents avions existants (moteur, trains,...). Enfin retirez les emports externes, car trop voyants au radar, pour les mettre en soute dans le fuselage.
  - Finalement vous vous retrouvez avec une aile volante ressemblant à une raie Manta ou à un boomerang.
  - Relevez la sauce avec de la coopération européenne, le respect du cadre budgétaire, des nouveautés dans les outils informatiques et des contraintes de navigabilité.
  - Servez-le en vol accompagné d'un Rafale millésimé, face à un parterre d'invités de haut rang.
- En fait, ça a été un peu plus compliqué que ça : il a fallu tout redessiner, tout calculer et simuler par ordinateur et régler mille et un détails pour obtenir un démonstrateur d'UCAV répondant aux exigences du client.



Démonstrateurs technologiques à contribution centralienne

nEUROn est un démonstrateur technologique. Son objectif est de démontrer la validité de technologies de contrôle d'un véhicule sans pilote d'une taille équivalente à celle d'un avion de combat, avec tous les modes de secours nécessaires assurant la sécurité requise.

Les principaux défis technologiques à relever portent sur la forme (aérodynamique, absence de dérive, absorbants furtifs, armement en soute interne), sur le rôle important confié aux logiciels, sur l'insertion d'aéronefs sans pilote à bord dans l'espace aérien, sur les algorithmes de haut niveau nécessaires pour donner une autonomie de décision à la machine tout en assurant la place incontournable de l'élément humain dans la boucle de

mission.

Le programme de démonstrateur technologique nEUROn est organisé de la manière suivante :

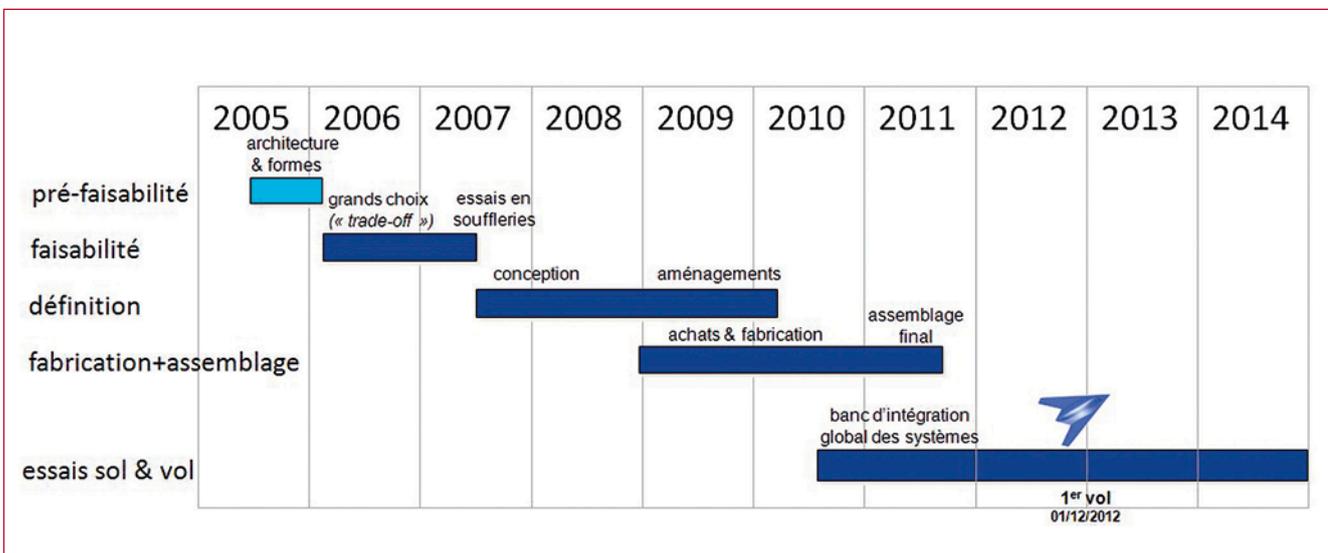
- une agence d'exécution unique, la DGA française qui gère le projet, qui a mené les négociations avec les représentants des cinq gouvernements européens afin de finaliser les termes et conditions de leur participation à ce projet, et qui a attribué le contrat principal au maître d'œuvre,
- un maître d'œuvre unique, Dassault Aviation, responsable de l'exécution du contrat principal et qui a constitué une équipe de coopérateurs industriels européens.

Avec la maîtrise d'œuvre du programme nEUROn, Dassault Aviation entraîne l'in-

dustrie européenne sur la voie de l'excellence par le développement de capacités dans le domaine des systèmes aériens sans pilote, de compétences pour la prochaine génération d'avions de combat européen et d'expérience en matière de gestion de programmes de coopération internationale.

Ainsi avec ses deux premiers vols effectués en décembre 2012 à Istres, le premier en petit comité, comme c'est l'usage, et le deuxième, face à la presse et aux autorités étatiques des six pays impliqués, moins de trois semaines après, le nEUROn a prouvé que des solutions d'avenir se dessinent déjà en Europe. ■

**Jean-Marc Pinard (82)**  
nEUROn Programme Team  
Dassault Aviation



Planning global du programme nEUROn © Dassault Aviation.



# Dominique Fleygnac (82)

## prend les commandes de nEUROn

Ingénieur en Chef du Programme nEUROn

**Vous êtes diplômé de Centrale Paris et vous avez effectué toute votre carrière chez Dassault Aviation à Saint-Cloud. Depuis quand êtes-vous l'Ingénieur en Chef du nEUROn ?**

J'exerce cette responsabilité depuis le début de l'année 2013, et ceci à l'issue du 2<sup>e</sup> vol du nEUROn, le 19 décembre dernier face à la presse, aux Services Officiels et aux industriels des pays partenaires, et cela moins de trois semaines après le 1<sup>er</sup> vol le 1<sup>er</sup> décembre 2012 à Istres. J'ai ainsi succédé à Jacques-Charles Louis (Sup Aéro 81) qui a conduit le développement du nEUROn jusqu'à ces deux premiers vols qui se sont déroulés « comme dans les livres », sous la Direction de Programme de Thierry Prunier (Sup Aéro 70), que j'ai même eu comme enseignant à Centrale en 1982 dans le cadre du fameux « projet avion » de l'époque; j'ai donc été à bonne école!

**Quand êtes-vous arrivé sur le Programme nEUROn ?**

J'ai rejoint ce programme européen innovant en 2007, l'année suivant celle de la notification par la Direction Générale de l'Armement (DGA) du marché en cours portant sur le développement et les essais au sol et en vol d'un démonstrateur technologique de drone de combat (UCAV) furtif, en coopération. J'y ai exercé la fonction de Responsable Technique en charge du système et de la relation avec les Essais en Vol de Dassault Aviation à Istres.

**Pouvez-vous nous dire en quelques mots comment ça vole un nEUROn ?**

Le nEUROn vole comme un avion de combat actuel, le contrôle de l'avion, de la mise en route jusqu'au retour au parking, étant basé sur un Système de Contrôle du Vol (SCV) numérique. Ce SCV assure, comme sur un avion classique, les fonctions primaires de stabilisation; et sur un avion discret, sans dérive, la stabilisation transversale est particulièrement délicate, du fait de l'absence d'effet girouette. Mais par rapport à un avion classique il a fallu aussi étendre les fonctionnalités d'un tel système pour assurer les fonctions de pilotage de haut niveau habituellement réalisées par le pilote, ainsi que la surveillance de l'ensemble des sous-systèmes embarqués tels que la rentrée/sortie des trains. Parmi les fonctions de pilotage de haut niveau je prendrai pour exemple le système ATOL...

**ATOL, un système à base d'optique ?**

Non pas du tout, ATOL signifie « Automatic Take Off and Landing », c'est-à-dire décollage et atterrissage entièrement automatiques, sans le moindre asservissement optique sur la ligne jaune des taxiways ou sur la ligne blanche discontinuée de la piste! En fait, tout est basé sur des relevés géographiques minutieux des points caractéristiques de la trajectoire au sol et sur un positionnement très précis du nEUROn au sol et en vol basé sur le système GPS hybridé avec un système inertiel.

**Mais alors quel rôle joue le pilote d'essai qu'on a pu voir interviewé à la télévision ?**

En fait il supervise toute la mission de la mise en route jusqu'au retour au parking en envoyant des ordres de haut niveau du sol vers l'avion: top roulage, top arrêt, top décollage, validations d'actions, enclenchement de procédures, replanification de la fin du vol en cas d'aléa et ordre de tir de l'armement.

**Le pilote n'a donc pas de manche en main, contrairement aux premiers drones ?**

Tout à fait, le nEUROn n'est pas télécommandé, le(s) pilote(s) interagi(ssent) avec le système de la station sol au travers d'écrans tactiles, de boutons-poussoirs, de sélecteurs et aussi d'un clavier/souris si nécessaire (replanification du vol en cours de vol). Le Système nEUROn, composé de la station sol, du segment vol et des liaisons de données réalisées par Thales, se charge de transmettre ces ordres de haut niveau aux commandes de vol qui assurent à la fois la stabilité de l'avion et le pilotage entièrement automatique, faisant en sorte que le véhicule suive parfaitement le plan de vol pré-programmé lors de la préparation de mission ou modifié en cours de vol. Cela va même jusqu'aux actions de sauvegarde à appliquer en cas de perte de la double-liaison de données entre le sol et le bord. Toute cette « intelligence » du système s'appuie sur les logiciels implantés dans les différents calculateurs de bord qui constituent le « cerveau » du nEUROn.

**Avec tous ces automatismes, les ingénieurs ont fini par « piquer » le manche aux pilotes ?**

En quelque sorte, même si personne ne tient de manche dans cette histoire. Néanmoins les pilotes présents dans la station sol jouent un rôle indispensable au bon déroulement de la mission. Ce transfert de compétence des pilotes « pilotant » vers les ingénieurs « programmant », via des systèmes entièrement automatiques, peut se résumer par la phrase prononcée par le pilote d'essai Olivier Ferrer, dit Nino, au moment du toucher des roues à l'issue du 1<sup>er</sup> vol parfaitement réussi: « Ils sont forts, quand même, ces ingénieurs! », ce qui équivaut à un hommage chapeau bas.

**Comme nous sommes dans la revue Centraliens, et compte tenu du rôle prépondérant joué par les ingénieurs dans la conception d'un tel système complexe, pourriez-vous nous préciser la contribution des centraliens au développement du nEUROn ?**

Cette contribution est importante, éminente et variée puisque plus d'une trentaine de centraliens ont pris part à ce programme innovant destiné à préparer l'avenir. J'y associe ceux des écoles Centrales de l'intergroupe, au premier rang desquels Guillaume Fournier (ECL 85) qui coordonne, au sein de l'équipe Programme, la discrétion, les systèmes-avion et la navigabilité. Nous avons des spécialistes pointus dans le domaine de la furtivité, une des exigences clés de ce démonstrateur technologique, d'autres à l'aérodynamique et aux calculs des performances, certains interviennent au niveau du système, dont le Système de Contrôle du Vol, garant de l'intégrité du segment vol, d'autres encore au Bureau d'Étude cellule aménagée, cœur historique du métier d'avionneur, grandement modernisé grâce aux outils du PLM (Product Life-cycle Management) dont le fameux CATIA de Dassault Systèmes, nous en avons aussi au niveau management et coordination du Programme afin de tenir les budgets et de maîtriser les plannings des travaux en coopération à six pays, sans oublier ceux qui s'occupent du Système d'Information. On peut aussi citer l'ex-adjoint du Programme Manager espagnol qui a effectué une année de spécialisation à Centrale Paris.



La nouvelle édition du Paris Air Show, salon aéronautique du Bourget, approche. Une fois encore, le monde des drones montrera tout son dynamisme. Sur les dix dernières années, ce domaine représente la plus forte progression du secteur aéronautique et spatial. Mais tout domaine en forte croissance entraîne une évolution du paradigme et des références. Si le marché militaire des drones s'est fortement développé avec d'un côté la multiplication des véhicules de grandes tailles comme les HALE<sup>1</sup> ou les MALE<sup>2</sup>, il s'est aussi segmenté de l'autre vers les mini-drones, les micro-drones, etc. Entre ces deux extrêmes, il s'est surtout densifié avec une évolution subtile mais majeure en conséquence : le drone est passé de l'UAV (« Unmanned Aerial Vehicle ») à l'UAS (« Unmanned Aircraft System »). Au-delà du sigle qui se transforme et demande une explication, le système est devenu la caractéristique principale de ce jeune domaine. Fil conducteur de cet article, le système Watchkeeper illustrera cette évolution du « système drone ». Pour éviter le discours d'experts, le cycle de vie du système rythmera cet article et démontrera l'apport de cette notion à ce domaine en pleine croissance.

# Watchkeeper, un système de drones tactiques

## Origine du programme Watchkeeper

A l'origine du Watchkeeper, une demande capacitaire de l'armée britannique pour répondre à des besoins ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition & Reconnaissance) et IMINT (Image Intelligence). Le client du projet laisse alors à un industriel le soin de concevoir et de construire un système de nature à la satisfaire. Au terme de la compétition, le groupe Thales remporte le marché avec une solution intégrant des plateformes inhabitées, munies de capteurs hautes performances et pilotées depuis des installations terrestres mobiles. Le besoin fait loi, l'imagination des concepteurs le reste et le contrat est signé en août 2005.

## Conception du système

Plus important contrat du marché européen des drones, le projet est gagné par Thales. La répartition du contrat démontre la prépondérance des aspects système, logiciels et centres au sol sur la composante « véhicule aérien » dans la solution proposée par le groupe. En effet, 75 % du projet sont consacrés aux sous-systèmes de communication, aux liaisons de données, aux capteurs, aux systèmes d'exploitation, etc. et 25 % aux plateformes.

De la classe 450 kg, les drones utilisés par chaque système Watchkeeper sont équipés d'une double charge utile. La configuration de l'armée britannique comprend un radar (avec des capacités SAR\* et GMTI\*) permettant de réaliser une surveillance « grand champ » et désignant des objectifs à une boule électro-optique (couvrant des spectres Visible et Infrarouge), qui réalisent l'identification. Le système opérationnel met également en œuvre des liaisons de données sécurisées pour le pilotage à distance des véhicules mais aussi pour la transmission des informations captées vers la station sol. L'intégration future de capteurs de Guerre Electronique (COMINT) est actuellement en cours d'évaluation.

## Développement des fonctionnalités du système

Au-delà de la visualisation en temps réel des renseignements issus des senseurs installés sur les véhicules, les opérateurs du système peuvent géo-localiser les objectifs grâce à l'association des données du détecteur et du laser. De même, la combinaison des deux charges utiles embarquées offre une analyse immédiate d'un objectif alors qu'un système conçu autour d'une mono-charge imposerait deux vols de véhicules distincts pour

**Watchkeeper** est un système drone tactique d'observation et d'acquisition d'objectifs au profit du commandement militaire terrestre. Interopérable avec les forces alliées de l'OTAN, il assure une permanence sur zone et une capacité tout temps et jour/nuit. Aérotransportable, il se raccorde aux systèmes d'information présents sur le théâtre d'opération pour permettre une conduite de manœuvres aéroterrestres.

obtenir la même profondeur d'analyse. La surveillance du théâtre d'opérations 7/7 J et 24/24H se concrétise alors sur une situation tactique remise à jour en permanence: détection et identification d'une menace mais aussi localisation et désignation d'un objectif. La fusion des données entre capteurs aux spectres complémentaires démultiplie une capacité d'emport du véhicule aérien qui n'est « que » de 150 kg (c'est-à-dire 30 % du véhicule).

D'une manière résumée, les informations brutes obtenues par les capteurs embarqués sont transformées en renseignements. Ceux-ci sont disséminés après analyse dans la chaîne de décision des forces armées et transmis aux différents moyens d'action (artillerie, aviation, hélicoptères, etc).

### Production du système

En avril 2013, dix-huit véhicules sur les cinquante-quatre prévus ont été livrés au client britannique. Issus des implantations industrielles d'un groupe reconnu pour son savoir-faire aéronautique, ces drones bénéficient de toute l'expérience en navigabilité et en certification de vol provenant des équipements fournis depuis de nombreuses années à des centaines d'avions de combat, de transport ou encore d'hélicoptères. Avec l'imminente intégration des drones dans le trafic aérien, cette Supply Chain\* européenne illustre la synergie réalisable entre plateformes habitées et inhabitées.

D'un autre côté, pour tenir compte des compétences mais aussi des contraintes de confidentialité des équipements du système, les éléments sensibles comme les charges utiles proviennent selon le besoin des implantations britanniques et/ou françaises d'un groupe international : à titre d'exemple, le radar I-Master est ainsi partagé entre les sites de Crawley en Angleterre et Pessac en Gironde. Cette souplesse industrielle assure aux pays impliqués dans le projet un minimum d'autonomie et de souveraineté.

### Mise en service auprès des forces

Durant la phase de compétition, le groupe Thales a développé des « environnements synthétiques », véritables laboratoires virtuels du futur système. Grâce à ces environnements représentatifs des moyens au

sol et modélisant les véhicules aériens, les militaires britanniques se sont entraînés en situation réaliste avant une prise en main du système entier. Si le transfert entre le prototype d'une solution et le système qualifié s'en est trouvé réduit d'autant, cette conception impliquant le client a surtout permis de structurer un parcours de formations cohérent et performant. Cela a aussi permis de définir les simulateurs nécessaires à l'entraînement des trois à cinq postes mis en œuvre selon le profil des missions confiées au système.

### Mise en œuvre en opération

Bien que la plateforme ne représente qu'un dixième de la valeur du système, un soin particulier a été apporté par rapport à l'attrition constatée pour les systèmes utilisés lors des conflits précédents. Fort des retours d'expérience des 70 000 heures de vol avec les forces britanniques, le système intègre les dernières avancées du domaine notamment en matière d'atterrissage et de décollage. Le système Watchkeeper comprend en effet la solution ATOLS\* qui sécurise grâce à un mini-radar au sol ces phases critiques du pilotage et ce quelles que soient les conditions météorologiques. Cette capacité associée à un train renforcé autorise l'utilisation de terrains semi-préparés (herbe, terre, gravillons) souvent rencontrés par les forces dans les zones de déploiement.

### Exploitation du système

Au-delà des habituelles activités de maintenance au sol et de ravitaillement après les 18 heures d'un vol, le système Watchkeeper offre une multitude de fonctionnalités facilitant le travail d'une équipe au format réduit et accélérant la restitution et la préparation des missions. Bien évidemment, l'absence de pilote embarqué impose une automatisation de certaines tâches et notamment durant le vol mais le système offre aussi des leviers pour démultiplier le travail d'analyse des opérateurs tout en conservant leur capacité de décision. Assurant un pilotage très automatisé en toute sécurité, le système libère les opérateurs qui peuvent se focaliser sur des tâches au bénéfice de la mission.

### Evolutions du Watchkeeper

Conçu avec le souci constant d'interopérabilité avec les forces alliées présentes sur le théâtre d'opérations, le système Watchkeeper concentre sa plus-value dans la station sol. Celle-ci assure le contrôle du vol de plusieurs véhicules, l'exploitation des renseignements transmis (images, localisations, etc) et la fourniture de ces informations au commandement des forces aussi bien pour la conduite de manœuvres aéroterrestres que pour l'appui tactique des troupes engagées sur le terrain.

Actuellement intégré dans les C4I britanniques avec tous les outils d'exploitation déjà disponibles au Royaume-Uni, le système Watchkeeper poursuit ses essais en France afin d'évaluer son insertion dans les chaînes de renseignements français. Les expérimentations en cours montreront comment profiter des facteurs d'économie d'échelle évoqués par le traité de Lancaster House: sur l'interopérabilité entre forces partageant le même système, sur la facilité de maintien en condition ou de financement d'évolutions, notamment.

La transition de l'UAV à l'UAS ne se réduit donc pas qu'à l'évolution d'un sigle mais représente bien une transformation profonde de la manière d'appréhender les drones. Désormais, la solution proposée au client prend en compte l'ensemble du cycle de vie du système comme l'a démontré l'exemple du Watchkeeper, système de drones tactiques. ■

Jean-François Henrio  
Directeur France - Intelligence,  
Surveillance et Reconnaissance  
Thales Systèmes Aéroportés

#### NOTES / GLOSSAIRE:

MALE: Moyenne Altitude / Longue Endurance  
HALE: Haute Altitude / Longue Endurance  
SAR: Synthetic Aperture Radar  
GMTI: Ground Moving Target Indicator  
Supply Chain: chaîne logistique  
ATOLS: Automatic Takeoff & Landing System.  
C4I: Computerized Command, Control, Communications, Intelligence.



# Drones tactiques : retour d'expériences et enjeux d'avenir

Sagem bénéficie d'un retour d'expérience important dans le domaine des drones tactiques qui provient de ses clients de l'OTAN et européens, qui ont opéré, ou opèrent encore, le drone tactique Sperwer développé et produit par Sagem. Ce système de drone est également connu en France sous le nom de SDTI Sperwer, ou Système de Drone Tactique Intérimaire. Sur cette base, Sagem prépare les produits de demain qui répondent aux besoins du marché national et du marché export. Le système de drones de longue endurance Patroller présenté dans cet article en est l'illustration.



Hall d'assemblage des Sperwer. © Sagem.

## Sagem est un acteur français dans le domaine des drones tactiques

Sagem, société du groupe de hautes technologies Safran, est un acteur dans le domaine des drones tactiques depuis près de 25 ans. Cette période a été mise à profit chez Sagem pour développer en France même un véritable savoir-faire et un outil industriel complet en matière de systèmes de drones. Ce savoir-faire couvre l'ensemble des composantes et étapes nécessaires à un système de drones: la conception, la fabrication et le support client. Ce savoir-faire comprend également la conduite des essais en vol, la préparation de mission, l'avionique de pilotage et de navigation, l'optronique (Sagem est leader européen dans ces deux derniers secteurs), et l'intégration du segment d'exploitation drones dans les architectures numérisées C4ISR des forces ou encore les réseaux civils pour les applications de sécurité intérieure.

Le drone tactique Sperwer est un produit développé et fabriqué en quasi-totalité en France. Il a été vendu à six clients OTAN et européens et opérés dans des conditions climatiques extrêmes, 140 appareils et 25 systèmes sol ont été produits à ce jour. C'est ainsi qu'une capacité de production et d'intégration drones dédiée a été notamment mise en place par Sagem en région Auvergne, dans son établissement de Montluçon.

Trois des clients Sperwer ont opéré intensivement en Afghanistan sur une durée totale de 9 ans. De l'ordre de 2 500 vols Sperwer (plus de 7 500 heures de vol) ont été réalisés en Afghanistan. Cette expérience drone et les moyens en place chez Sagem constituent dès lors une référence notable et inégalée en Europe.

Dans sa stratégie drone, Sagem vise le marché national, mais aussi le marché export en retenant des technologies exportables, seule condition pour pouvoir obtenir des volumes de production suffisants. Dans ce contexte, il est nécessaire d'opter pour une stratégie de marché en développant les produits sur fonds propres. C'est ce que Sagem a fait sur le Sperwer et fait sur le Patroller qui est présenté ci-après.

## Situation du marché mondial: une concurrence internationale sévère

Le marché mondial des drones s'est développé rapidement dans la dernière décennie avec un doublement des ventes pour atteindre un rythme de 6 milliards de dollars par an, essentiellement il est vrai aux Etats Unis (2/3 du marché mondial), sous la pression des opérations en Irak et en Afghanistan. La croissance a été bien plus faible

en Europe, qui n'est que le 3<sup>e</sup> marché, après l'Asie Pacifique.

En ce qui concerne l'Europe, la politique des Etats européens a consisté dans les dernières années à acheter quasi exclusivement des matériels sur étagère, et éprouvés en opérations, et donc le plus souvent d'origine israélienne et américaine, ce qui a réduit la part de marché de l'industrie européenne des drones et l'affecte directement.

Pour les années à venir, les études de marché prévoient une croissance plus réduite du marché mondial, compte tenu de la conjoncture et en raison de trois facteurs principaux:

- la crise financière qui contraint les crédits d'équipement militaires
- le ralentissement de la demande suite au retrait progressif des forces étrangères en Irak et des armées de l'OTAN en Afghanistan
- Un démarrage plus lent que prévu des applications civiles, retardées notamment par les contraintes réglementaires sur l'intégration des drones dans l'espace aérien civil.

## Les retours d'expériences des drones tactiques auprès de six pays utilisateurs

Dans ce contexte difficile, Sagem a cherché à écouter ses six armées clientes, à analyser leurs besoins pour préparer l'avenir, et à offrir les produits militaires qui répondent à la demande du marché OTAN de demain. Ces pays sont le Canada, les Pays-Bas, le Danemark, la Grèce, la Suède et la France. Précisément pour la France, il s'agit du 61<sup>e</sup> Régiment d'Artillerie, unité de la Brigade de renseignement et qui s'est déployée en Afghanistan à partir d'octobre 2008, pour achever sa mission fin 2012 en lien avec le retrait programmé des forces françaises de ce théâtre.

- Toutes les armées utilisatrices du Sperwer indiquent qu'une priorité importante est de réduire les coûts de possession. Les drones ont démontré qu'ils étaient des outils efficaces. Il s'agit maintenant de les rendre moins onéreux à acquérir, et à maintenir dans la durée.
- Elles demandent également à l'industriel qu'il puisse améliorer certaines des performances, comme l'endurance en vol et les performances de la chaîne image pour accroître les capacités d'identification, tout en opérant à des distances plus éloignées de la cible d'intérêt.
- La simplicité d'emploi est un enjeu majeur dans le contexte d'opérations extérieures. Celles-ci peuvent être très éloignées et s'inscrire dans la durée. L'Afghanistan nous l'a rappelé. Il faut donc disposer de matériel à faible empreinte logistique, transportable, rapidement déployable. Les systèmes



Patroller en mode sans pilote à bord © Sagem

doivent également tolérer des rotations multiples d'équipe de mise en œuvre et de maintenance. En lien avec cette contrainte, il nous est demandé que les futurs systèmes soient mis en œuvre par des équipes réduites.

- Les forces qui ont opéré des drones tactiques demandent également de développer la versatilité de mission, et que le drone puisse embarquer des capteurs supplémentaires: de type guerre électronique (notamment des charges d'écoute et de localisation de radiocommunications), radar aussi pour de l'imagerie à travers la nébulosité, voire de l'armement.
- Une des autres exigences est de disposer de système à fort potentiel d'évolution pour pouvoir s'adapter rapidement à de nouveaux besoins, sans avoir à reprendre l'ensemble de la conception et la qualification du système.
- Les utilisateurs du Sperwer qui se sont déployés sur des théâtres extérieurs exigent un support industriel réactif en OPEX, avec une chaîne logistique optimisée et une maîtrise technique complète du produit. Cet impératif consiste à pouvoir gérer les situations où des matériels sont souvent utilisés aux limites de leurs capacités. L'Afghanistan en a été un bon exemple avec des conditions de décollage en altitude dans des environnements climatiques difficiles.
- Ils attendent également de l'industrie qu'elle propose de nouvelles offres pour partager l'exploitation des systèmes au niveau de la maintenance ou de la mise en œuvre. Les contrats de services à l'heure de vol, où les matériels et les personnels de mise en œuvre et de maintenance sont mis à disposition par l'industrie, se sont développés énormément depuis 2009 pour les applications militaires. Un service qui a représenté un marché de 400M\$ en 2010. On peut donc voir que les attentes des forces armées ne sont pas que de nature technique et opérationnelle.



Sperwer sur sa rampe de lancement © Sagem



Station de contrôle sol du Patroller © Sagem

## Patroller : le nouveau système de drone Sagem, une réponse à la demande des marchés

En 2010, Sagem a donc développé le système Patroller pour répondre à la fois aux demandes d'origine militaire et particulièrement au retour d'expérience de ses clients, mais également pour se préparer à conquérir les marchés qui se développent dans le domaine para militaire et civil.

Le Patroller est un système de drone dual qui a vocation à mener des missions tactiques. Pour Sagem, le caractère tactique d'un système n'est pas lié à la taille et au poids de l'appareil, mais à ces caractéristiques intrinsèques, comme détaillées ci-dessous, et à son domaine d'utilisation opérationnelle.

Le Patroller utilise des liaisons de données radio facilement déployables qui lui permettent d'opérer jusqu'à 180 km, sans avoir recours à une liaison satellite (Satcom) haut débit onéreuse intégrée à la cellule.

Pour réduire le coût de possession du Patroller, Sagem a agi sur plusieurs leviers. Pour réduire les coûts de développement et de fabrication, Sagem a conçu le système Patroller en utilisant autant que possible des sous ensembles disponibles :

- Le véhicule aérien est à la base un avion piloté, certifié suivant les normes de l'aviation civile EASA CS 23, et fabriqué en série en Allemagne par la société Stemme. A travers cette coopération, Sagem bénéficie d'effets de série plus importants puisque la ligne de production de la cellule n'est pas dédiée qu'aux drones.

- Un nombre significatif d'équipements de la chaîne de mission est issu de la famille de drones Sperwer. Ces équipements ont fait leurs preuves sur le terrain, notamment en Afghanistan.

- Pour réduire les coûts d'exploitation, Sagem a également poussé l'automatisation des fonctions du système pour diminuer la taille des équipes de mise en œuvre et de maintenance.

L'objectif de Sagem est d'offrir 150 % des missions tactiques militaires actuelles pour

un coût à l'heure de vol divisé par deux et pour les missions de sécurité territoriale, d'être plus compétitif que le coût à l'heure de vol des solutions pilotées tout en offrant des performances supérieures. En ce qui concerne les performances, les caractéristiques de la machine que Sagem a retenue permettent d'assurer facilement une permanence d'observation sur 24h en continu, ce qui devient une exigence courante pour les missions de renseignement ou de sécurité territoriale. Le Patroller peut rester en vol jusqu'à 30 heures.

Sagem a d'emblée implanté une avionique redondée qui permet d'obtenir un niveau de fiabilité en vol élevé, compatible du survol de zones densément peuplées ainsi qu'un système de décollage et atterrissage automatique qui permet une exploitation à partir d'une piste sommaire en herbe par exemple. Le Patroller a une signature acoustique et infrarouge particulièrement faibles, très en dessous du standard du marché, caractéristique essentielle pour un système tactique.

En ce qui concerne la chaîne image du système qui est un des cœurs de métier de Sagem, des solutions de haute performance ont été retenues. Elles sont basées sur les dernières générations de boules d'observation gyrostabilisées haute définition qui intègrent des caméras jour nuit, des télescopes et illuminateur laser. Les distances d'identification progressent dans un rapport 3 à 4 par rapport aux générations précédentes

Le Patroller a une empreinte logistique réduite et il peut être transporté dans des conteneurs standards aérotransportables. Il offre une architecture véritablement modulaire et une capacité charge utile importante qui permet l'emport des charges utiles multiples dans le fuselage ou dans les pods. Les points d'emport sous aile peuvent être utilisés pour emporter du carburant ou des équipements, voir de l'armement et permettent d'optimiser l'endurance en vol en fonction de

la configuration de charge utile retenue.

Ces différentes caractéristiques permettent de disposer d'un système versatile, capable de répondre à un large spectre de mission. Le Patroller peut être facilement reconfiguré en fonction des missions à réaliser, ce qui lui donne la capacité de mutualiser différents besoins au sein d'un même ministère voire entre différents ministères. Pouvant être optionnellement piloté, il offre également la possibilité d'être opéré avec un passager à bord, en charge de la gestion du risque collision aérienne, ce qui permet par exemple de commencer des opérations dans une zone non ségréguée en attendant d'avoir un volume réservé. Cette fonctionnalité est un atout en attendant la mise en place de dispositifs « voir et éviter » standardisés qui gèrent le risque de collision à bord d'une manière autonome.

**Patrick Durieux**

Département commercial  
Drones et Aéro-surveillance  
chez Sagem (groupe Safran)

### Conclusion

Dans un contexte actuel qui est financièrement contraint, il faut des solutions nouvelles, pragmatiques et innovantes en matière technique mais également d'exploitation. Sagem considère que son système Patroller saura répondre à un spectre large de missions des Forces Armées, mais aussi pour des besoins de renseignement, de surveillance maritime et de sécurité territoriale. Très innovant, le Patroller est un système sous maîtrise d'œuvre française qui s'appuie sur un savoir faire et un outil industriel français démontrés et qui fait également appel aux technologies européennes notamment pour sa cellule et ses capteurs.

# TANAN™ 300 :

## le drone VTOL de nouvelle génération de CASSIDIAN équipé d'un moteur diesel et destiné aux missions navales et terrestres.



**Cassidian développe le TANAN, un drone tactique compact à décollage et à atterrissage verticaux (Vertical Take Off and Landing – VTOL) de nouvelle génération, destiné aux missions terrestres et maritimes (embarquées sur navires).**

Le TANAN est une véritable « vigie aérienne », grâce à une charge utile multi-spectrale, une vidéo haute définition (HD) permettant de permuter facilement entre les caméras électro-optique/infrarouge (EO/IR), mais aussi avec son radar à synthèse d'ouverture (SAR et G/M MTI).

Le TANAN est un système flexible et polyvalent. Il peut embarquer des charges utiles additionnelles variées en fonction de la mission, telles qu'un système d'identification automatique (AIS), un système d'identification ami/ennemi (IFF), un radar maritime.

Ce système est adapté tant aux missions de renseignement, surveillance, ciblage et

reconnaissance (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition & Reconnaissance – ISTAR) des forces terrestres et maritimes, qu'aux missions civiles.

**Il est capable d'effectuer des missions de jour comme de nuit de plus de huit heures tout en fournissant des images vidéo couleurs HD en temps réel**

Conçu pour apporter une réponse fiable et constante aux exigences opérationnelles, le TANAN est un drone tactique hautes performances équipé d'un puissant moteur Diesel avionné.

Le moteur Diesel est un atout indéniable

pour un drone tactique embarqué sur navire, le carburant du drone étant le même que celui utilisé par les avions embarqués et par les moteurs Diesel (ou les turbines) du navire.

Autre atout notable, le bruit du drone est considérablement réduit par rapport à un moteur standard et permet donc d'effectuer des patrouilles terrestres ou maritimes en toute discrétion de jour, mais surtout de nuit.

S'appuyant sur une architecture ouverte et modulaire et sur des équipements éprouvés de dernière génération, le TANAN est capable d'effectuer des missions à des distances allant jusqu'à 100 nm/180 km avec plus de 50 kg de charge utile.

Son système de mission est complètement séparé du système de contrôle de vol et permet ainsi d'apporter au système une fiabilité accrue et facilite sa certification aux derniers standards militaires.

Le système TANAN est constitué de véhicules aériens et d'une station sol, équipée de ses systèmes de communication protégés.

Le système est transportable dans un shelter ou dans le hangar hélicoptère du navire.

**Le système TANAN peut être commandé par un opérateur unique et déployé dans les zones non préparées et/ou en mer**

L'appontage automatique sur navire constitue un défi technologique majeur et sera indéniablement un avantage du système. Le système envisagé est notamment constitué de capteurs de positionnement issus des technologies spatiales, couplés à des algorithmes de décisions permettant un gui-



dage adapté du véhicule aérien développés spécifiquement pour le TANAN. Le drone est équipé en version Marine d'un harpon, afin d'être solidement arrimé au pont du navire lors des phases d'atterrissages ou de décollages. La conception du TANAN prend en compte également son saisisage, dans le hangar et lors des opérations de manutention.

Le drone est conçu pour opérer à des températures et des conditions météorologiques extrêmes. Sa conception prend en compte les environnements sévères des matériels embarqués sur des navires (brouillard salin, nettoyage et maintenance aisés, etc.).

La station de contrôle est conçue pour réduire au maximum la charge de travail de l'opérateur grâce à une interface homme-machine conviviale qui affiche clairement toutes les informations nécessaires sur un écran double. De plus, les informations peuvent être exportées vers une station de commandement et de contrôle (C4I).

Le prototype du TANAN a effectué son premier vol équipé de son moteur Diesel en 2012 et son développement se poursuit conformément au calendrier. Les essais à la mer permettront de tester de façon pratique ce drone de nouvelle génération.

**Cassidian possède également via sa filiale Survey Copter, PME implantée dans le sud de la France, une gamme de mini drones de la classe 10 à 30 kg.**

Ces drones sont soit à voilure fixe soit à voilure tournante (VTOL). Ils sont entièrement conçus et produits dans cette filiale à 100 %. Ils sont équipés de caméras jour et/ou nuit, sont déjà utilisés par différentes armées et sont déployés sur plusieurs conflits. Leur capacité à effectuer des applications civiles font aussi partie des avantages de ces drones,

équipés pour la plupart de motorisations électriques. Dans cette optique les drones surveycopter ont déjà fait l'objet d'expérimentation en 2012 et 2013 pour démontrer leurs capacités pour des applications civiles. S'agissant des applications civiles des drones, la réglementation avance en Europe et aux USA (ICAO WG RPA, European Roadmap for integration of RPA, etc.). Néanmoins, les besoins civils sont d'ores et déjà nombreux pour les drones et les réglementations déjà en place ou en projet vont devoir s'harmoniser à l'échelle européenne voire mondiale. L'enjeu étant, à terme, d'autoriser les drones, quelles que soient leurs tailles, à s'insérer dans un espace aérien partagé avec d'autres aéronefs. En France, la nouvelle réglementation entrée en vigueur depuis un an a permis aux sociétés fabricants de petits drones et société opératrices d'ouvrir le marché civil.

**La sûreté de vol doit donc permettre de garantir tant la sécurité des usagers de l'espace aérien que celle des personnes au sol.** Ceci implique que la conception de chaque type de drones doit être au moins cohérente avec celle des aéronefs habités correspondant, par exemple via l'application de

normes de développement pour les systèmes aéronautiques (ARP, DO178, etc.).

Concernant le partage des espaces aériens avec d'autres aéronefs, les drones doivent pouvoir être considérés comme des acteurs similaires aux aéronefs pilotés, dès lors que leurs fonctions et comportements sont prédictibles vis-à-vis du contrôle aérien, notamment en fonction de la gestion des pannes détectées (panne moteur, perte de liaison de données, etc.).

Si des fonctions de Detect&Avoid doivent être mises en place, elles devront correspondre au moins à la vision et aux équipements d'un pilote, de jour comme de nuit. Dans ce cas particulier, faire au moins aussi bien qu'un humain avec un drone sera un challenge technique majeur que certains drones sont déjà partiellement capables de relever.

**Daniel Cuchet**

EADS/Cassidian Head of Future UAS and Tactical UAVs in France, including Barracuda

TANAN™ 300 est une marque de CASSIDIAN®, an EADS Company

# Les drones civils : un enjeu économique majeur



**D**epuis quelques mois, il ne se passe plus de semaine sans que les médias, presse, télévision, radio, n'évoquent le sujet des drones à usages civils. Aux balbutiements de la compréhension de ce que représente cette nouvelle technologie, la fonction « d'œil déporté », pour voir en temps réel depuis le haut, est mise en avant, répondant ainsi à l'inconscient de l'Homme qui, depuis des siècles, n'a eu de cesse de tenter de s'élever pour s'observer, d'explorer des zones difficilement accessibles.

Cependant, les drones à usages civils sont bien plus qu'un œil déporté ! Ils sont en réalité des sortes de véhicules de transport qui embarquent des capteurs de toute nature destinés à l'acquisition de multiples données, phase préalable et indispensable à leur traitement. En ce sens, les drones ne sont rien s'ils ne sont pas partie intégrante d'une « suite technologique », qui comprend également le système d'information et les logiciels associés.

**Pour bien comprendre, on pourrait comparer les « systèmes de drones » aux ordinateurs :** ce dernier n'est qu'un assemblage de matériaux et de composants qui ne sert à rien s'il n'intègre pas un système d'exploitation et des logiciels applicatifs.

Pour autant, les drones sont au cœur d'une révolution économique, car ils constituent

le chaînon manquant qu'il fallait adjoindre à l'informatique pour enfin créer un nouveau champ d'observation et d'analyse, indispensables à de multiples secteurs d'activité.

Avant de poursuivre, il est sans doute nécessaire de rappeler ici ce qu'est un drone, afin de bien mesurer ce qui le rapproche et le sépare des engins radioguidés des aéromodélistes. Dans les deux cas, il s'agit d'engins volants sans pilote à bord, télé-pilotés depuis le sol, dont les performances se sont considérablement accrues grâce aux progrès en matière de miniaturisation de l'électronique. Le plus souvent également, ils bénéficient de la même énergie électrique de propulsion et donc d'une autonomie de vol limitée du fait de l'état de l'art en matière de batteries (poids et puissance).

**Ce qui les distingue en revanche, c'est leur utilité :** alors que l'aéromodélisme demeure un loisir, voire une passion, qui s'exerce dans des espaces prévus à cet effet, le drone se veut un outil au service d'applications professionnelles, dans des environnements très divers, souvent difficiles d'accès ou régis par des règles drastiques de sécurité, utilisable par des non professionnels du pilotage. Cette ambition implique évidemment de nombreuses sécurités afin d'assurer au mieux la sécurité des biens et des personnes : boîte noire embarquée, durcissement des parties mécaniques, contrôle permanent des

principales fonctions de vol et de navigation, assistance au pilotage voire pilotage automatique, capacité à voler dans des conditions climatiques dégradées, équipements de secours tels des parachutes, etc.

Conscients de cette réalité, les pouvoirs publics, et particulièrement la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) ont très longtemps et sérieusement travaillé sur le sujet pour aboutir à une réglementation depuis le 11 avril 2012. Cette réglementation, qui place la France parmi les pays précurseurs dans ce domaine, prévoit 4 scénarii possibles de vol, limite la hauteur de l'espace d'évolution, impose des poids maximum aux vecteurs aériens et demande une certification aéronautique des télé-pilotes. Pour l'heure, cette réglementation n'exclut aucune initiative de constructeurs, y compris celles d'aéromodélistes, une phase d'expérimentation et d'observation étant sans doute nécessaire pour mieux appréhender les contours définitifs de la réglementation. Néanmoins, il est possible de penser qu'à l'instar de l'histoire de l'automobile, les premiers et inévitables incidents ou accidents auront pour effet de « professionnaliser » le secteur.

**Il faut noter que ce risque est renforcé par l'apparition récente d'un nouveau type d'engins télé-pilotés :** il s'agit des mini-drones de loisir télécommandés depuis un Smartphone ou une tablette, et utilisables aussi bien en intérieur qu'en extérieur sans



Système Drone 2.0° inspectant un poste de transformation électrique © Delta Drone

vent. Ils ne concernent ni l'aéromodélisme, niche de passionnés, ni les mini-drones à usage professionnel, dont les fabricants comme les utilisateurs sont conscients des problématiques de sécurité et du respect de la nouvelle réglementation. Ces appareils contribuent aux progrès en matière de miniaturisations de technologies grand public mises en œuvre, mais ils attirent un grand nombre d'utilisateurs non avertis, dont certains usages pourraient poser problème en regard de la réglementation et de l'atteinte à la vie privée. Contrairement à l'aéromodélisme, ces « jouets » requièrent peu de qualification pour les piloter, ils ne coûtent pas très cher : ce sont des « webcams » volantes, utilisables par tout un chacun, y compris à des fins non licites.

Ces quelques éléments de compréhension posés, il faut maintenant tenter de mesurer l'enjeu économique que représente les drones à usages civils. Par l'universalité de leurs champs d'application et leur facilité de mise en œuvre, ils constituent des outils de travail qui vont nécessairement envahir le quotidien de la vie professionnelle, et cela dans des domaines aussi divers que l'agriculture, l'industrie, ou encore le BTP.

A ce titre, loin de se substituer à l'Homme,

les drones vont au contraire lui servir à améliorer ses conditions de travail et sa sécurité. De même, les drones vont sans doute permettre d'améliorer notre perception de l'environnement au service d'un véritable développement durable.

Deux exemples peuvent illustrer ce propos : dans l'agriculture, l'observation régulière des cultures devrait permettre de diminuer sensiblement les pratiques d'épandage préventif, limitant ainsi les effets néfastes au niveau des nappes phréatiques et de la qualité des sols. Dans la construction, l'observation régulière des bâtiments, y compris des parties hautes et des toitures, permettra une meilleure évaluation des bilans énergétiques.

Le nouvel usage des drones représente également un enjeu majeur pour l'emploi. Des centaines d'emplois ne manqueront pas d'être créés au cours des prochaines années : personnels de production administratifs et commerciaux chez les fabricants, télépilotes, agents de maintenance, de multiples opportunités sont en train de naître dans des métiers nouveaux.

Illustrant cet essor, le cas de la société **Delta Drone à Grenoble** est emblématique : créée en février 2011 par 4 personnes, la société

compte aujourd'hui, deux ans après sa création et alors que la commercialisation n'a démarré que début 2013, plus de 50 collaborateurs. Son plan de marche suggère un effectif de plus de 100 personnes d'ici un an.

Ce formidable pari, en passe d'être réussi, a bénéficié d'appuis décisifs, de la part des collectivités locales et territoriales (Ville de Grenoble, Région Rhône-Alpes), de la part de laboratoires scientifiques (CEA-Léti, Inria) et d'entreprises (Groupe MND, Maya Technologies, ERDF DR Alpes, Groupe Vicat).

Il illustre sans aucun doute un nouveau mode de travail collaboratif, qui s'appuie sur la proximité géographique et qui associe étroitement les forces respectives de chacun au service d'une ambition partagée, celle de faire émerger un champion français dans un nouveau secteur de haute technologie. ■

**Christian Viguié**  
Président du Conseil  
de Surveillance  
Groupe Delta Drone  
[www.deltadrone.com](http://www.deltadrone.com)



# Fly-n-Sense : notre nouvel ange gardien



Créée en 2008 par Christophe Mazel, **Fly-n-Sense** est une PME basée à Mérignac, près de Bordeaux, au sein de la technopole Technowest.

**Fly-n-Sense** a le statut de JEI (Jeune Entreprise Innovante) et elle emploie 13 personnes à ce jour.

Après avoir travaillé plus de 10 ans sur les systèmes embarqués en Europe et aux États-Unis, Christophe Mazel a lancé **Fly-n-Sense** en 2008 sur la base de projets R&D mini-drones, en partie financés par des programmes régionaux, nationaux et européens.

Précurseur dans l'usage des drones aériens pour des applications civiles, la société **Fly-n-Sense** a bâti son développement sur des partenariats industriels et académiques forts au sein du pôle de compétitivité Aerospace Valley et du cluster Aquitain AETOS.

**Fly-n-Sense** a porté son effort sur les systèmes embarqués (radio, autopilote, Unité de Mesure Inertielle, vidéo Haute Définition et infrarouge, capteurs acoustiques et chimiques). Les autres éléments techniques des drones (voilure, hélice, moteur électrique, station sol) ont été également étudiés et conçus à partir de composants en partie disponibles chez des partenaires spécialisés.

**Fly-n-Sense** a aussi acquis une expertise dans le domaine de l'intégration, de l'assemblage et du test, devenant une des rares sociétés du secteur capable de maîtriser l'ensemble du cycle de développement.

« En bientôt 5 ans, **Fly-n-Sense** a conçu, développé et fabriqué une gamme de 9 systèmes de mini-drones répondant aux besoins des marchés émergents et prometteurs de la sécurité et de l'industrie ». « En 2013, **Fly-n-Sense** se structure, avec une industrialisation des produits phares, permettant une croissance soutenue prévisible dès 2013 » précise Christophe Mazel, Président et fondateur.

« Nos solutions répondent à une problématique terrain de nos forces d'intervention de la sécurité civile en leur apportant une solution d'aide à la décision. Dans la lutte contre les feux de forêts par exemple, nos solutions ont pour vocation de compléter le diagnostic terrain par des renseignements obtenus à partir du ciel à seulement 50 m du sol en temps réel tout en réduisant les coûts d'opération (OPEX) » souligne Eric Spampinato, directeur commercial & marketing International.

**Fly-n-Sense** est concepteur et fabricant de mini-drones (MUAV). Elle commercialise des solutions drone end-to-end « ready to fly & sense » dixit Eric Spampinato et directement opérationnelles pour les marchés de la sécurité, de la surveillance et de l'inspection.



## Le drone Civil et ses applications innovantes

Dans l'aviation, les premiers drones ont été réalisés pour des applications militaires il y a plusieurs dizaines d'années. C'est seulement depuis moins d'une dizaine d'années, que les premiers drones expérimentaux pour des applications civiles ont vu le jour.

Au-delà même de sa capacité à voler, un drone réalise une mission en parfaite autonomie pour transmettre des informations au sol depuis une altitude pouvant varier de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres selon les impératifs de la mission du point de vue réglementaire d'une part, et des performances des capteurs que le drone emporte.

Nous assistons actuellement à l'ouverture du marché civil sur le territoire national suite à la mise en place d'une nouvelle réglementation aérienne de la direction générale de l'aviation civile (DGAC), arrêté du 11 avril 2012. Ces textes permettent de définir le cadre réglementaire de la conception des drones et de leur usage dans un espace aérien donné.

Au-delà des applications en Audiovisuelles pour la retransmission d'évènement sportif ou les reportages sur nos merveilleuses régions de France...vues du ciel, les drones opèrent des missions encore méconnues pour le compte d'applications civiles nouvelles qui se multiplient tous les mois. De la lutte contre les feux de forêt à la mesure de la pollution de nos villes, le drone civil deviendra un outil de la vie de tous les jours aussi courant que le smartphone l'est aujourd'hui d'ici à l'aube 2025.

## Des drones pour les pompiers : Sauvons des vies et notre patrimoine !

En 2011, le département des Landes s'équipe d'un système complet équipé d'un drone de moins de 2 kg permettant de réaliser en temps réel une cartographie du front de flamme et de partager la même information avec les différentes équipes au sol et le commandement central (CODIS). Ce système nommé STaFF, et inventé par la société Fly-n-Sense près de Bordeaux, doit être vu comme un outil d'aide à la décision des équipes tactiques de terrain, leur permettant de gagner du temps dans leurs interventions

et de contenir le feu le plus rapidement possible. Contenir et éteindre le feu dans un temps court sauve des vies et limite les pertes matérielles.

Le principe de l'innovation consiste à envoyer un drone au dessus d'une zone d'intervention afin que celui-ci fasse des reconnaissances et renvoie des données essentielles à la définition de la stratégie employée (images du front et de la zone d'intervention à partager, mosaïque de la zone d'intervention, définition précise du contour du feu). Ce survol se réalise à partir d'un plan de vol préétabli, élaboré en quelques minutes, dès l'arrivée sur zone, et qui peut être corrigé en direct, au fur et à mesure de l'évolution du drone, à partir de la station au sol. Il s'agit donc d'un vol automatisé, hors de la vue de l'opérateur au sol.

Les données recueillies sont ensuite envoyées sur un serveur où des utilisateurs identifiés et autorisés peuvent les consulter (véhicule PC, CODIS, DOS, COS, Préfecture, EMIZ, DGSCGC, etc.) par l'intermédiaire d'un portail web (streaming vidéo et SIG).

Dans les Landes, la forêt occupe près de 620.000 hectares, soit les deux tiers du département.

Atout économique majeur pour le département, puisqu'elle représente une richesse cultivée, la forêt landaise est un espace environnemental et culturel précieux et un patrimoine protégé.

Elle fait donc l'objet d'une vigilance de tous les instants, notamment en matière de lutte contre les incendies. Depuis plus de 50 ans, cette lutte est organisée et elle vient de trouver un nouvel outil innovant réduisant les coûts OPEX.

## Des Drones pour l'agriculture. Sauvons la planète !

La filière vitivinicole en Aquitaine est un des piliers économiques de la région. Elle doit aujourd'hui faire face à de nombreux enjeux dont notamment la réduction de son empreinte écologique sur l'environnement (plan ECOPHYTO 2018) et la maîtrise des coûts dans un contexte de concurrence internationale. La viticulture de précision est une des réponses possibles à ces enjeux et passe par une connaissance fine et précise, au niveau de l'exploitation, du vignoble.



Phare de Cordouan à l'estuaire de la Gironde.

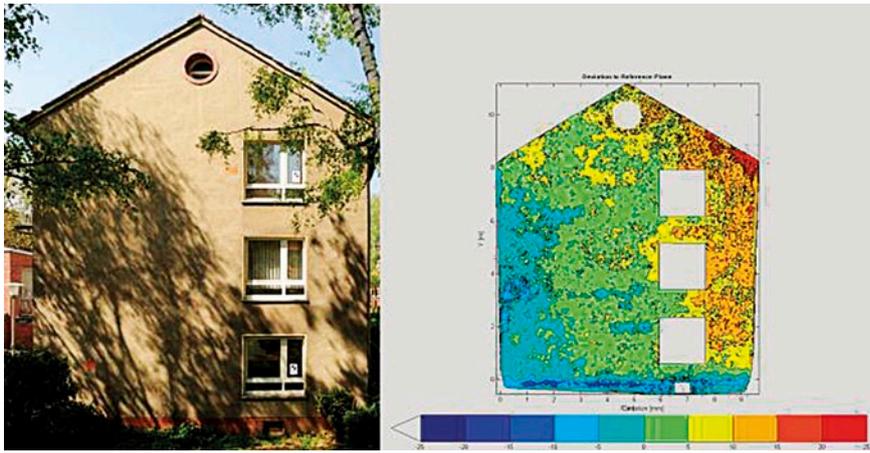
La région bordelaise est connue à travers le monde grâce à la réputation de sa filière vitivinicole. Cette dernière est aujourd'hui confrontée à de nouveaux enjeux. Face aux nouvelles attentes des consommateurs et de la société civile, comment assurer des produits de grande qualité avec « zéro résidu » en diminuant l'utilisation des pesticides, tout en assurant la compétitivité et la pérennité des exploitations viticoles, tant par le respect de l'environnement que par l'obligation de résultats économiques compétitifs.

La région Aquitaine a regroupé ses compétences en matière de drones civils au sein du cluster AETOS qui vise à créer les conditions favorables au développement du secteur des services et systèmes de drones en Aquitaine.

Le projet VITIDRONES, initiés par les deux clusters AETOS et INNO'VIN, s'inscrit dans un programme de collaboration et de partenariat entre les deux industries (viticole et drones) visant à développer des services pour la viticulture à partir des systèmes de drones dans différents domaines. Son objectif est de créer un service de télé-détection de la vigueur de la vigne via un système de drones en s'appuyant sur des indices existants validés scientifiquement et en intégrant toute la chaîne de traitement de l'information.

Plusieurs briques de base: un produit de télé-détection et un capteur multispectral apporté par la société Specterra, le système de drone Fly-n-Sense, et un service de traitement de l'information Web pour les Viticulteurs apporté par VitiVista.

Équipés de mesures de sécurité diverses, les plateformes sont capables de respecter une zone de vol précise et disposent de mesures dites de « fail-crash » permettant de palier



### Des Drones pour faire un scan 3D des infrastructures : Outil pour la Réalité3D augmentée

Le relevé 3D de bâtiments existants est actuellement basé sur des techniques de scan laser et de photogrammétrie. Il est possible d'enrichir ces relevés par des outils de prises de vue adaptés aux ouvrages de grande hauteur ou au milieu urbain en utilisant des systèmes de drone.

L'usage du Drone permettra là encore de faire des économies substantielles en temps et en coût d'échafaudage: une journée sera suffisante pour analyser un bâtiment quand il faut plus d'une semaine avec les moyens actuels.

### Des Drones pour l'analyse de la pollution de nos villes

La charge utile nommée LOAC est un capteur moléculaire pour mesurer le nombre de particules présentes dans l'atmosphère. Embarqué sur un mini-drone, ce capteur permet de faire ces mesures en temps réel en tout point de l'espace (pour des coordonnées GPS et une altitude données).

La détermination de la taille et la répartition des molécules dans le volume permet d'identifier la pollution par les aérosols et de faire ainsi une mesure de concentration de la poussière (sable, cendre, etc.) transportée par les vents ou des rejets de carbone. ■

**Eric Spampinato,**  
Directeur executif marketing  
international,  
communication  
et ventes

des pannes diverses telles que la perte de liaison radio, perte du signal GPS ou encore problèmes de la chaîne de propulsion. Les aéronefs disposent également de logiques de vol avancées et optimisées pour l'empport de charges électro-optiques et le suivi à basse altitude de terrain. Ils sont également capables de scanner de manière complètement autonome des zones géographiques à géométrie variable et peuvent opérer jusqu'à 150 m d'altitude conformément à la réglementation en vigueur.

Dans un spectre plus large d'utilisation en agriculture, l'usage d'un drone pourrait permettre l'analyse plus précise des différentes étapes du processus de culture permettant ainsi d'adapter le dosage des traitements et le moment le plus opportun pour l'appliquer.

### Des Drones pour le génie civil. Sauver des coûts d'infrastructures

L'usage des mini-drones dans l'observation des infrastructures comme les ponts ou les bâtiments en inspection, évite des coûts importants de moyens à déployer au sol (échafaudage, grues etc.), de logistique et d'entretien, car il évite d'exposer des vies humaines (cas des voltigeurs pour les ponts),

La plus-value du drone est également de permettre des angles de vue multiples des structures observées. En effet, sa capacité à évoluer dans un espace 3D libre autorise des vols dans l'espace de 0 à 50 m du sol là où aucun autre aéronef ne peut le faire sans risquer la vie des pilotes ou des personnels au sol.





# Drelion : un drone hélicoptère pour la recherche en environnement

Les laboratoires LDO (IUEM UBO) et LGL-TPE (OSU Lyon et Université Lyon 1) ont développé conjointement un système d'acquisition et de traitement d'imagerie à très haute résolution spatiale pour répondre à des questions de dynamique des systèmes fluviaux ou littoraux, de dynamique de glissements de terrain, de dynamique dunaires, d'écologie etc. La solution retenue est un drone hexacoptère autopiloté (Drelion) qui possède un fort potentiel pour acquérir des images à haute résolution en conditions environnementales difficiles. Ce drone peut être équipé de divers capteurs d'imagerie (appareil photo, caméra thermique ou capteur hyperspectral). Après avoir décrit Drelion, nous présentons ici une application de son utilisation à l'observation d'une rivière de Guadeloupe.

Le système DRELIO peut être décomposé en 4 unités majeures (figure 1) :

- l'hélicoptère DRONESYS de 80 cm de diamètre et de 40 cm de hauteur,
- la tourelle supportant les capteurs scientifiques (appareil photographique, caméra thermique),
- le système embarqué pour le contrôle du vol (pilote automatique, GPS, gyroscope, magnétomètre, sonde de pression atmosphérique),
- un système de contrôle au sol (PC, télécommande 2.4Ghz).

L'hélicoptère est un modèle HEXA XL Heavy Lift de la société DRONESYS. Pour adapter DRELIO aux conditions climatiques parfois difficiles (proximité de l'océan, haute montagne, humidité tropicale, poussière désertique...) les composants électroniques ont été traités pour résister à l'humidité et à la poussière. Le poids à vide de Drelion est d'environ 2.5 kg, autorisant une charge utile supplémentaire d'environ 2 kg. La vitesse maximale de DRELIO est de 7m/s pour une autonomie de 10 minutes environ.

Drelion est assez peu sensible aux conditions aérologiques. En effet, des missions ont pu être réalisées par des vents supérieurs à 20 nœuds (36 km/h). Sous l'hélicoptère est installée une tourelle gyrostabilisée dont le

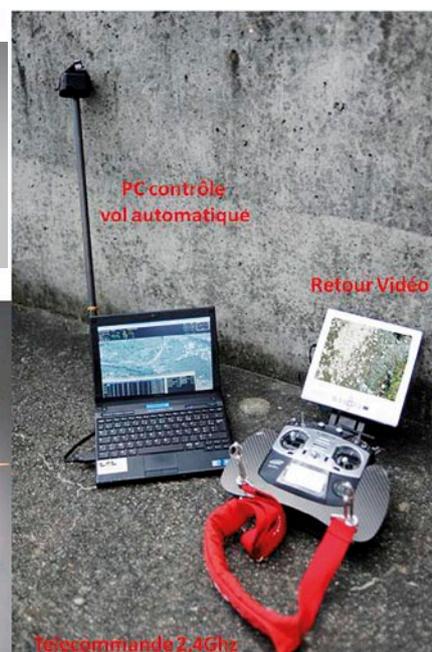


Figure 1 : Drelion, l'hélicoptère avec sa station sol (PC de contrôle de vol auto et télécommande 2.4Ghz)

mouvement est contrôlable depuis le sol ou programmable avant la mission. Le vol peut être géré en pilotage automatique contrôlé par des capteurs de pression atmosphérique, un capteur inertiel, un capteur géomagnétique et un GPS. Une caméra vidéo basse résolution dont les images sont transférées au

sol en temps réel, permet de contrôler le positionnement des images acquises par l'appareil photo pendant le vol. L'appareil photo peut être remplacé par une caméra sensible à infrarouge thermique couplée à un appareil photographique numérique compact.



Figure 2: Ecran de contrôle de vol automatique de DRELIO. Les paramètres du vol, du plan de vol et la position du drone sont transférés en temps réel au sol.

Le décollage de DRELIO se fait en mode manuel. DRELIO peut ensuite suivre un plan de vol prédéfini (voir figure 2) et atterrir de façon autonome. Le drone étant équipé d'un GPS, il est possible de programmer à l'avance le déclenchement des photos en fonction de la position du drone. Ceci permet d'effectuer des comparaisons multi-temporelles des images.

Le lien radio autorise des communications avec la base au sol jusqu'à 800 m. Néanmoins, une fois le plan de vol chargé, toute communication avec le sol est superflue, ce qui augmente donc le rayon d'action (limité à 1000 m). En fonction du mode d'utilisation du pilote automatique (manuel, stationnaire, vol planifié), il est possible de contrôler le drone à distance de manière manuelle ou semi-manuelle.

### Mission type de DRELIO

Afin d'optimiser les conditions de vol et de prises de vue, les missions sont préférentiellement planifiées avant le lever ou après le coucher du soleil ou lorsque le soleil est à son zénith. L'éclairement est alors homogène, les ombres limitées et les conditions aérologiques plus stables. Des cibles sont repérées au sol. La densité de ce semis de cibles est ajustée en fonction de la couverture au sol d'une image afin que quelques cibles soient visibles sur un cliché. La position exacte du centre de chaque cible est mesurée au GPS différentiel en mode RTK avec une précision centimétrique.

Le plan de vol de DRELIO est alors programmé dans le logiciel de pilotage automatique, puis transféré à l'auto-pilote de l'hélicoptère (voir figure 2). Ce plan de vol inclut le point de décollage, les points de passage définissant la trajectoire, le point d'atterrissage, la vitesse de l'hélicoptère (généralement de l'ordre de 5 m/s). L'altitude de vol de DRELIO est généralement comprise entre 50 et 150 m (limite réglementaire). Avec un objectif de focale de 35 mm, la taille du pixel varie alors de 1,2 cm pour une couverture de 51x 34 m (altitude 50 m.) et 3,6 cm pour une couverture de 154 x 102 m (altitude 150 m). Après l'atterrissage, les clichés sont transférés de l'appareil photographique à un ordinateur.

Les images produites par Drelion sont acquises de façon à ce que deux images successives se superposent sur au moins 80 %

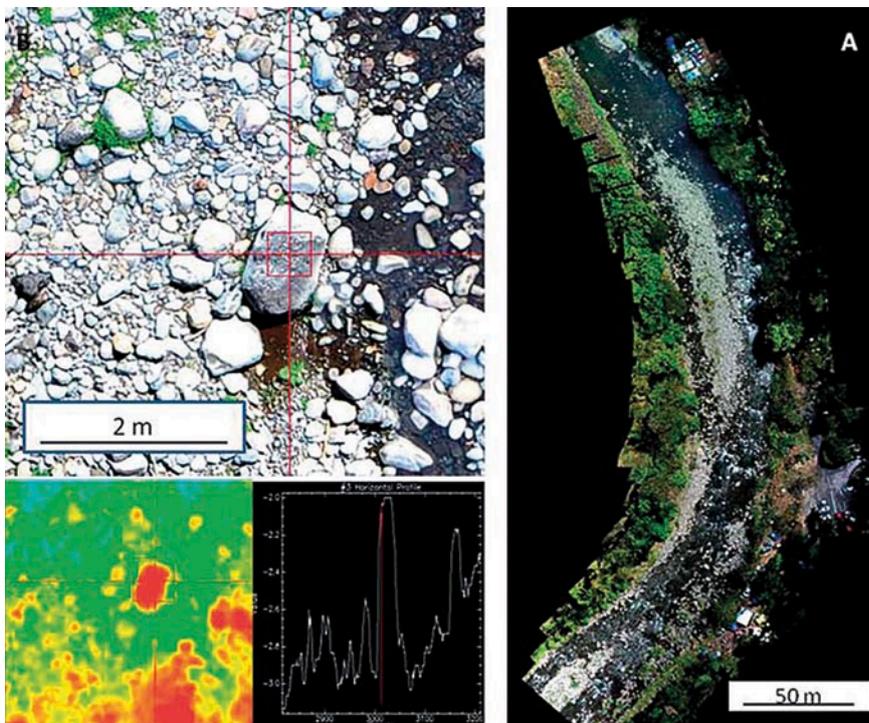


Figure 3: A) Photo de la Rivière de Vieux Habitants (Guadeloupe) autour du point de coordonnées -61,74924 W 16,0568 N). La résolution de l'image est de 3 cm environ. B) Extrait à pleine résolution.



Figure 4: A) Ortho-image produit à partir de la chaîne Micmac (IGN). La résolution est de l'ordre de 6 cm .  
B) Image à pleine résolution de l'orthoimage et MNT de la zone correspondante. La hauteur du bloc est de 1 m environ.

de leur surface. Cette superposition partielle permet de traiter les images par les techniques de la photogrammétrie pour obtenir des modèles numériques de terrain (MNT - matrice d'altitude) et des ortho-images qui sont des images plan sur lesquelles la distorsion produite par topographie a été retirée. Un traitement photogrammétrique comporte deux étapes principales. Lors de la première étape, il s'agit de calculer les paramètres « externes » de chaque prise de vue. Ces paramètres externes sont constitués par les coordonnées (3 paramètres de position) et les orientations (3 paramètres angulaires) de l'appareil photo au moment de la prise de vue. Ces calculs sont réalisés à partir de la position des cibles au sol dont les coordonnées ont été mesurées au DGPS. Cette étape permet également de calculer les paramètres de distorsion de l'appareil photo, c'est-à-dire les paramètres qui permettent de corriger l'écart entre une optique parfaite et l'optique réelle. Lors de la seconde étape, il s'agit de déterminer les points « homologues » sur les séries d'images. Ces points sont déterminés par des techniques de corrélation d'images. Deux points homologues représentent le même objet sur deux images différentes. La position cartographique 3D des points homologues peut alors être calculée à partir des paramètres externes de l'appareil photo

en utilisant les équations de la photogrammétrie. Le nuage de point obtenu est interpolé sur une grille régulière pour calculer un MNT. Ce travail est réalisé à partir de la chaîne photogrammétrique MicMac produite par l'IGN.

Les figures 3 et 4 illustrent un exemple de produits issus de Drelion. Une mission a été réalisée en Guadeloupe sur la rivière de Vieux Habitants. L'objectif de cette mission est d'étudier le transport solide dans les rivières tropicales des îles volcaniques dans le cadre de L'Observatoire de l'Erosion aux Antilles – labellisé par l'INSU – Institut des Sciences de L'univers du CNRS. Trois cents images ont été acquises sur une portion de la rivière dotée d'un banc de galets mobiles. Le vol a été effectué à 150 m au-dessus de la rivière. L'appareil photo est équipé d'un objectif de 35 mm. L'emprise au sol des images est de l'ordre de 150 m par 100 m pour une résolution de 3 cm environ (figure 3). Ces données ont été traitées par la chaîne MicMac pour produire un MNT et une ortho-image couvrant environ 500 m du cours d'eau à une résolution finale de 6 cm environ. La précision planimétrique et altimétrique de ces produits a été évaluée en comparant la position de points mesurée au GPS avec la position sur le MNT. Cette précision absolue

est meilleure que 10 cm. La précision relative (erreur d'altitude entre deux points voisins) est meilleure que le centimètre.

Le drone Drelion est dédié actuellement à la photogrammétrie. Il permet d'acquérir de façon automatique des séries d'images qui peuvent ensuite être traitées avec la chaîne photogrammétrique MicMac pour produire des MNT et des Ortho-images à très haute résolution avec une très bonne précision. Le champ d'utilisation de ces données est très vaste (géomorphologie, archéologie, sciences agricole etc...). Drelion sera prochainement équipé d'une caméra thermique qui lui permettra d'imager l'état thermique des rivières. Il sera également équipé d'un capteur hyperspectral sensible entre 0.4 et 1.0  $\mu\text{m}$  qui sera utilisé pour étudier les relations entre l'environnement minéral et l'écologie. ■

**Philippe Grandjean et Pascal Allemand**  
Université de Lyon,  
Université Lyon 1 & ENS Lyon & CNRS,  
Laboratoire de Géologie de Lyon -  
Terre Planètes Environnement -  
UMR 5276, Lyon

**Jérôme Ammann et Christophe Delacourt**  
Université de Bretagne Occidentale, IUEM,  
Laboratoire Domaines Océaniques -  
UMR 6538, Brest

Diplômés,  
vous êtes notre meilleur relais  
en entreprise



Centrale  
Nantes

POUR LA TAXE D'APPRENTISSAGE 2013-2014

PENSEZ CENTRALE NANTES

La taxe d'apprentissage représente 5 % de son budget

En 2013, la taxe d'apprentissage a permis à Centrale Nantes :

- > la création de l'incubateur Symbiose, commun à Centrale Nantes et Audencia,
- > le lancement du premier M00C francophone,
- > le développement de la formation ingénieur Centralien par la voie de l'apprentissage.

ACCÉLÉRATEUR DE VOTRE ÉNERGIE



CONTACT : Pierre-Antoine LOQUET  
pierre-antoine.loquet@ec-nantes.fr

ÉCOLE CENTRALE DE NANTES

1 rue de la Noë. BP 92101. 44321 Nantes Cedex 3  
Tél. : 02 40 37 25 83 - Fax : 02 40 37 25 25

[www.ec-nantes.fr](http://www.ec-nantes.fr)