

# Références

Septembre  
2015



## Les usages de drones existants et potentiels recensés au sein du MEDDE

Commissariat Général au Développement Durable  
Direction de la Recherche et de l'Innovation

En partenariat avec le



Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

**Collection « Références » de la Direction de la Recherche et de l'Innovation (DRI)  
du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)  
en partenariat avec le Centre d'Etudes et d'Expertises sur les Risques, l'Environnement,  
la Mobilité et l'Aménagement - Direction territoriale Sud-Ouest (CEREMA DTerSO)**

<b>Titre du document :</b>	Les drones au service du développement durable
<b>Directrice de la publication :</b>	Laurence Monnoyer-Smith, Commissaire Générale au développement durable
<b>Rédacteur en chef :</b>	Jean-Paul Fidéli - CEREMA, Direction territoriale Sud-Ouest Jean-Michel Tanguy - CGDD, Direction de la Recherche et de l'Innovation
<b>Auteurs :</b>	Jean-Paul Fidéli Jean-Michel Tanguy Natacha Roger - CGDD/DRI
<b>Coordination éditoriale :</b>	Natacha Roger Jean-Michel Tanguy
<b>Maquette - réalisation :</b>	Thierry Coulon – Marie-Claude Niel-Aubin CEREMA, Direction territoriale Sud-Ouest
<b>Date de publication :</b>	Septembre 2015

Cette publication, éditée à part, complète le document référence intitulé « Les drones au service du développement durable » de septembre 2015.

Chaque fiche a été rédigée par un organisme du Réseau Scientifique et Technique (RST) en liaison avec le CEREMA-DTerSO et la DRI du CGDD

Ce cahier, composé de fiches décrivant les usages de drones, sera actualisé régulièrement afin de prendre en compte les évolutions techniques et les nouveaux champs d'applications des drones civils.

*Fiches*

# *Surveillance Auscultation Monitoring de l'environnement (SAM)*



*Réseau Scientifique et Technique du MEDDE*

1. Prélèvements d'échantillons d'eau en milieu côtier et estuarien
2. Modélisation 3D des affleurements géologiques
3. Mesures d'inversion de température dans l'atmosphère
4. Auscultation d'ouvrages d'art
5. Auscultation des chaussées aéronautiques
6. Suivi de la mégafaune dans les aires marines
7. Suivi de l'évolution des littoraux sableux
8. Surveillance des proliférations phytoplanctoniques dans les milieux aquatiques lenticques
9. Mesures météorologiques
10. Thermique du bâtiment
11. Surveillance temporelle des mouvements gravitaires
12. Suivi de l'évolution des estrans
13. Utilisation de drones pour le jaugeage en rivière



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Prélèvements d’échantillons d’eau en milieu côtier et estuarien



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

La Directive Cadre sur l’Eau (DCE) s’applique à l’ensemble des pays membres de l’Union Européenne et établit un nouveau cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l’eau en vue d’une meilleure gestion des milieux aquatiques [Directive 2000/60/CE, 2000]. Elle fixe comme objectif général l’atteinte, à l’horizon 2015, d’un bon état écologique et chimique des masses d’eau souterraines et de surface, ces dernières incluant les eaux côtières et de transition (estuaires en particulier).

Le nombre de prélèvement d’eau a largement augmenté en milieu côtier et estuarien depuis la mise en place de la DCE en 2007. Les prélèvements sur l’estran ont été pratiquement tous supprimés, car non représentatifs de la masse d’eau adjacente, et déplacés vers le large. Ces prélèvements, généralement regroupés au sein d’une « tournée » journalière sur une zone géographique donnée, sont effectués avec différents types de moyens nautiques : bateaux légers de type « zodiac », kayak, vedette SNSM.

##### Objectif de la démarche

Les contraintes techniques et organisationnelles devenant très importantes sur certaines zones du littoral, il en résulte un fort besoin de disposer d’un système automatisé simple et robuste pour effectuer rapidement des prélèvements d’eau en sub-surface jusqu’à environ 500 m de la côte. Ce système radio piloté n’a pas pour vocation de supprimer tous les prélèvements « bateau » mais d’être un support complémentaire permettant d’alléger le coût et la durée de certains prélèvements (ex : points de prélèvements trop éloignés des cales de mise à l’eau, long remorquage sur route,...) ou d’effectuer des prélèvements supplémentaires (ex : périodes d’alerte de bloom phytoplanctonique) pour lesquels aucun moyen nautique n’est disponible.

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

Des systèmes autonomes, mobiles et modulables, ont été développés récemment en France pour effectuer des prélèvements et des mesures dans la colonne d’eau en milieu marin. Le système MOBESENS consiste en un kayak autonome à propulsion électrique programmable et télécommandable par liaison de type AirMax équipé de treuils et de capteurs. VAIMOS est un voilier utilisant la force du vent et l’énergie solaire qui est programmé pour naviguer et quadriller une zone de façon autonome en réalisant différents types de mesures in situ dans les 5 premiers cm de la colonne d’eau. Ces engins étant très sophistiqués, un nouveau drone nautique a été conçu pour répondre aux besoins basiques des prélèvements d’eau effectués dans le cadre de la DCE.

##### Consistance des missions des drones

Les principales missions sont les suivantes :

- aller de la côte au point de prélèvement situé au maximum à 500 m au large (coordonnées connues),
- effectuer des mesures in situ (température,
- salinité, turbidité) en sub-surface,

- collecter des échantillons d'eau pour une analyse ultérieure au laboratoire (lecture de flore phytoplanctonique, analyse de la chlorophylle, des nutriments, de la matière en suspension, de la matière organique particulaire).

Cet engin doit contribuer à l'amélioration des pratiques des opérations de prélèvements et de mesures in situ en fiabilisant la qualité des mesures de façon à favoriser la comparabilité des données de la surveillance des milieux aquatiques. La bonne pratique de l'échantillonnage conditionne en effet en très grande partie la fiabilité des données de mesure et donc l'interprétation que l'on pourra en faire.

## ► Contraintes

### De mise en œuvre

La mise en œuvre doit être très simple car le drone a pour vocation d'être utilisé par des opérateurs de terrain n'ayant pas de compétences approfondies en électronique ou mécanique. Le drone est mis à l'eau par un ou deux opérateurs plusieurs fois dans une même journée sur des sites différents. Il est de petite taille (longueur 137 cm) pour être transportable dans le coffre d'une voiture. Il est relativement léger (15 kg) pour pouvoir être porté jusqu'aux sites de prélèvement qui sont parfois éloignés des parkings et/ou peu faciles d'accès (plages de sable, rochers, sentiers côtiers, berges vaseuses). Le tirant d'eau est très faible (10 cm) pour permettre à l'opérateur de faire la mise à l'eau en waders. La durée totale de la phase de prélèvement (mise à l'eau, trajet jusqu'au point de prélèvement, prélèvement des échantillons d'eau et mesures in situ, retour à la côte) est inférieure à 15 min. Le drone est conçu pour être suffisamment robuste pour atténuer les chocs en zone sensible (pieux de parcs ostréicoles, rochers,...). La puissance et la flottabilité ont été étudiées pour résister au vent et aux courants et pour pouvoir « surfer » sur les premières déferlantes. L'entretien mécanique et électronique est minimal entre deux utilisations de façon à minimiser les durées de maintenance et permettre une utilisation maximale de l'engin sur toute l'année. Les batteries sont rechargeables à partir de l'allume cigare d'une voiture.

### Pour répondre à la stratégie de prélèvement

Le prélèvement doit impérativement répondre aux exigences des documents de référence et normatifs [Daniel 2009, Daniel 2012, Norme FD T 90-523-1, Norme NF EN ISO 5667-3, Norme ISO 5667-9:1992] à mettre en œuvre lors du prélèvement de paramètres hydrologiques. Le volume du prélèvement est au minimum de 2 L et la mesure est effectuée entre -10 et -50 cm sous la surface de l'eau. Les capteurs pour

les mesures in situ sont facilement retirés de l'engin par simple clipsage pour permettre une vérification métrologique régulière. L'emplacement des points de prélèvement a été déterminé sur des considérations liées à l'objectif du programme de surveillance.

C'est pourquoi, il est impératif que les prélèvements soient opérés exactement sur les coordonnées préalablement définies. Pour ce faire, le drone possède un système de positionnement GPS par tracker. La position est ainsi transmise en continu par SMS sur le Smartphone de l'opérateur. Le trajet du drone est consultable en direct sur Google Maps puis sauvegardé pour assurer une traçabilité de la phase de prélèvement.

### De qualité du prélèvement

Le drone n'induit pas de pollution chimique ou physique lors du prélèvement sur site (ex : huile, remous excessifs). Le matériel d'échantillonnage utilisé garantit l'absence d'interférence physico-chimique avec les paramètres à mesurer. La nature des matériaux du système d'échantillonnage a été choisie en fonction de sa compatibilité avec les paramètres recherchés. Avant chaque tournée, le matériel d'échantillonnage est préparé et conditionné selon une procédure de nettoyage définie. Afin d'éviter la contamination d'un échantillon par les éventuels polluants d'un échantillonnage antérieur (contamination croisée), le système d'échantillonnage est rincé entre deux prélèvements successifs avec l'eau de la station de prélèvement. Ce nettoyage concerne tous les éléments ayant pu être en contact avec l'eau prélevée. La mise à blanc du matériel d'échantillonnage peut être effectuée régulièrement. L'échantillon d'eau est placé dans un contenant amovible à usage unique pour permettre sa conservation dans une enceinte réfrigérée dès le retour du drone sur l'estran.

### De sécurité

Chaque opérateur de terrain est formé à la conduite du drone et est sensibilisé aux précautions nécessaires à prendre sans mettre en danger sa propre sécurité ainsi que celle d'autrui. Il ne s'agit en aucun cas d'un drone autonome étant donné la forte probabilité de rencontrer un obstacle sur la franche littorale (baigneur, filet, bateau, etc.). Ainsi pour raison de sécurité, et en absence de législation sur l'utilisation de drones en milieu marin, le pilotage de l'engin est effectué à vue avec l'assistance du positionnement GPS continu. Aucune hélice n'est apparente sur le drone afin de ne pas mettre en danger l'opérateur lors des phases de mise à l'eau ou de récupération. La réponse de l'engin au radio pilotage permet d'effectuer des arrêts d'urgence en cas de danger.

## ► Modalités de mise en œuvre

L'engin a été testé à de nombreuses reprises par les opérateurs de terrain de l'Ifremer depuis juin 2014 sur différents types de côtes : plages avec déferlantes, criques enrochées, lagunes méditerranéennes, lacs, etc. L'engin a été validé par les utilisateurs en terme de sécurité, poids-taille et facilité de mise en œuvre. Le pilotage de l'engin à vue a été possible jusqu'à 800 m de l'opérateur. La puissance et la flottabilité ont été jugées satisfaisantes pour surfer sur les déferlantes. La qualité de l'échantillonnage a été évaluée sur des échantillons prélevés dans des conditions classiques et sur des échantillons prélevés avec le drone. Pour les nutriments, la différence de concentration entre les deux types d'échantillons est inférieure à l'erreur analytique de la méthode de mesure. Ces résultats permettent d'affirmer que l'impact de l'engin sur le prélèvement est nul. Il est prévu d'élargir la collecte d'échantillons d'eau pour l'analyse de paramètres nécessitant des précautions encore plus élevées en terme de contamination : métaux traces, contaminants organiques, microbiologie, etc.

### Compétences techniques

Internes au RST

IFREMER pour la construction et l'utilisation de drones.

Matériel				Mise en oeuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Drone moyen (137cm)	15 kg maximum	- GPS	- Matériel d'échantillonnage	Autorisation DGAC		x		x	

## ► EQUIPES ET CONTACTS

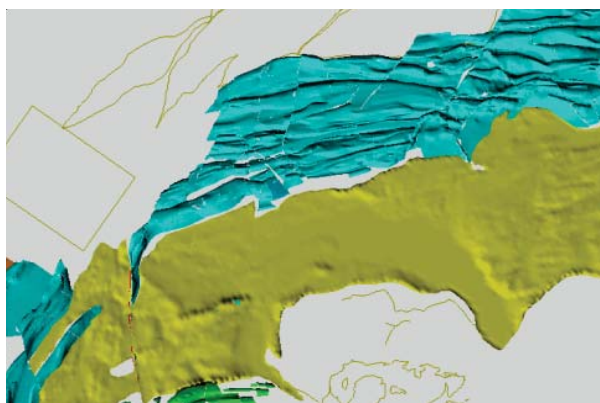
IFREMER Erwan Le Gall, Anne Daniel



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Modélisation 3d des affleurements géologiques



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

La modélisation 3D d’affleurement est de plus en plus utilisée, dans le domaine universitaire comme dans l’industrie, pour contraindre et quantifier les modèles géologiques, et s’avère également très demandée à des fins pédagogiques ou de communication. Les techniques de modélisation 3D d’affleurement développées jusqu’à maintenant sont uniquement basées sur la technologie LIDAR, et ont montré rapidement leurs limites d’utilisation, tant du point de vue acquisition que du point de vue traitement et utilisation de l’image 3D. La photogrammétrie est la technique utilisée par l’IFPEN car son utilisation est plus souple, l’acquisition des images se faisant à l’aide du drone.

##### Objectif de la démarche

L’objectif principal est de se positionner parmi les instituts faisant de l’acquisition de données relatives aux affleurements pour les reconstituer en 3D, en proposant de remplacer une solution coûteuse (technologies LIDAR) par une solution peu coûteuse en terme de temps d’acquisition, de temps de traitement et de facilité de manipulation (photogrammétrie).

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

- Auscultation à grand rendement des affleurements et prises de vue en position optimale de ceux-ci,
- Pas de nuisances sonores et pas de pollution (drone électrique).

##### Consistance des missions des drones

Les photos sont prises en rafale à intervalle de temps réguliers lors du passage du drone le long des affleurements, avec un pilotage des prises de vue depuis le sol.

##### Difficultés

- Technologiques : Linéaire limité en fonction de l’autonomie des appareils,
- De sécurité publique : Survol de populations,
- Juridiques : Etat de la législation contraignante pour survoler des zones peuplées et non peuplées (arrêtés DGAC),
- Organisationnelles : Disponibilité des équipes drones.

##### Risques

- Perte de l’appareil,
- Accident avec une personne et/ou du matériel.

## ► Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

- Types de drones
  - Petits drones multicoptères électriques.
- Capteurs
  - Appareils photos, renvoi sur site de photos en temps réel,
  - Orientation à volonté pour rester positionné sur l’affleurement en cours de vol.

### Mise œuvre

- Définir les conditions de mise en œuvre vis-à-vis de la réglementation de circulation aérienne,
- Identifier un maître d’ouvrage qui va planifier la campagne sur les plans administratif (autorisations) et organisationnel (avec services extérieurs), rechercher des financements pour les équipes concernées,
- Concevoir et piloter l’expérimentation,
- Assister le maître d’ouvrage,
- Compléter la liste du matériel nécessaire pour une utilisation intensive,
- Organiser une offre technique de base à compléter avec des sujets de recherche,
- Utilisation de l’appareil environ 40 jours par an (60 heures).

Matériel				Mise en oeuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Octocopter électrique de diamètre 1.2m	10 kg	Appareils photos		S1 ou S2		x		x	x

## ► EQUIPES ET CONTACTS

IFPEN - Laurent Forti





## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Mesures d’inversion de température dans l’atmosphère



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

**Problématique générale**

L’Organisation de l’Aviation Civile Internationale (OACI) par l’intermédiaire de l’Annexe 16 Volume I réglemente la mesure de certification acoustique des aéronefs. Le laboratoire acoustique du Service Technique de l’Aviation Civile (STAC) réalise ces mesures selon cette référence. Afin que le niveau acoustique attribué à l’avion soit représentatif et reproductible, ces mesures acoustiques doivent tenir compte des conditions météorologiques au sol (température, hygrométrie, pression atmosphérique, force et direction du vent, pluie) mais aussi entre le sol et au dessus du passage de l’aéronef (température et hygrométrie) avec contrainte supplémentaire : «l’absence d’inversion de température».

Pour connaître cette dernière condition, le STAC utilise un système de radiosondage météorologique avec un ballon gonflé à l’hélium. Dans le but de réduire les coûts (radiosonde + hélium), la mesure est effectuée avec un ballon captif relié au sol par un filin.

Le nombre de mesures acoustiques important pour les années à venir suite au projet CALIPSO (Classification des Avions Légers selon leur Indice de Performance SONore) conduit le STAC à trouver une alternative au système de radiosondage actuel qui a les inconvénients suivants : temps d’installation non négligeable, coûteux en consommables et particulièrement en hélium.

#### Objectif de la démarche

Le projet DROMIT consiste à concevoir un drone léger capable d’emporter des capteurs météorologiques et de positionnement (récepteur GPS) qui suivra en toute autonomie une trajectoire permettant de faire des mesures entre le sol et 500m.

L’ENAC possède une solide expérience des applications civiles pour les minis drones grâce à son système OpenSource Paparazzi, constitué d’un pilote automatique, d’une station de sol et d’un système de communication sol/bord.

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

La première phase du projet consistera à choisir le vecteur en fonction des capteurs à embarquer, des procédures opérationnelles possibles sur le terrain et des impératifs de sécurité pour les personnes et les biens. Puis deux prototypes de drones équipés du système Paparazzi et capables de détecter une inversion de température seront réalisés.

## ► Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### ► Types de drones et capteurs

Le pilote automatique devra être adapté, rendu plus robuste afin de satisfaire aux contraintes liées à des missions de mesures régulières.

- L'ergonomie de la station sol sera améliorée afin de faciliter la tâche de l'opérateur.
- Le système de communication, qui comprend les informations de télémétrie et les commandes opérateurs sera modifié pour satisfaire aux exigences opérationnelles.

L'ensemble du projet sera soumis à l'évolution de la réglementation en vigueur concernant les aéronefs non habités de moins de 2kg. Un dossier de sécurité sera constitué afin de procéder aux demandes d'autorisation de vol.

### Compétences techniques

#### ► Internes au RST

- ENAC : utilisation de drones et de capteurs atmosphériques,
- Météo-France : météorologie.

#### ► Externes au RST

- Des organismes extérieurs au RST peuvent être amenés à recourir à ce type d'appareil.

### Mise œuvre

- Très facile

Matériel				Mise en oeuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Drone léger	Moins de 2 kg	- Capteurs de positionnement (récepteur GPS)	- Capteurs météorologiques	Autorisation DGAC		x		x	

## ► EQUIPES ET CONTACTS

ENAC : Catherine Ronfle-Naudaud

STAC : François Watrin, francois.watrin@aviation-civile.gouv.fr



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Auscultation des Ouvrages d’Art



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Les gestionnaires de patrimoine routier font régulièrement appel aux unités spécialisées du Réseau Scientifique et Technique (RST) du MEDDE pour réaliser des missions d’auscultation de leurs Ouvrages d’Art (OA). Dans la plupart des cas ces missions consistent en :

- un contrôle visuel d’ensemble aussi complet que possible avec une attention particulière sur certaines parties plus sensibles vis-à-vis du risque entraînant la détermination de l’aptitude au service. La recherche de pathologies, propre à chaque type d’ouvrage, et de leurs origines, se couple intimement au contrôle et débouche, si détection de désordres avec gravité, sur des propositions d’actions telles que : protection, travaux d’entretien courants ou spécialisés, réparations, investigations complémentaires allant jusqu’à la mise sous surveillance renforcée ou haute surveillance (monitoring)...
- la détermination des caractéristiques de durabilité de la structure et des différents matériaux constitutifs (Acier, béton, maçonnerie...). Ce travail fait plutôt suite à des inspections détaillées, qu’elles soient initiales, périodiques ou exceptionnelles (suite à accident ou incendie), des ouvrages quels qu’ils soient (ponts, murs de

soutènement, tranchées couvertes, ouvrages de signalisation verticale). Par exemple, les expertises :

- s’appuient sur des mesures de profondeur de carbonatation, de pénétration des chlorures, d’enrouillement,
- permettent l’évaluation de l’état des armatures actives ou passives, ainsi que l’évaluation des résistances mécaniques pour les ouvrages en béton.

En tout état de cause ces interventions nécessitent actuellement des moyens d’accès adaptés selon les cas : nacelles positives, nacelles négatives, fourgon aménagé, échafaudages, barques, etc. L’utilisation de drones demain pourrait, sous certaines limites que l’on pressent mais que l’expérience contribuera à confirmer, apporter une vraie plus value, en particulier pour les OA de grande hauteur ou d’accès difficile.

##### Objectif de la démarche

L’objectif double est de disposer d’une part d’un système rapide et flexible d’intervention s’intégrant facilement dans la circulation aérienne et donc limitant les perturbations de l’exploitation de la plateforme et d’autre part d’améliorer la connaissance de l’état de la chaussée afin d’optimiser les interventions de réparation.

Le drone peut offrir la possibilité d’une surveillance des dégradations ou des évolutions de la piste plus efficiente.

##### Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

Les interventions actuelles exigent la plupart du temps des moyens importants (nacelles positives, nacelles négatives, fourgon aménagé, échafaudages, barques...) qui en outre dans de nombreux cas pénalisent l’exploitation de l’ouvrage en exigeant la neutralisation d’une voie de circulation par exemple.

Les cas particuliers desdits OA de grande hauteur ou d'accès difficile doit être mis en évidence, de part l'intérêt important que revêt dans ces cas l'utilisation de drones. Cela peut aussi être le cas pour d'autres ouvrages assimilés ou parties d'ouvrage.

Le drone répond, par sa souplesse d'utilisation et sa capacité de positionnement aérien, à l'ambition d'une efficacité équivalente (à vérifier à ce stade) pour un coût et une flexibilité d'utilisation inférieure.

En résumé l'utilisation de drones semble efficace pour les raisons suivantes :

- Fournitures d'observations variées à l'aide d'un moyen peu contraignant et normalement peu coûteux,
- Facilité et rapidité d'intervention
- Possibilité de zoomer sur des endroits repérés comme douteux.
- Les caméras à utiliser sont désormais très légères et peuvent être embarquées sur des drones à faible charge utile donc peu contraignant et coûteux.

#### Consistance des missions des drones

- Vols selon des trajectoires adaptées aux mesures appropriées,
- Aptitude aux vols stationnaires en des points précis, préalablement définis.

#### Difficultés

- Technologiques : Pour les capteurs, mise au point et intégration des capteurs et système d'acquisition adaptés aux drones.
- Mais aussi difficultés d'insertion dans l'espace d'évolution pour les vols programmés du fait de la faiblesse ou l'absence du signal de la constellation de satellites, à l'intérieur ou bien même sous certaines parties « cachées » de l'ouvrage.
- Organisationnelles : Disponibilité de l'équipe (télépilote de sécurité et opérateur de la station au sol) pour faire voler le(s) drone(s).

#### Risques

Liés au vol

### ► Modalités de mise en œuvre

#### Matériels nécessaires

##### ► Types de drones

Nombreux vecteurs disponibles. Il s'agit d'opérer des drones plutôt de petites tailles compte tenu de la faible charge embarquée devenus assez communs. Les appareils à voilure tournante (gyrovions) sont incontournables.

##### ► Capteurs

Imagerie (multispectrale) habituelle désormais y compris hyperspectrale. L'enjeu technique, relevant du métier « RST », reste le calage des couleurs suivant le gradient de température à diagnostiquer.

#### Compétences techniques

##### ► Internes au RST

- Traitement des images permettant d'établir le diagnostic,
- Connaissance spécifique des matériaux et structures OA.

##### ► Externes au RST

- Opérateurs professionnels des drones,
- Systèmes de prises d'images.

#### Mise œuvre

Mise en œuvre dans le cadre des campagnes d'auscultations pour des gestionnaires de patrimoine en particulier.

VECTEUR Aérien						
Voilure	Masse totale	Charge utile	Moteur	Autonomie	Portée	Altitude max
Hélicoptère SURVEY Copter 1B IFSTTAR	16,4 kg	4,1 kg	Thermique 2T essence	1 h	3,6 km	2 500 m

VECTEUR Aérien							
CAPTEURS ET INSTRUMENTATION		SCENARIO DE VOL	STOCKAGE		TRAITEMENT Données / RST		
Existants	En cours de développement	DGAC	Vecteur	Base	RST	Spécifique RST	Externe
- Module de prise de vues visible et infrarouge - Dispositif de communication sans fil - Télémètre Laser - Télémètre radar		S1 et hors scénarios (sous protocole)	X	X			X

### ► EQUIPES ET CONTACTS

Référents CEREMA du domaine OA

CEREMA / Les unités OA présentes sur l'ensemble du territoire dans les Directions territoriales et la CDOA à la DGITM (Direction technique)

François DERKX et Jean-Luc Sorin - IFSTTAR



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Auscultation des chaussées aéronautiques



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Dans le cadre de la gestion des infrastructures aéronautiques, la réalisation des relevés de dégradations des chaussées est au cœur de la maintenance/gestion du patrimoine en lien fort avec la sécurité liée aux bonnes conditions d’exploitation des aéronefs.

Le relevé de dégradation est ainsi l’outil indispensable et le pilier de la gestion des infrastructures aéronautiques. Son suivi et son exploitation constituent l’élément déclencheur d’interventions d’auscultation plus importantes ou de travaux de réfection. Sur les plates-formes importantes, ce relevé intervient tous les 6 mois. A l’heure actuelle, il est réalisé par 2 techniciens circulant à pied sur les chaussées. L’intégration de ce dispositif dans l’exploitation de la plate-forme est complexe à organiser et la sécurité des agents et des aéronefs peut être mise en danger.

##### Objectif de la démarche

L’objectif double est de disposer d’une part d’un système rapide et flexible d’intervention s’intégrant facilement dans la circulation aérienne et donc limitant les perturbations de l’exploitation de la plate-forme et d’autre part d’améliorer la connaissance de l’état de la chaussée afin d’optimiser les interventions de réparation.

Le drone peut offrir la possibilité d’une surveillance des dégradations ou des évolutions de la piste plus efficace.

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

- Fournitures d’observations variées à l’aide d’un moyen peu contraignant et normalement peu coûteux,
- Facilité et rapidité d’intervention?
- Substitution à une intervention humaine délicate et peu valorisante?
- Possibilité de zoomer sur des endroits repérés comme douteux,
- Les caméras à utiliser sont désormais très légères et peuvent être embarquées sur des drones à faible charge utile donc peu contraignant et coûteux.

##### Consistance des missions des drones

- Vols selon des trajectoires adaptées aux mesures appropriées,
- Possibilité de vols à très basse altitude (quelques mètres au-dessus de la chaussée).

##### Difficultés

- Technologiques : Pour les capteurs, mise au point et intégration des capteurs et système d’acquisition adaptés aux drones.
- De sécurité publique : vol du drone à intégrer selon la disponibilité des pistes aéroportuaires. Cela nécessite une bonne coordination avec les autorités aéroportuaires et l’obtention d’autorisations.
- Juridiques : Besoin de l’autorisation de vol :
  - 1) zone règlementée temporaire (ZRT) auprès de la DGAC dans l’espace civil pour les vols hors vue et au-dessus de 150 m au-dessus du sol.
  - 2) accord avec le ministère de la Défense pour les vols dans l’espace militaire. Certification de pilote et de drone.

- Organisationnelles : Disponibilité de l'équipe (pilote de sécurité et opérateur de la station au sol) pour faire voler le(s) drone(s).

## ► Des usages spécifiques à haute valeur ajoutée

Propagation des inondations, suivi en temps réel de la propagation des inondations.

Suivi du trafic en temps réel de l'état des digues pluviales et maritimes

Mission de soutien de sécurité-sureté

Suivi de falaise en temps réel

....

Nous avons rassemblé ci-dessous des thèmes fédérateurs assortis de quelques commentaires :

**Auscultation de digues, de falaises, de forêts, après un événement météo afin d'apprécier la vulnérabilité, les risques encourus**

L'objectif double est de La résilience des territoires soumis à des risques naturels ou technologiques est un sujet actuellement en développement. Le RST peut apporter un appui technique lors d'événements éventuellement en urgence.

Il s'agit pour le RST de développer la « culture » du risque qui contribue à améliorer la résilience.

Les risques naturels résultent d'une exposition forte d'un territoire aux événements climatiques parfois violents comme ces dernières décennies (KLAUS, XYNTHIA,..).

Les drones peuvent rendre des services déterminants en missions de contrôle, pour par exemple, calculer le volume et déduire la granulométrie d'enrochements renforçant des digues, mais également grâce à la géolocalisation et la qualité des clichés, il permet de réaliser des rendus 3D de sites très fins et précis en faisant de la stéréophotographie. Les situations extrêmes suivantes doivent ainsi trouver des réponses améliorées de la part de l'administration en prévention comme en gestion grâce à l'utilisation de drones :

- inondations subites par les risques liés aux massifs montagneux (*mouvements de terrain, chutes de blocs et avalanches*).
- risque incendie devant l'ampleur de certains massifs forestiers soumis à des risques liés aux effets du changement climatique.

**Risques**   
Chute accidentelle du drone et collision avec un aéronef. Ces risques diminuent avec l'expérience de l'équipe.

## ► Modalités de mise en œuvre

**Matériels nécessaires**

### ► Types de drones

Nombreux vecteurs disponibles. Ils s'agit d'opérer des drones de petites tailles compte tenu de la faible charge embarquée. En outre des appareils à voilure fixe ou à voilure mobile plus souple d'utilisation (décollage, atterrissage) peuvent convenir.

### ► Capteurs

Imagerie y compris hyperspectrale, télédétection...

**Compétences techniques**

### ► Internes au RST

- Savoir-faire dans le diagnostic des chaussées routières et aéroportuaires
- Pour l'aspect matériel, une analogie pourra être faite avec les moyens actuels utilisés pour les relevés automatiques des chaussées routières
- Savoir-faire dans le domaine des systèmes de navigation à l'ENAC
- Savoir-faire dans le domaine de l'analyse d'images.

### ► Externes au RST

- Opérateurs professionnels des drones,
- Systèmes de prises d'images,
- Traitement des images

**Mise œuvre**

Mise en œuvre dans le cadre des campagnes de test et de mesure pour environ une dizaine d'heures par an. Les périodes de vol sont dictées par les besoins des utilisateurs (conditions météorologiques particulières pour une campagne dédiée à l'étude d'un phénomène particulier ; vols réguliers pour les applications opérationnelles...).

Le volume d'heures est à définir en lien avec les capacités des capteurs/stockage.

Matériel				Mise en œuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Multicopter	2 kg	Photo ou vidéo				X		X	X
Aile volante	2 kg	Photo ou vidéo				X		X	X

## ► EQUIPES ET CONTACTS

CEREMA / DterSO / Toulouse - Didier Treinsoutrot, Arnaud Mazars  
SNIA / STAC



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Suivi de la mégafaune dans les aires marines

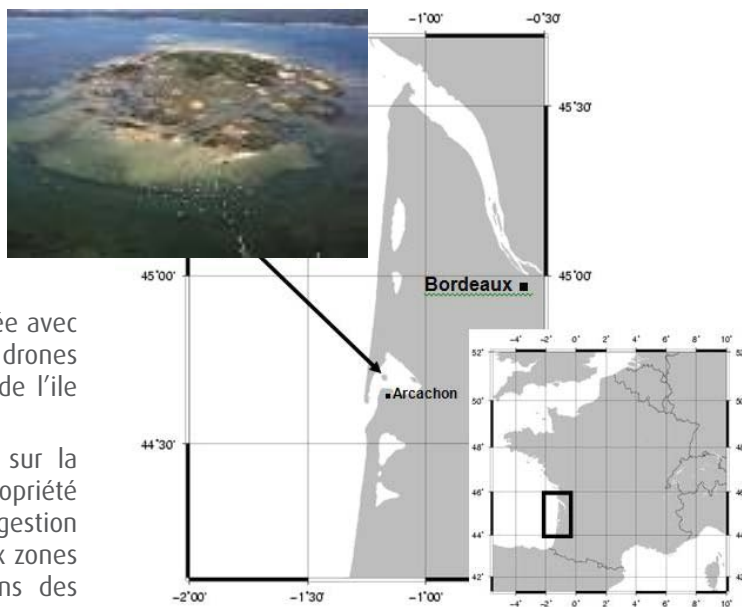
*Nota : la présente fiche a été rédigée à partir du rapport REDBIRD, société opérateur de drones qui a réalisé à la demande de l’Agence des Aires Marines Protégées (AAMP), la démonstration présentée. Les illustrations (photos /schémas) sont également issus de ce même rapport.*

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

La présente fiche est issue d’une première expérience/démonstration réalisée par l’Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) sous le pilotage de David Corman – en octobre 2014 à l’île aux oiseaux dans le bassin d’Arcachon (Gironde). La mission s’est déroulée avec le partenariat de la société opérateur de drones REDBIRD, dans le périmètre du site protégé de l’île aux Oiseaux (bassin d’Arcachon, Gironde).

L’île aux Oiseaux est une petite île située sur la commune de La Teste-de-Buch. Elle est la propriété du Conservatoire du littoral qui en a confié la gestion à la Mairie de la Teste-de-Buch. Au total, deux zones de levé ont été survolées lors des missions des 24 septembre et 2 octobre 2014.



##### Objectif de la démarche

L’objectif était de mener une expérimentation de l’utilisation de drones dans le recueil d’informations utiles à l’exercice des missions de l’AAMP. Il s’agissait pour l’expérience ici relatée de réaliser une campagne d’acquisition photogrammétrique par drones afin d’établir un recensement de l’avifaune sur le site de l’île aux Oiseaux. Cette mission devait se dérouler à Arcachon sur deux jours et participer initialement à l’évaluation des trois applications suivantes :

- le suivi des populations d’oiseaux au sol
- la cartographie des habitats naturels
- la cartographie des parcs à huîtres (cette application n’a finalement pas été testée)

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

L’auscultation régulière d’une zone instable selon la même procédure à l’aide d’un drone permet de compléter le suivi de son évolution temporelle :

- la détection de mouvements (ouverture de fractures, etc.) ou d’éboulements par corrélation d’images à partir de photographies aériennes prises avec un appareil embarqué,
- la génération de Modèles Numériques de Terrain (MNT), puis après traitement de MNT différentiels, au moyen d’un Lidar embarqué. On arrive actuellement en utilisant des points de référence positionnés hors zones de déformations, à des précisions infra centimétriques, ce qui est suffisant dans la plupart des cas.

## ■ Consistance des missions des drones

Suite aux levés réalisés par les drones, la société opérateur a mis en place des chaînes de traitement visant à :

### 1. Cartographier les grands types d'habitats naturels de l'île

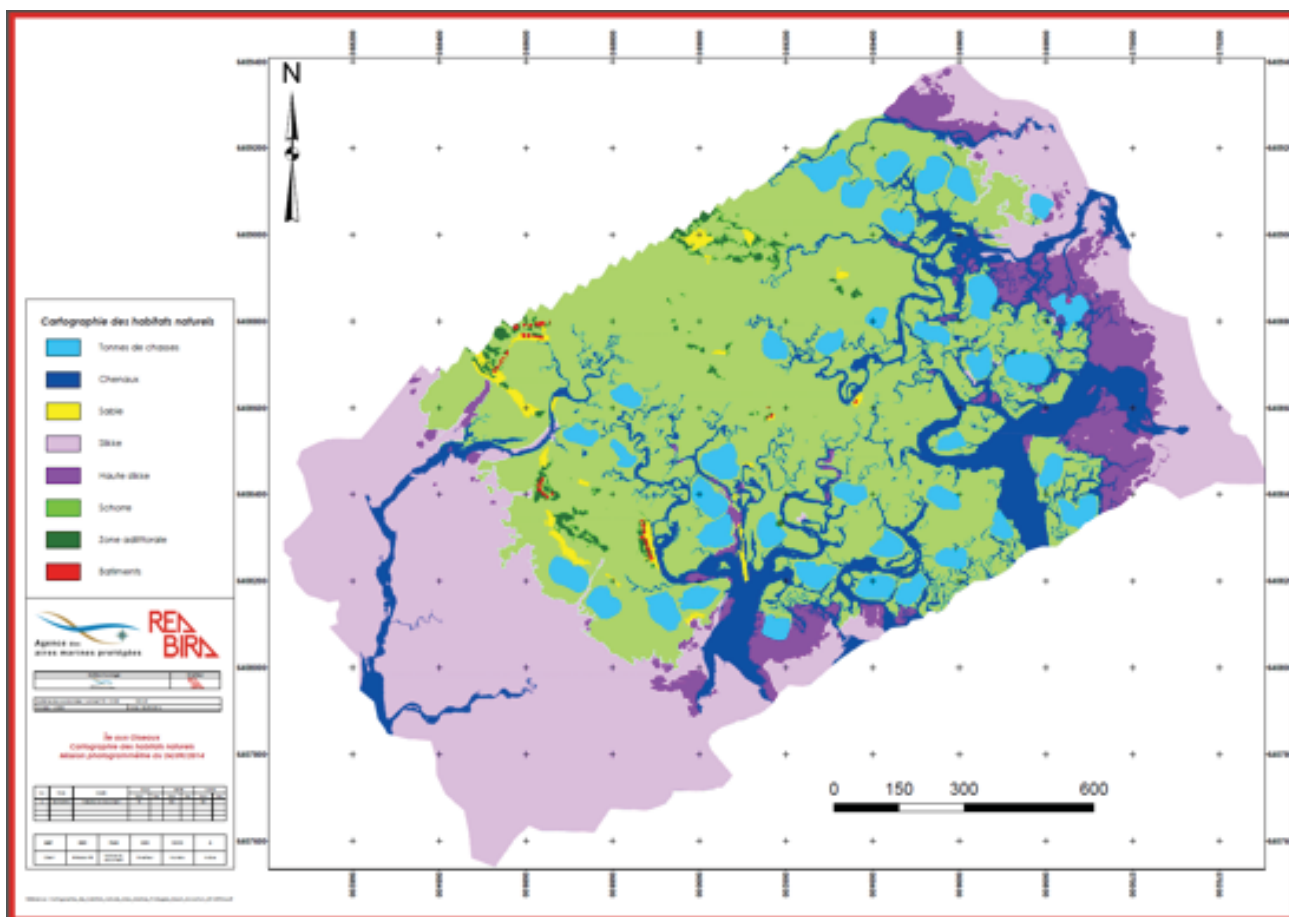
La méthodologie développée a permis de discriminer les différents types d'habitats en utilisant des techniques de télédétection relevant d'une approche dite « objet ». Dans ce type d'approche, l'image est segmentée en objets (groupements de pixels connexes), objets auxquels est ensuite attribuée une classe d'habitat naturel en fonction de critères d'appartenance basés sur des propriétés radiométriques ou morphologiques.

Les huit types d'occupation du sol présents dans la classification établie par l'AAMP et Redbird sont les suivants :

Tonnes de chasses / Chenaux / Slikke / Haute slikke / Schorre / Zone adlittorale / Bâtiments / Sables.

Cette classification a été réalisée à partir de l'orthophotographie issue des images acquises par le drone DT18 dans le visible. Ces données ont également permis la production d'un Modèle Numérique de Surface, duquel ont été extraites les valeurs des pentes, utilisées pour la classification des chenaux. De plus, il est à noter que la résolution spatiale native des données (4 cm) a été dégradée à 25 cm, taille adaptée à l'étude des grandes classes d'occupation du sol.

Dans le cadre de cette étude, Redbird a eu recours à des processus de télédétection dits de « segmentation » et de « classification ». Les paramètres utilisés dans les différentes étapes de traitements ont été déterminés de manière à optimiser la discrimination des différentes classes d'occupations du sol, qui diffèrent notamment dans leur radiométrie et leur géométrie.



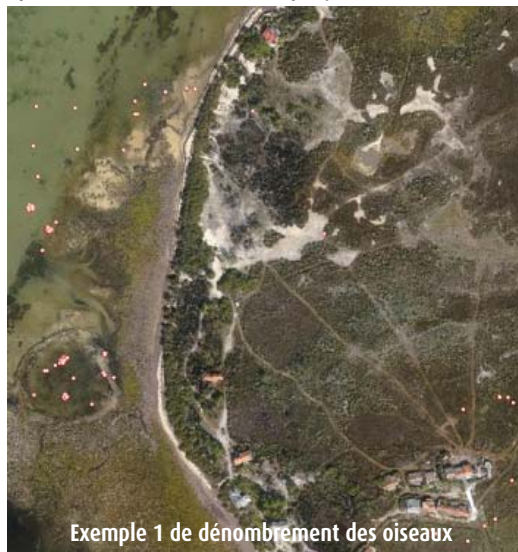
### 2. Dénombrer les oiseaux présents sur site lors des vols

Ce dénombrement a été réalisé à partir de l'orthophotographie issue des données acquises par le Gatewing X100, et d'une résolution spatiale de 4cm. La méthodologie développée par la société opérateur des drones s'est basée sur une première étape

d'accentuation des contrastes sur l'orthophotographie. Les oiseaux étant blancs ils ressortent en effet fortement sur le paysage. Les traitements mis en place dans la suite de la chaîne ont permis dans un premier temps d'isoler les pixels présentant de forts contrastes avec leur environnement, puis les oiseaux plus précisément.



Les résultats obtenus ont été restitués à l'AAMP sous format vectoriel (shapefile) dans lequel chaque oiseau est représenté par un point géoréférencé, intégrable à n'importe quel logiciel de SIG. Une cartographie au format PDF était également proposée pour la représentation des habitats naturels. Les données sont géoréférencées dans le système de coordonnées projetées RGF 93 – Lambert 93 (ESPG 2154).



Exemple 1 de dénombrement des oiseaux



Exemple 2 de dénombrement des oiseaux

### Difficultés

L'expérience menée a permis de mettre en évidence l'impact des conditions météorologiques pour les vols des drones. Ainsi par exemple selon une étude météorologique menée la veille du premier vol programmé, les conditions ont été jugées favorables pour un vol en DT18, mais pour un vol en Novadem, la vitesse du vent se rapprochait de la limite opérationnelle conseillée par le constructeur. Ce bulletin datant de la veille de la mission, les conditions de vols étaient encore susceptibles d'évoluer. Au moment du décollage du Novadem U130, les conditions de vent étaient propices à la réalisation de la mission.

### Risques

Chute accidentelle du drone et collision avec un aéronef.  
Ces risques diminuent avec l'expérience de l'équipe.

## ► Modalités de mise en œuvre

Matériels nécessaires

### Types de drones

Examen local régulier en cas de problème identifié : multicopter  
Zone de décollage à localiser, hors zone à risque et proche des zones sensibles du massif.

### Delair-Tech DT18

Le drone Delair-Tech DT18 de catégorie D (<2 kg) bénéficie du titre de navigabilité B03-NO/NAV. Dans le cadre du scénario réglementaire S4, ce drone évolue dans les conditions suivantes :

- Vol hors zone peuplée
- Distance horizontale maximale pouvant aller jusqu'à 15 km du télépilote
- Hauteur de vol inférieure à 150 m au-dessus du sol ou des obstacles artificiels.



Poids	2 kg
Largeur	180 cm
Longueur	118 cm
Epaisseur	10 cm
Matériaux	Carbone et Fibres

Le DT18 permet une planification du vol au préalable rendant la phase opérationnelle 100% automatique et sécurisée et ce du décollage à l'atterrissage. Le vecteur suit des points de passage formalisés par leurs coordonnées en espace 3D, appelés waypoints. Le GPS intégré permet d'avoir des prises de vue géoréférencées, de précision centimétrique. Le DT 18 nécessite la présence de deux personnes au sol dont un télépilote et un opérateur. Le pilote vérifie le bon déroulement de la mission via la station sol et l'opérateur aide à la mise en œuvre du drone.

### Novadem U130

Le drone Novadem U-130, drone de catégorie E ( $\leq 4$  kg) bénéficie de la déclaration de conformité au type B/067-NO/NAV. Dans le cadre des scénarios réglementaires S1 et S3, ce drone évolue dans les conditions suivantes :

- Distance horizontale maximale de rayon de 100 m du télépilote
- Hauteur de vol inférieure à 150 m au-dessus du sol.

Le U130 est un vecteur adapté pour l'acquisition de données photogrammétriques. Il constitue une bonne solution pour le traitement d'imagerie notamment en balayage vertical (inspection d'ouvrage, de parois rocheuses) et en acquisition de données nécessitant une résolution spatiale fine.



Poids	3,1 kg
Largeur	120 cm
Longueur	120 cm
Epaisseur	20 cm
Matériaux	Carbone et Fibres

### Gatewing X100

Le drone Gatewing X100 de catégorie D ( $\leq 2$  kg) bénéficie de l'autorisation spécifique DSAC/NO/NAV12-0535. Dans le cadre du scénario réglementaire S2, ce drone évolue dans les conditions suivantes :

- Vol hors zone peuplée (250 m de toute habitation)
- Distance horizontale maximale de rayon de 1 km du télépilote
- Hauteur de vol inférieure à 150 m au-dessus du sol ou des obstacles artificiels.

Le X-100 permet une planification du vol au préalable, rendant la phase opérationnelle 100% automatique et sécurisée, du décollage à l'atterrissage. Le vecteur suit des points de passage formalisés par leurs coordonnées en espace 3D,- waypoints. Le GPS intégré permet d'avoir des prises de vue géoréférencées, de précision centimétrique.



Poids	2 kg
Largeur	100 cm
Longueur	60 cm
Epaisseur	10 cm
Matériaux	Carbone et EPP

### Capteurs

Les données récoltées lors des vols ont permis d'obtenir une modélisation tridimensionnelle des zones survolées. Afin d'obtenir un meilleur géoréférencement du modèle 3D, il est préférable d'utiliser des points de calage positionnés sur la zone de vol et géoréférencés avec précision. Cette étape permettrait de produire des Modèles Numériques d'Élévation (de Surface ou de Terrain) robustes, d'intérêt pour la cartographie des habitats naturels. L'acquisition de données d'élévation précises ouvrirait également la voie à d'autres applications, telles que le suivi de l'évolution du relief (dans le cadre de missions récurrentes).

Il serait également intéressant d'utiliser des données possédant une résolution spatiale encore plus fine (taille de pixel plus petite), de manière à faciliter l'étape de photo-interprétation des images pour l'identification des oiseaux. Ceux-ci pourraient être plus formellement identifiés grâce à leur forme, et les espèces d'oiseaux éventuellement différenciées. Les indicateurs de forme (taille, silhouette) et de couleur obtenus avec des données plus fines seraient plus significatifs et pourraient ainsi être intégrés aux processus automatisés d'identification des oiseaux.

L'utilisation de bandes spectrales supplémentaires pourrait aider à discriminer la radiométrie des oiseaux de celles de surfaces ressemblantes, ce qui permettrait au final de diminuer considérablement la part de faux positifs dans les résultats obtenus. Par exemple, certaines surfaces végétalisées et fortement réfléchissantes sont confondues avec les oiseaux, alors qu'elles pourraient aisément être discriminées en utilisant des données dans le proche infra-rouge, domaine spectral dans lequel la végétation seule présente une forte réponse. L'acquisition de données dans le proche infrarouge, qui ont donc un fort pouvoir discriminant sur les surfaces végétalisées, serait également d'une grande utilité pour la cartographie des habitats naturels.

Les données **hyperspectrales** sont des données d'une résolution spectrale très fine (plus fine que celle des données multispectrales). En choisissant judicieusement les bandes spectrales étudiées, il serait possible d'améliorer les résultats de classification des surfaces. Il est cependant à noter que la très haute résolution spectrale des données hyperspectrales s'effectue au détriment de leur résolution spatiale, et qu'elles ne seraient donc pas optimales pour le dénombrement des oiseaux mais plutôt pour la cartographie des sols.

## ► Compétences techniques

### Internes au RST

- Traitement des images permettant d'établir les comptages et l'analyse des sols. Toutefois les traitements développés par les experts techniques reposent sur des processus largement automatisés, auxquels des étapes manuelles nécessaires ont été greffées, notamment lors des processus de vérification des résultats.

### Externes au RST

- Opérateurs professionnels des drones,
- Systèmes de prises d'images.

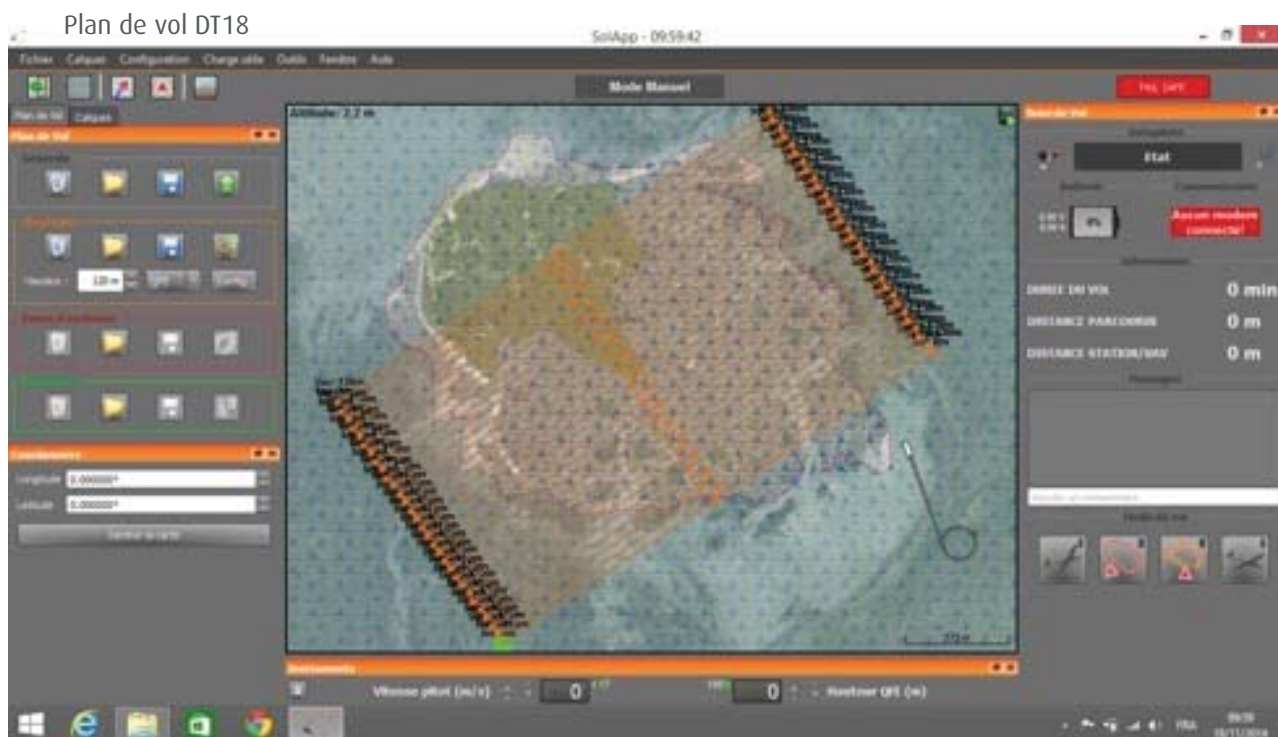
## ► Mise oeuvre

### ■ Le vol du Novadem U130

Ce vecteur a été utilisé, conjointement au capteur photographique Sony A5000. Les vols ont permis d'acquérir des images de résolution spatiale centimétrique ainsi que des vidéos HD, qui ont été transmises en supplément à l'Agence des Aires Marines Protégées. Ces photos et vidéos permettent d'observer nettement des oiseaux présents sur l'île lors des vols, mais n'ont pas fait l'objet de traitements spécifiques. Le décollage s'est effectué depuis la plage. L'appareil est monté à 10 m d'altitude et a commencé sa translation vers un site propice à l'observation d'oiseaux grâce au retour vidéo qui a été utilisé pour leur repérage. Cependant, le flux vidéo étant dégradé pour pouvoir assurer la bonne transmission des données, l'observation des oiseaux s'est avérée délicate. Par la suite, le drone est monté à 40 m d'altitude pour la prise de photographies de la zone et l'acquisition des premières données à traiter.

Ces vols ont aussi été l'occasion d'évaluer le dérangement des oiseaux généré par les drones. Deux descentes progressives ont été réalisées au-dessus d'un groupe d'aigrettes. À 25 m, les oiseaux montrent des signes d'agitation et s'envolent à 20 m. D'autres espèces d'oiseaux peuvent, au contraire, défendre leur territoire au lieu de fuir. Au cours d'un vol à basse altitude, un goéland a essayé d'attaquer le drone.

Le vent s'étant intensifié, la décision de faire atterrir l'aéronef a été prise. Le vent a compliqué le retour et l'atterrissage du drone dont un des bars a touché le sol. Les télépilotes ont donc décidé de ne plus utiliser ce vecteur, sensible au vent, pour la fin de mission. Le vol a duré 12 minutes.



Le lancement à la main s'est effectué depuis la plage. Le vol, qui avait été programmé pour faire évoluer le drone à 130 m de hauteur, s'est correctement déroulé. Il a duré 1h10. Le point d'atterrissage avait été programmé sur la plage. Au moment de l'atterrissage, le drone a reçu du sable imbibé d'eau de mer ce qui a endommagé le capteur qui n'était pas fermé et non étanche. Il a ensuite été impossible de redémarrer le drone ce qui a découlé sur l'incapacité de l'opérer pour la fin de la mission.

## ■ Le vol du Gatewing X100

Un seul vol a été effectué en raison des contraintes imposées par les horaires de marée. Le décollage a été effectué depuis l'intérieur de l'île. Le vol s'est déroulé parfaitement et a permis de faire l'acquisition de données sur la côte ouest de l'île. Le vol s'est opéré à une hauteur de 100 m et a duré 40 min.

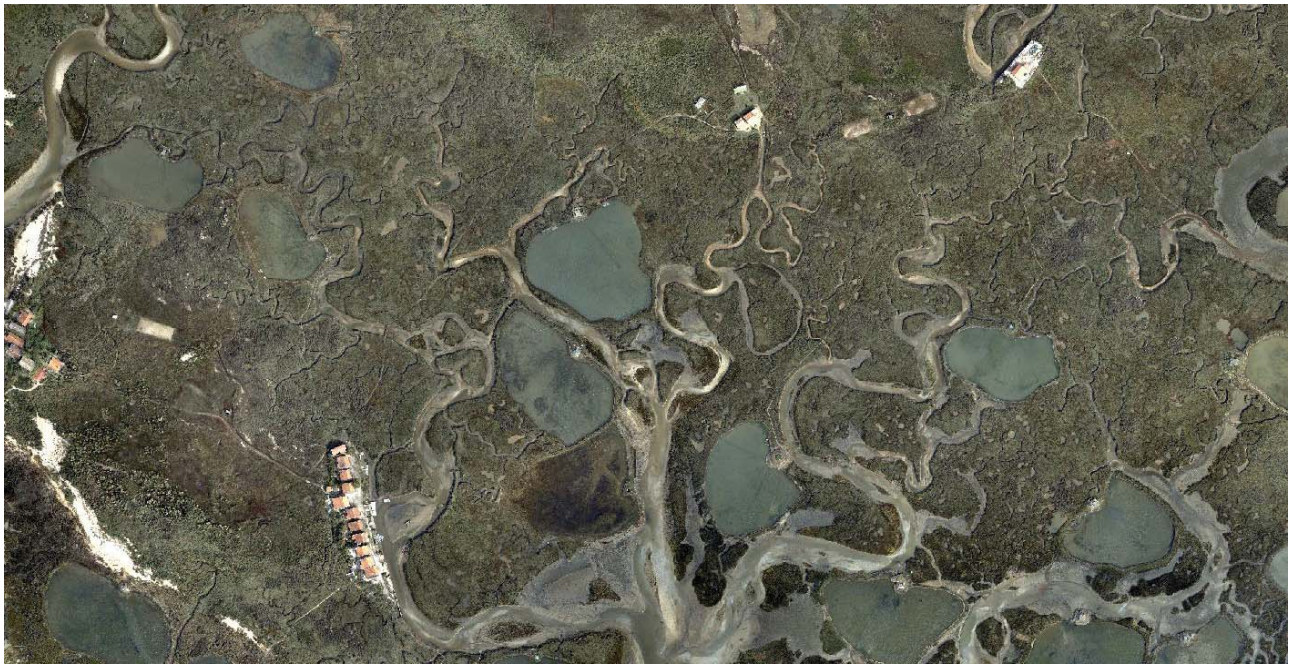


Matériel				Mise en oeuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Novadem U130	< 2 kg	Appareil photo SONY A5000		S4	Minimum 12min				
Delair-Tech DT18	3,1 kg	Appareil photo		S1 et S3	Minimum 70min				
Gatewing X100	2 kg	Appareil photo		S2	Minimum 40 min				

## ► Equipes et contacts

Agence des Aires Marines - David Corman

CEREMA / DterSO /Toulouse - Didier Treinsoutrot, Jean-Paul Fideli





## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Suivi de l’évolution des littoraux sableux



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Les côtes sableuses regroupent divers milieux littoraux très dynamiques, à savoir des plages, dunes et embouchures. Ces milieux sont soumis d’une part à des aléas considérables en termes d’érosion et de submersions qui se manifestent en particulier sous l’effet des vagues et du vent associés aux tempêtes et cyclones. D’autre part, ils concentrent des enjeux à la fois écologiques et humains importants, compte-tenu du fort intérêt patrimonial des habitats qui les constituent mais aussi de la forte attractivité de ces espaces pour les populations.

En France métropolitaine, il est considéré qu’un quart des littoraux sont en recul et que la moitié du linéaire sableux est affecté par l’érosion. Les régions Aquitaine et Languedoc-Roussillon constituées d’un continuum sableux figurent parmi les plus touchées.

La Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte mise en œuvre par le MEDDE, recommande la mise en place de suivis de l’évolution du littoral afin d’identifier les territoires à risque érosion et gérer au mieux ces phénomènes.

##### Objectif de la démarche

L’objectif de l’utilisation des drones sur les littoraux sableux est de pouvoir produire à partir de prises de vue photographiques des indicateurs d’évolution tels

que la variabilité du trait de côte, les gains et pertes en volumes de sable, le rôle du couvert végétal ou des aménagements, etc.

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

Quatre raisons principales conduisent au recours de drones :

- l’accessibilité à certaines zones ;
- la meilleure représentativité 3D des morphologies complexes ;
- la productivité avec deux produits générés par un même levé (orthophotographie et MNS) ;
- les coûts d’exploitation à l’échelle locale.

L’utilisation des drones permet tout d’abord de pouvoir accéder à des espaces sur lesquels les levés terrestres sont compliqués. Il s’agit en particulier des zones de dunes où la végétation et l’implantation de brise-vents (ganivelles) limitent les possibilités de déplacement au sol, en particulier avec un véhicule. Dans les embouchures également, il est souvent difficile d’accéder à l’autre rive sans faire de détours importants.

En outre, les morphologies tridimensionnelles complexes, en particulier dans les embouchures dont les flèches sableuses sont très dynamiques, sont difficilement représentables depuis le sol de manière fidèle et le recours à un moyen aérien léger et aisé à mettre en œuvre représente un vrai apport.

Par ailleurs, la possibilité de disposer de deux produits permet de cumuler les informations sur la nature du sol et sa topographie de manière synchrone.

Enfin, du moment que le levé concerne une zone relativement restreinte, les coûts de mise en œuvre sont inférieurs aux autres porteurs aériens.

##### Consistance des missions des drones

Les zones littorales concernées sont préférentiellement de taille réduite (quelques dizaines d’hectares maximums). Elles peuvent être relativement linéaires s’il s’agit de plages étroites soit plus larges si elles comprennent des secteurs de dunes notamment. Cela peut conditionner le type de drone utilisé.

Les vols se font à vue sur la base d'un plan de vol préétabli de manière à avoir une bonne superposition entre les passages dont la finalité est de couvrir in extenso la zone. La résolution est relative à la hauteur de vol (qui est elle-même réglementée).

#### Difficultés

- **Technologique** : le besoin de positionner et géoréférencer précisément des repères au sol pour la photogrammétrie constitue une contrainte de mise en œuvre ;
- **De sécurité publique** : la zone doit être balisée et dépourvue d'usagers ;
- **Réglementaires** : application de la réglementation de l'aviation civile ;
- **Logistiques** : fenêtre météo réduite (sans pluie, sans vent trop forts).

#### Risques

- Chute et détérioration de l'appareil, y compris dans l'eau (difficultés à le récupérer) ;
- Accident avec une personne.

#### Utilisation connexes

- Comptage de la fréquentation (si dérogation de vol en zone peuplée)

### ► Modalités de mise en œuvre

#### Matériels nécessaires

- Types de drones
  - Aile planante pour des zones étirées sur de longs linéaires ;
  - Multicoptère pour des zones plus larges à quadriller.
- Capteurs
  - Appareil photographique ;
  - Lidar ultra-léger.

#### Données collectées et post-traitements

- Données brutes : photographies ; nuage de points ;
- Traitements photogrammétriques : mosaïquage, géoréférencement, orthorectification, stéréorestitution, interpolation ;...
- Traitement de nuage de points : mosaïquage, calibration, interpolation ;
- Produits dérivés : Orthophotographie ; MNS.

#### Les organismes pertinents sur le sujet

- Mise en œuvre et traitement (internes au RST) : BRGM, IGN ;
- Utilisateurs finaux : gestionnaires du littoral et des risques côtiers (DREAL, DDTM, Collectivités).

#### Mise en œuvre

- **Volet recherche** : améliorer le géoréférencement des données (via hardware et software) ;
- **Volet opérationnel** : pérenniser les levés de monitoring et développer un dispositif d'intervention post-événementiel.

#### Expérience dans ces applications

- Campagne expérimentale (multicoptère/lidar) sur la dune du Barcarès (BRGM/L'Avion Jaune – juin 2014) ;
- Campagnes opérationnelles (multicoptère/photo) sur les dunes et embouchures de l'Observatoire de la côte sableuse catalane (BRGM/PMCA/ Ecocéanodrone – sept. 2014, avril 2015) ;
- Projet DRONE2COAST du dispositif CAPTIVEN sur l'amélioration des algorithmes de géoréférencement et de corrélation massive des nuages de points issus de levés drones (BRGM/ L'Avion Jaune/IGN)

Matériel				Mise en oeuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Aile				S1 ou S2		x			
Multicoptère		Appareil photo	LIDAR	S1		x			

### ► EQUIPES ET CONTACTS

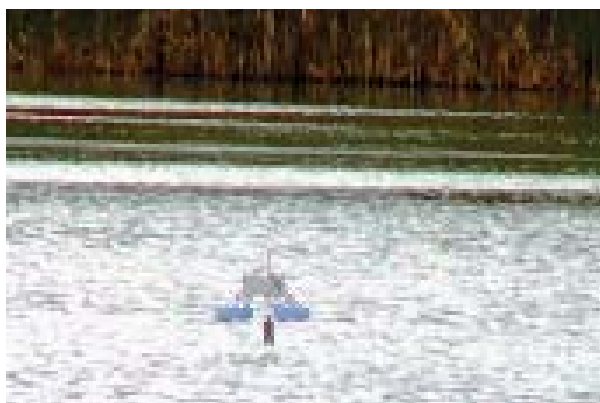
BRGM (Ywenn De la Torre)  
IGN (Marc Pierrot-Deseilligny)



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Surveillance des proliférations phytoplanctoniques  
dans les milieux aquatiques lenticques



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Les lacs et les réservoirs sont très nombreux à la surface de notre planète. Le nombre de ceux dont la surface est supérieure à 0,1 ha est d’ailleurs estimé à 64 millions, ce qui représente une couverture totale d’environ 3,8 millions de km<sup>2</sup> (McDonald et al. 2012). En ce qui concerne les lacs de barrage, leur nombre ne cesse d’augmenter, en réponse à la demande croissante d’eau pour la consommation, l’irrigation et l’hydroélectricité (Seitzinger et al., 2010). La dégradation de la qualité de l’eau dans nombre de ces écosystèmes aquatiques, notamment les proliférations phytoplanctoniques, perturbe les usages qui sont faits de ces systèmes et impose une surveillance régulière.

La plupart des proliférations phytoplanctoniques dans les écosystèmes d’eau douce est due aux cyanobactéries. Ces microorganismes perturbent profondément le fonctionnement écologique et les usages de ces milieux car plusieurs espèces peuvent produire des toxines dangereuses pour la santé animale et humaine. Les risques sanitaires générés par ces toxines nécessitent la mise en place d’une surveillance régulière dans les plans d’eau utilisés pour la production d’eau potable ou pour les activités récréatives (Chorus and Bartram, 1999) afin de limiter les risques d’exposition aux cyanotoxines pour l’Homme.

##### Objectif de la démarche

Les limites d’utilisation et de mise en œuvre des dernières approches incombent la nécessité de développer un nouveau système de surveillance des plans d’eau, basé sur l’utilisation d’un drone équipé d’une plateforme porteuse d’instruments interchangeable (projet OSS-Cyano, ANR ECO-TS). Ce système permettra en particulier, des mesures spatialisées sur l’ensemble de la surface du plan d’eau grâce à un capteur de réflectance adapté à la détection des cyanobactéries. Les mesures de ce capteur spécifique seront calibrées par les mesures de deux spectrophotomètres et pourront être complétées par des mesures in situ réalisées par une sonde multi-paramètres. De plus, le prélèvement d’échantillons dans la colonne d’eau permettra des analyses ultérieures en laboratoire. Les mesures de réflectance alimenteront le système de surveillance du plan d’eau. En cas de dépassement d’un seuil de biomasse cyanobactérienne pré-établi dans une région du plan d’eau, une modélisation prédictive pourra être mise en œuvre afin de prévoir l’extension de la prolifération dans les jours suivants et la menace éventuelle d’une zone à risque : prise d’eau, zone de baignade...

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

Les limites d’utilisation et de mise en œuvre des dernières approches incombent la nécessité de développer un nouveau système de surveillance des plans d’eau, basé sur l’utilisation d’un drone équipé d’une plateforme porteuse d’instruments interchangeable (projet OSS-Cyano, ANR ECO-TS). Ce système permettra en particulier, des mesures spatialisées sur l’ensemble de la surface du plan d’eau grâce à un capteur de réflectance adapté à la détection des cyanobactéries. Les mesures de ce capteur spécifique seront calibrées par les mesures de deux spectrophotomètres et pourront être complétées par des mesures in situ réalisées par une sonde multi-paramètres.



De plus, le prélèvement d'échantillons dans la colonne d'eau permettra des analyses ultérieures en laboratoire. Les mesures de réflectance alimenteront le système de surveillance du plan d'eau. En cas de dépassement d'un seuil de biomasse cyanobactérienne pré-établi dans une région du plan d'eau, une modélisation prédictive pourra être mise en oeuvre afin de prévoir l'extension de la prolifération dans les jours suivants et la menace éventuelle d'une zone à risque : prise d'eau, zone de baignade...

### Consistance des missions des drones

Le système de surveillance des proliférations de cyanobactéries aéroporté par un drone est constitué d'une plateforme permettant d'embarquer un dispositif de spectrophotométrie, un capteur de réflectance, une sonde multi-paramètres incluant chlorophylle a, phycocyanine et température de l'eau et un dispositif d'échantillonnage de la colonne d'eau. Outre le capteur optique de réflectance adapté aux cyanobactéries, l'innovation de ce système tient à la possibilité de réaliser de façon concomitante des mesures dans la colonne d'eau et un échantillonnage permettant ensuite des analyses approfondies en laboratoire.

## ► Modalités de mise en oeuvre

### Matériels nécessaires

#### ► Types de drones

- Le drone utilisé dans le projet OSS-CYANO a été adapté au suivi des milieux aquatiques dans le cadre d'un projet antérieur, le projet QUADRO, financé par l'Institut Carnot VITRES (Innovation dans la Ville, les Infrastructures de Transport, les Réseaux, l'Environnement et les Services). Dans le cadre du projet QUADRO, a été développé un système adaptable sur le drone comprenant : (1) un module de prise de vues (visible et infrarouge), (2) un flotteur instrumenté, (3) un servo-treuil associé à une sonde de mesure, (4)

un dispositif d'échantillonnage d'eau en plusieurs profondeurs, (5) un dispositif de communication sans fil, (6) une Interface Homme Machine (IHM). Ce dispositif a fait l'objet d'un brevet et est présenté dans une autre communication (Derx et Sorin, 2015).

- La plateforme, qui outre les équipements de mesure (dispositif de spectrophotométrie, capteur de réflectance, sonde multi-paramètres et système d'échantillonnage) comprend également l'ensemble assurant le contrôle commande. Sur chaque équipement, l'acquisition et la transmission des données seront autonomes facilitant leur intégration sur tous modèles de drones ayant la charge d'emport suffisante.

#### ► Capteurs

- Dans le projet OSS-Cyano l'évolution du drone porte sur le développement d'une nouvelle plateforme permettant l'intégration d'un capteur optique de réflectance adapté à la détection des cyanobactéries. Ce capteur est basé sur la spécificité des propriétés d'absorption et de réflexion des pigments caractéristiques des cyanobactéries. La calibration du capteur de réflectance embarqué, basée sur la mise au point d'algorithmes spécifiques, s'appuiera sur des mesures in situ de spectrophotométrie, de chlorophylle-a et de phycocyanine fournies par des sondes et par des analyses sur des prélèvements d'eau réalisés de façon concomitante aux mesures du capteur embarqué.

La possibilité d'une quasi-simultanéité des mesures par les différents capteurs et de l'échantillonnage in situ favorisera l'atteinte de deux objectifs : d'une part une calibration robuste du capteur de réflectance et d'autre part, grâce à la complémentarité de l'ensemble des données, une évaluation fiable de la distribution spatiale, horizontale et verticale, des cyanobactéries.

Matériel		Mise en oeuvre					
CAPTEURS ET INSTRUMENTATION		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données / RST	
Existants	En cours de développement	DGAC	Vecteur	Base	RST	Spécifique RST	Externe
- Module de prise de vues visible et infrarouge - Dispositif de communication sans fil - Flotteur instrumenté - Servo-treuil associé à une sonde de mesure (conductivité, turbidité, température, pression) - Dispositif d'échantillonnage d'eau - Interface Homme Machine (IHM) spécifique	- Capteur de réflectance (adapté aux cyanobactéries) - Dispositif de spectrophotométrie - Nouvelle sonde de mesure (conductivité, Conductivité, Température de l'eau, Turbidité phycocyanine)	S1 et hors scénarios (sous protocole)	X	X			X

VECTEUR Aérien						
Voilure	Masse totale	Charge utile	Moteur	Autonomie	Portée	Altitude max
Hélicoptère SURVEY Copter Copter 1B IFSTTAR	16,4 kg	4,1 kg	Thermique 2T essence	1h	3,6 km	2 500 m

## ► EQUIPES ET CONTACTS

François DERKX (IFSTTAR francois.derx@ifsttar.fr), Brigitte VINÇON-LEITE (ENPC bvl@leesu.enpc.fr), Bruno J. LEMAIRE (ENPC bruno.lemaire@leesu.enpc.fr), Kamel SOUDANI (Lab ESE kamel.soudani@u-psud.fr), Catherine QUIBLIER (MNHN quiblier@mnhn.fr), Catherine FREISSINET (ARTELIA Catherine.FREISSINET@arteliagroup.com), Simon CHOLLET (CEREEP simon.chollet@ens.fr), Béatrice DERENCIERE (CEREEP), Laurent SEGUY (IFSTTAR), Stéphane BUTTIGIEG (IFSTTAR), Bruno TASSIN (ENPC), Jean-Luc SORIN (IFSTTAR jean-luc.sorin@ifsttar.fr), Jean-François HUMBERT (IEES humbert@biologie.ens.fr).



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Mesures météorologiques



#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Mesures météorologiques en altitude dans l’atmosphère à partir d’un drone instrumenté pour la recherche scientifique (compréhension de la physique atmosphérique) et la météorologie opérationnelle (prévision du temps).

##### Objectif de la démarche

La recherche en sciences de l’atmosphère a besoin de moyens pour aller observer les phénomènes météorologiques en altitude. Ces moyens sont aujourd’hui essentiellement le ballon sonde (ballon gonflé à l’hélium emportant une sonde perdue de faible poids) et l’avion instrumenté. Le premier est relativement peu coûteux et simple à mettre en œuvre mais les mesures accessibles sont très limitées car les capteurs embarqués doivent être très légers et de faible poids. La trajectoire du porteur est par ailleurs fixée par les vents et non contrôlable. L’avion instrumenté ouvre en comparaison l’éventail des mesures possibles puisque les instruments embarqués peuvent être lourds et beaucoup plus gourmands en énergie. Cependant, l’heure de vol coûte cher (plusieurs milliers d’euros) et certains domaines de l’atmosphère demeurent inaccessibles (vallées étroites, vols à quelques mètres au-dessus de la mer ou dans le brouillard...).

Le drone apparaît comme une solution intermédiaire intéressante. Les charges utiles restent limitées mais sont plus importantes que sur un ballon sonde, les capteurs embarqués sont récupérés, les trajectoires du porteur sont pilotées (ce qui permet le suivi d’un phénomène météorologique au cours de son développement par exemple), et des vols dangereux pour les avions peuvent être envisagés. La miniaturisation des capteurs et des moyens d’acquisition permet de plus d’envisager à terme sur drone des mesures qui ne sont aujourd’hui réalisables que sur avion. À terme les drones pourraient être déployés dans le réseau opérationnel de Météo-France en remplacement ou en complément des moyens de radiosondages. On peut envisager une flotte de drones préparés à l’avance et réalisant selon un programme prédéfini des sondages verticaux de l’état de l’atmosphère jusqu’à 4 ou 5km d’altitude pour un coût moindre qu’un radiosondage.

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

- Fournitures d’observations variées de l’atmosphère en altitude à l’aide d’un moyen beaucoup moins coûteux que les avions de recherche.
- Possibilité de vols en formation pour une observation tridimensionnelle et/ou la combinaison de capteurs de types différents délivrant des informations complémentaires.
- Possibilité de voler dans des espaces inaccessibles (zones contaminées, brouillard, à très basse altitude...)
- Possibilité d’embarquer des charges utiles pesant jusqu’à quelques kilogrammes (contre 250g max. avec un ballon sonde).

##### Consistance des missions des drones

Dans un contexte de recherche scientifique, drones mis en œuvre pendant des campagnes d’observations limitées dans le temps et dans l’espace. Vols selon des trajectoires adaptées au phénomène que l’on cherche à observer.

Possibilité de vols en formation et de vols adaptatifs (par exemple, le drone repère une cellule convective et s'y maintient alors que celle-ci se développe et se déplace avec le vent). Possibilité de vols à très basse altitude (quelques mètres au-dessus de la surface de la mer par exemple).

Dans un contexte opérationnel, vol au départ d'un point fixe à intervalles de temps réguliers (de l'heure à quelques heures). Pour chaque vol, le drone cherche à réaliser un profil vertical en spiralant autour de sa base jusqu'à des altitudes de 4 ou 5km et revient si possible à son point de départ pour reconditionnement et nouveau vol.

### Difficultés

#### ► technologiques

- Pour les capteurs : mise au point et intégration des capteurs et système d'acquisition adaptés aux drones. L'intégration se fait au cas par cas selon les exigences des capteurs.

Pour les drones : vols en formation ou vols adaptatifs, fiabilité dans des conditions météorologiques variées (les conditions les plus exigeantes sont le vent et l'eau surfondue – nuages phases mixtes).

#### ► sécurité publique

- Pour certaines applications, vols à basse altitude au-dessus de la terre (zones non peuplées). Pour d'autres applications, vols jusqu'à des altitudes de 4 ou 5km où peuvent évoluer des aéronefs. Risques de perte de l'avion au-dessus d'une zone peuplée.

Besoin de l'autorisation de vol : 1) zone réglementée temporaire (ZRT) auprès de la DGAC dans l'espace civil pour les vols hors vue et au-dessus de 150 m au dessus du sol ; 2) accord avec le ministère de la Défense pour les vols dans l'espace militaire.

Peu d'espaces permanents ouverts aux vols des drones ; espaces dédiés aux drones pas forcément adaptés à la recherche atmosphérique visée ou très limités en altitude ou portée maximale.

Certification des pilotes et des drones.

#### ► Organisationnelle

- Disponibilité de l'équipe (pilote de sécurité et opérateur de la station au sol) pour faire voler le(s) drone(s)

La réglementation distingue quatre catégories de drones (< 2kg, <25 kg, < 150kg, et > 150 kg). Jusqu'à 25 kg, l'utilisation des drones est relativement abordable ce qui limite en pratique le poids de la charge utile < 10 kg.

Risques Chute accidentelle du drone.

Collision avec un aéronef.

Ces risques diminuent avec l'expérience de l'équipe.

### Utilisations connexes

Vols pour la sécurité civile dans des espaces contaminés (panaches industrielles), les drones étant équipés de capteurs de gaz ou d'aérosols ou d'imageurs. Surveillance, cartographie, vols dans les conditions hostiles, vols opérationnels pour la prévision météorologique

## ► Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### ► Types de drones

- nombreux vecteurs disponibles pour les vecteurs de plusieurs kilogrammes (< 4 kg), très peu de vecteurs disponibles en France dans la catégorie 5 à 25 kg. A NOTER : des critères importants sont l'autonomie du système navigation et les qualifications des opérateurs.

#### ► Capteurs

- gaz, aérosols, imagerie y compris hyperspectrale, télédétection, sonde de mesure de turbulences... horizontale et verticale, des cyanobactéries.

## ► Données collectées et post-traitements

### Compétences techniques

#### ► Internes au RST

- SAFIRE ([www.safire.fr](http://www.safire.fr)) pour les opérations dans l'espace civil mais la compétence sur le déploiement et la mise en œuvre des drones est à développer.
- Savoir-faire dans le domaine des systèmes de navigation à l'ENAC.

#### ► A l'extérieur du réseau scientifique et technique

- opérateurs professionnels des drones.

#### ► A construire

- miniaturisation et intégration des capteurs.
- utilisation des drones en météorologie opérationnelle.

### Les organismes pertinents sur le sujet

- Support à la préparation des opérations et tests : IFSTTAR, IGN, ENAC, CEREMA
- Utilisation finale : SPC (Service de Prévention des Crues), SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours)

### Mise œuvre

Pour le moment, mise en œuvre dans le cadre des campagnes de test et de mesure pour environ une centaine d'heures par an. Les périodes de vol sont dictées par les besoins des utilisateurs (conditions météorologiques particulières pour une campagne dédiée à l'étude d'un phénomène particulier ; vols réguliers pour les applications opérationnelles...)

## Adaptation du système drone à l'usage, dans l'état des connaissances – option de remplissage en annexe

Matériel				Mise en oeuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Fixe	2 kg max	Autorisation DGAC							

#### Expériences OU PROJET

- Projet VOLTIGE
- Projet BACCHUS
- Projet SKYSCANNER

#### ► EQUIPES ET CONTACTS

VOLTIGE : MeteoFrance (Greg Roberts, Grégoire Cayez), ENAC (Gautier Hattenberger)

BACCHUS : MeteoFrance (Greg Roberts), ENAC (Murat Bronz)

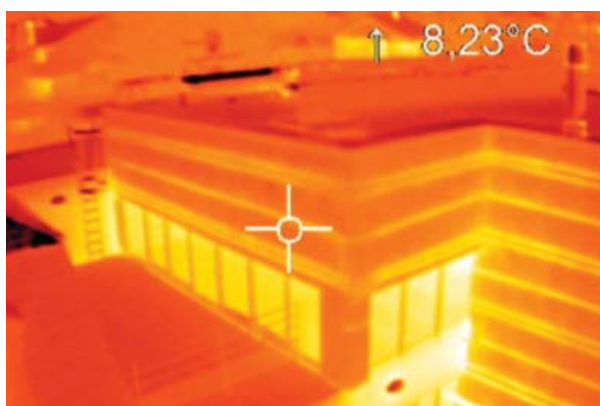
SKYSCANNER : LAAS (Simon Lacroix), ONERA (Henry de Plinval), ISAE (Jean-Marc Moschetta), ENAC (Jean-Philippe Condomines), MeteoFrance (Greg Roberts)



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Thermographie bâtiment



A cet égard, un dispositif tel que la thermographie permettant d’apprécier les lieux de déperdition d’un bâtiment dans certaines circonstances, est un outil incontournable. Il présente cependant des contraintes actuellement que l’usage de drones peut considérablement réduire.

#### Objectif de la démarche

L’objectif double est de disposer d’une part d’un système rapide et souple d’intervention et d’autre part d’améliorer la connaissance de l’état des bâtis, notamment des points singuliers, du point de vue de l’isolation thermique. Le drone peut faciliter le diagnostic et améliorer sa précision.

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Le projet (janvier 2015) de loi sur la transition énergétique prévoit de fixer les objectifs ambitieux :

- une baisse de la part du nucléaire dans la production d’électricité à 50 % à l’horizon 2025 ;
- une réduction de 40 % des émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à la référence 1990 ;
- une réduction de moitié de la consommation d’énergie à l’horizon 2050 par rapport à 2012 ;
- une réduction de 30 % de la consommation énergétique finale des énergies fossiles en 2030 par rapport à 2012
- porter la part des énergies renouvelables à 23% de notre consommation énergétique finale brute en 2020 et à 32 % en 2030.

La rénovation des bâtiments pour économiser l’énergie, mais aussi faire baisser les factures et créer des emplois constitue un axe de travail majeur au regard de l’importance du domaine : avec 42 % de l’énergie finale totale consommée, le secteur du bâtiment pris dans son ensemble est le plus gros consommateur d’énergie en France. Il génère aussi près du quart des émissions de gaz à effet de serre. La réalisation d’un diagnostic préalable fiable et précis - « si vous ne pouvez pas mesurer, vous ne pouvez pas améliorer »-, est indispensable afin de déterminer les meilleures conditions d’intervention sur le bâti .

#### ► Utilisation de drones

##### Pertinence de l’utilisation de drones

Les interventions visant la connaissance du niveau d’isolation des toitures sur l’ensemble d’une zone urbanisée, ville/lotissement, se font aujourd’hui en avion. Des recueils de données depuis le sol sont également possibles mais ne permettent pas d’avoir une vue horizontale seule à même de détecter les points singuliers (nez de dalle, balcon, refends,...) sur les façades d’immeubles (au delà du second niveau). Le drone répond par sa souplesse d’utilisation et sa capacité de positionnement aérien très bien à ces problèmes. L’exploitation des images n’est en rien modifiée (de ce point de vue il importe de rappeler les enjeux – et souvent les erreurs – liées au bon calage de l’échelle des couleurs suivant les variations de température à diagnostiquer).

En résumé l’utilisation de drones semble efficace pour les raisons suivantes :

- Fournitures d’observations variées à l’aide d’un moyen peu contraignant et normalement peu coûteux,
- Facilité et rapidité d’intervention
- Possibilité de zoomer sur des endroits repérés comme douteux.
- Les caméras à utiliser sont désormais très légères et peuvent être embarquées sur des drones à faible charge utile donc peu contraignant et coûteux.

## Capteurs

- Appareils HD voire THD photos et caméras, renvoi sur site de photos en temps réel, orientation à volonté pour rester positionné sur l'ouvrage en cours de vol.
- Appareil infrarouge thermique pour vol de nuit.
- Appareil proche IR pour détection de percolations.
- Capteurs déposés de suivi de terrain par DGPS et sismomètre.
- Relevés de mesure de potentiel électrique et turbidimétrie au voisinage de renards hydrauliques détectés.
- Capteurs de localisation et de suivi des drones dans l'espace aérien ségrégué.

## Compétences techniques

### Internes au MEDDE

- Collaboration IGN – CNR sur la restitution fine de modèles numériques de terrain sur une digue du Rhône (thèse en cours de V. Tournadre).
- Utilisateur de drones : ENAC, IFSTTAR, IGN, IRSTEA, CEREMA.
- Utilisateur de capteurs embarqués : IFSTTAR, IGN, IRSTEA, CEREMA.
- Suivi des digues par véhicule terrestre DREAL Centre.

## Organismes pertinents sur le sujet

REDBIRD, GEOMATYS, SURVEYCOPTER, DICT, L'Avion Jaune, CEEMA

## Maîtres d'ouvrage potentiels

France digues, VNF, autres gestionnaires de digues privés, DDT, SDIS

## Mise en oeuvre

- Recourir à une expérimentation préalable
  - Constituer un consortium avec des équipes complémentaires,
  - Identifier un maître d'ouvrage qui va planifier la campagne sur le plan administratif (autorisations), organisationnel (avec services extérieurs), rechercher des financements pour les équipes concernées,
  - Concevoir et piloter l'expérimentation,
- Assister le maître d'ouvrage
  - Compléter la liste du matériel nécessaire pour une utilisation intensive,
  - Organiser avec d'autres acteurs techniques une offre aussi complète que possible sur le territoire géré par le maître d'ouvrage à la fois sur la prévention, mais également sur l'opérationnel (temps de crise),
- Positionner le consortium sur des thématiques recherche
  - Organiser une offre technique de base à compléter avec des sujets de recherche.

## Expériences OU PROJET

Projet DIDRO proposé au FUI en décembre 2014 sur la surveillance des digues

Vecteur aérien						
Voilure	Masse totale	Charge utile	Moteur	Autonomie	Portée	Altitude max
Hélicoptère SURVEY Copter Copter 1B IFSTTAR	30 kg	5 kg	2 x Thermiques 2T essence	2h30	50 km	2 500 m
Moto planeur DVF 2000	10 kg	1,1 kg	Electrique	2h	50 km	2 500 m

Matériel		Mise en oeuvre					
CAPTEURS ET INSTRUMENTATION		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données / RST	
Existants	En cours de développement	DGAC	Vecteur	Base	RST	Spécifique RST	Externe
- Flotteur instrumenté - Servo-treuil associé à une sonde de mesure - Dispositif d'échantillonnage d'eau	- Module de prise de vues visible THD, proche infrarouge HD, infrarouge thermique HD - Micro LiDAR - Géocube - Wireless smart géophone - PS - Tour de contrôle doppler - interface avec véhicule patrouilleur terrestre	hors scénarios	X	X			X

## EQUIPES ET CONTACTS

DREAL Centre (Jean Maurin, Sébastien Patouillard), IFSTTAR (Jean-Luc Sorin, Sérgio Palma-Lopes, CEREMA (Frédéric Pons, Raphaël Antoine, Xavier Bertrand), IGN (Marc Pierrot Deseilligny, Christian Thom, Jean-Philippe Souchon), IRSTEA (Sylvain Labbé, Rémy Tourment)



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Suivveillance temporelle des mouvements gravitaires

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Les collectivités sont régulièrement confrontées à la survenance de désordres gravitaires sur leur territoire. Plutôt que de subir et d’en supporter les conséquences, il est moins coûteux d’anticiper les situations pouvant devenir critiques. Dans le cas des mouvements gravitaires comme les éboulements de falaise, les glissements de terrain ou la subsidence minière ou naturelle, une connaissance fine, à jour et régulière des changements topographiques est déterminante pour offrir une expertise pertinente aux gestionnaires des territoires concernés et les informer sur l’échéance à laquelle il devient nécessaire d’agir.

L’obtention de mesures topographiques peut provenir de différents capteurs (photogrammétriques, lidar, interférométrique radar), à différentes échelles et depuis différents vecteurs (satellite, avion, hélicoptère, bateau, drone, quad ou même à pied). Chacune de ces méthodes a ses propres contraintes de coût, de mise en œuvre, de répétabilité et de technicité de traitement. Les drones aériens, en plein essor, commencent à occuper la niche des porteurs d’instruments pour des territoires de quelques hectares à quelques kilomètres carrés pour un coût plus optimisé que celui des moyens conventionnels.

Cette capacité de couverture de petits territoires couplée avec une certaine aisance de mise en œuvre et à l’emport de capteurs peu coûteux est bien adaptée pour la surveillance topographique des mouvements gravitaires cités plus haut. Techniquement, la photogrammétrie est sans doute la technique la moins coûteuse à mettre en œuvre du point de vue des capteurs (un appareil photo numérique grand public peut suffire) et de logiciels (gratuits ou peu onéreux).

Dans la mesure où la photogrammétrie reconstruit le relief de surface des objets photographiés, il est logique de l’appliquer aux versants rocheux ou dénudés de végétation pour en suivre l’évolution. De même, des surfaces dures comme les toits de bâtiments en zone urbaine peuvent servir de référence pour mesurer les subsidences d’origine minière ou naturelle.

##### Objectif de la démarche

Les drones offrent une vision aérienne verticale ou oblique sur le relief qui n’est pas facilement atteignable par d’autres moyens. Ils sont utilisés pour disposer de levés à l’échelle adéquate, au moment souhaité et à la fréquence adaptée aux processus naturels étudiés. Les drones ont aussi accès à des zones dangereuses et hors d’atteinte pour les experts.

##### Utilisation de drones

###### *Pertinence de l’utilisation de drones*

La mise en œuvre de drones demande une expertise qui n’est pas largement répandue. Outre les règles de la direction générale de l’Aviation civile (DGAC) pour l’opération encadrée des drones aériens, il est critique de bien maîtriser le vol d’aéronefs sans pilote pour limiter les risques pour les biens et les personnes. Il peut donc se révéler pertinent de confier la captation de données à des entreprises spécialisées et de se concentrer sur la production de valeur ajoutée en lien avec le cœur de métier de l’établissement de recherche. Le drone n’est qu’un moyen de captation parmi d’autres, ce qui importe c’est de maximiser en traitant la valeur des données pour des objectifs de gestion des risques.

###### *Consistance des missions des drones*

La taille des sites investigués pour l’instant avec des drones est de quelques dizaines d’hectares, pour se conformer aux conditions de vol de la DGAC. Il s’agit de sites de falaises côtières et de subsidence.

### Difficultés

Exploiter les données acquises au maximum de leur potentiel. Il existe toujours un grand écart entre la captation de couvertures topographiques successives, qui peuvent se faire en routine, et le diagnostic final de l'aléa que les experts peuvent délivrer aux gestionnaires des territoires pour les aider dans leur prise de décision.

### Risques

Les risques sont de plusieurs natures : risques matériels (chute de l'aéronef, dommage à des biens au sol ou volants) et des risques formels liés à la responsabilité de l'opérateur du drone. La législation de la DGAC vise à limiter ces risques.

Le BRGM a choisi de limiter ses propres risques en sous-traitant les acquisitions à des entreprises professionnelles spécialisées.

## ► Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### Types de drones

Selon le type de chantier, deux types de drones sont utilisés : en falaise, il est nécessaire d'évoluer en 3D pour observer toutes les faces rocheuses d'intérêt. Un multicoptère est désirable. Pour des terrains peu accidentés mais dont l'emprise du mouvement de terrain s'étale sur plusieurs hectares comme les subsidences minières ou naturelles dues à la dissolution du sel en profondeur, il est préférable d'utiliser un drone à aile fixe.

#### Capteurs

Actuellement, nous avons recours à des appareils photos du commerce (Sony NEX5 et NEX7, Sony RX1) opérant dans le visible ou dans le proche infra-rouge.

### Données collectées et post-traitements

Les survols délivrent dans la photo stéréo multi-vue et multi-incidence (en falaise) pour reconstruire toutes les faces rocheuses. L'enregistreur de bord récupère également la trajectoire du drone pour une première orientation absolue des prises de vues et établir l'échelle du modèle 3D photogrammétrique. Cette orientation absolue est ensuite complétée par une campagne topographique de mesure de points de contrôles artificiels pour assurer une mise à l'échelle et une orientation décimétrique à centimétrique des modèles 3D.

L'exploitation des données conduit à produire des recensements de chutes de blocs, déduire des relations d'aléa probabiliste de chutes de blocs et un diagnostic d'instabilité par détection de surplomb.

Dans le cas des subsidences, les données collectées doivent être également multiples pour permettre d'individualiser la totalité de la cuvette d'affaissement, surtout lorsqu'aucune habitation fissurée ne permet de subodorer sa présence.

### Compétences techniques

Nous maîtrisons les techniques d'acquisition photogrammétriques obliques multi-échelle et de traitement de nuages de points en 3D (lidar ou photogrammétriques) ainsi que les outils des systèmes d'information géographiques 2.5D pour exploiter les données dans une optique d'aide à la décision.

## ► Expériences ou projets

Rohmer, J. & Dewez, T.J.B., 2015, Analysing the spatial patterns of erosion scars using point process theory at the coastal chalk cliff of Mesnil-Val, (Normandy, Northern France), Natural Hazards and Earth System Sciences, nheSS-2014-236

Giuliano et al., submitted, Mapping coastal erosion of a Mediterranean cliff with a boat-borne laser scanner: performance, processing and cliff collapse hazard, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, PHOTO-D-14-00560

Dewez, T.J.B., 2014, Reconstructing 3D coastal cliffs from airborne oblique photographs without ground control points, ISPRS Ann. of Photogramm., Rem. Sens. and Spat. Inf. Sci., vol. II-5, 2014.

Claeys, C., Marçot, N., Fissier, L., Giuliano, J., Lebourg, T., Godard, V., Dewez, T., 2014, L'érosion des falaises côtières en région PACA: une approche interdisciplinaire géologie/sociologie, Colloque Cocorisco, Brest, 3-4 juillet 2014, Brest - France

Gance, J., Malet, J.-P., Dewez, T., Traveletti, J., 2014, Target detection and tracking of moving objects for characterizing landslide displacements from time-lapse terrestrial optical images, Engineering Geology, 172, 26-40, DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.01.003

Dewez, T.J.B., Rohmer, J., 2013, Evolution des falaises de craie de Normandie, in Dufaut, P. (ed.), Manuel de Mécanique des Roches, Tome 4, Chapitre 68.

Dewez, T., Rohmer, J., Regard, V., and Cnudde, C., 2013. Probabilistic coastal cliff collapse hazard from repeated terrestrial laser surveys: case study from Mesnil Val (Normandy, northern France), J. Coast. Res., Spec. Iss. No. 65.

Regard, V., Dewez, T., Cnudde, C. and Hourizadeh, N., 2013. Contribution of step backwearing to shore downwearing and the shielding by cliff collapse debris on a coastal chalk platform: example from Normandy and Picardy (northern France), J. Coast. Res., Spec. Iss. No. 65.

Rohmer, J., Dewez, T., 2013. On the deviation of extreme sea-cliff instabilities from the power-law frequency-volume distribution: practical implications for coastal management, J. Coast. Res., Spec. Iss. No. 65.

Giuliano, J., Godard, V., Dewez, T., Lebourg, T., Tric, E. and Marçot, N., 2013, Structural control on regional coastline orientations: example from South-eastern France, J. Coast. Res., Spec. Iss. No. 65.



## Contact

BRGM (Thomas Dewez)

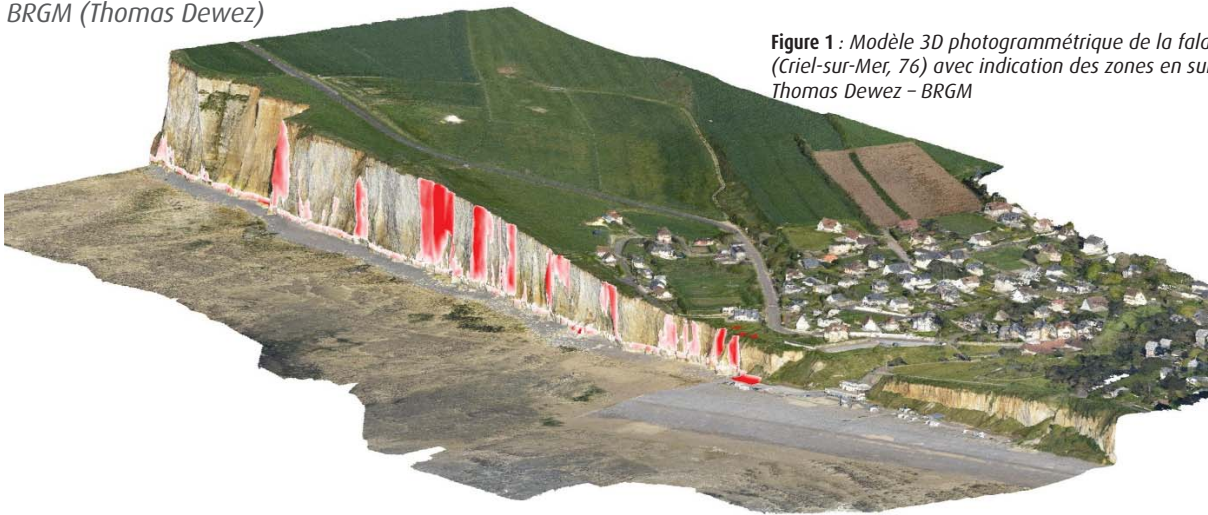


Figure 1 : Modèle 3D photogrammétrique de la falaise de Mesnil Val (Criel-sur-Mer, 76) avec indication des zones en surplomb. Copyright Thomas Dewez – BRGM



Figure 2 : Campagne de mesure par drone à Mesnil Val (Criel-sur-mer, 76). Copyright Thomas Dewez – BRGM

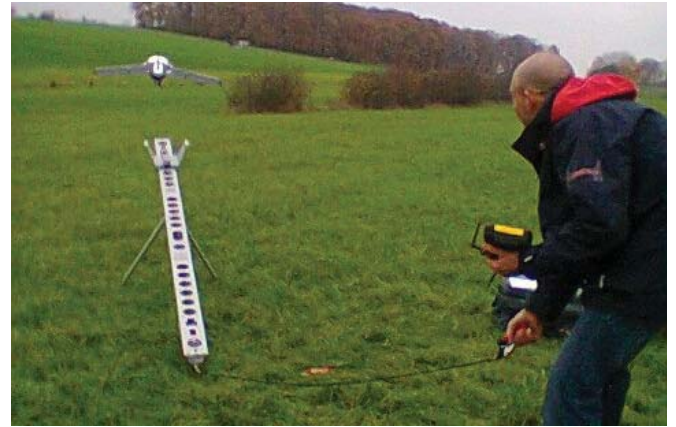


Figure 4 : Décollage d'un drone à aile fixe (société Hydronex) sur la commune d'Hilsprich sujet à la subsidence par dissolution de sel. Copyright Charles Cartannaz – BRGM

Figure 3  
Nuage de points 3D photogrammétrique acquis par drone à aile fixe du village d'Hilsprich (57) sujet à la subsidence par dissolution de sel. Copyright Thomas Dewez – BRGM



Matériel				Mise en oeuvre						
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données		
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Spécifique RST	Externe
Multicopter (en falaise)		Appareils photos Sony NEX5 et NEX7, Sony RX1 opérant dans le visible ou dans le proche infrarouge.							- Techniques d'acquisition photogrammétriques obliques multi-échelle - Traitement de nuages de points en 3D - Outils des systèmes d'information géographiques 2.5D	
Ailes fixes (en terrain peu accidenté)										



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Suivi de l’évolution des estrans

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Les estrans de la rade de Brest, site classé Natura 2000 (Figure 1), subissent depuis plusieurs décennies la prolifération de la graminée herbacée *Spartina alterniflora* Loisel, communément dénommée spartine. Cette invasion a des conséquences morphologiques et écologiques qui se soldent par une perte de biodiversité. En parallèle aux études à caractères botanique et écologique entreprises par le Conservatoire Botanique National de Brest (CBNB) et l’Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), le Laboratoire de Génie Côtier et Environnement (LGCE) du Centre d’Etudes Maritimes Et Fluviales (CETMEF) mène des travaux d’expérimentation de terrain et de modélisation numérique sur l’hydrodynamique et la dynamique sédimentaire aux abords et dans les aires colonisées par la spartine pour mieux comprendre et prédire les phénomènes physiques en jeu<sup>[1]</sup>. Ces études requièrent des données relatives au substrat (topographique, couvert végétal) et à la masse d’eau (vitesse, turbidité).

L’anse de Penfoul située en baie de Daoulas et sur les communes de Plougastel-Daoulas et Loperhet (Finistère) est retenue comme site d’étude privilégié (Figures 1 et 2). Elle se compose d’un secteur aval de sédiments de granularité variable et de roches et d’un secteur amont de type marais maritime où des vasières nues (slikke) jouxtent des vasières végétalisées (schorre), largement colonisées par la spartine (Figure 3).

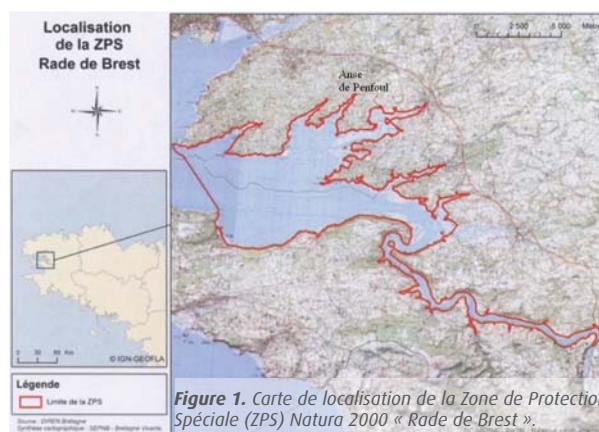


Figure 1. Carte de localisation de la Zone de Protection Spéciale (ZPS) Natura 2000 « Rade de Brest ».

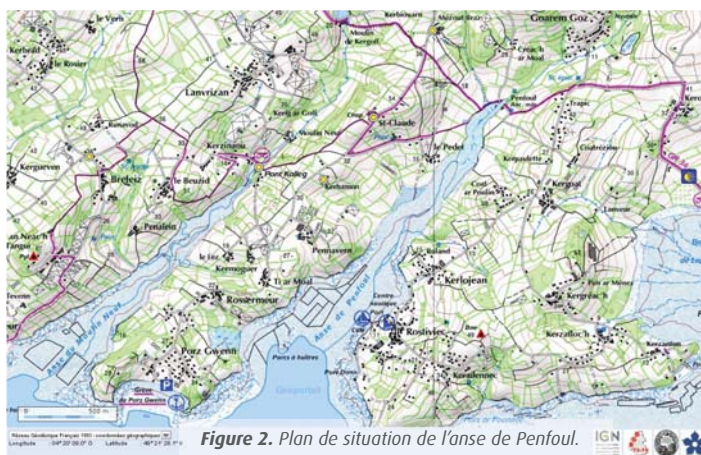


Figure 2. Plan de situation de l'anse de Penfoul.

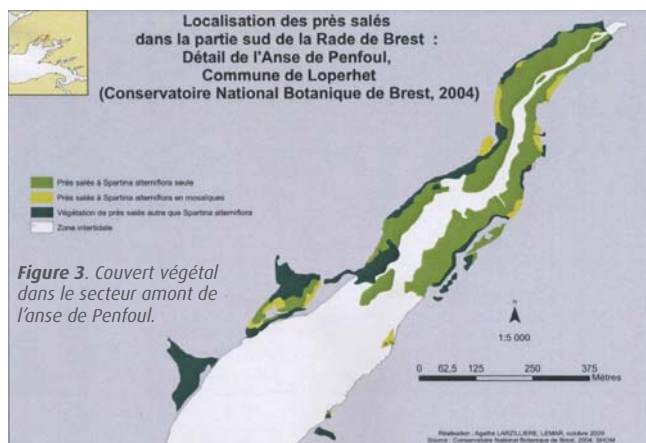


Figure 3. Couvert végétal dans le secteur amont de l'anse de Penfoul.

<sup>[1]</sup> Ancelin et Kieffer, 2009; Petton, 2010; Querné et al., 2011

Ce dernier secteur vaseux, d'intérêt écologique majeur, est un milieu (i) fragile à faible capacité de restauration due au faible hydrodynamisme ambiant et (ii) d'accessibilité par bateau difficile et réduite dans le temps de par sa position élevée et la marée. Il s'avère que les drones constituent des outils d'intervention aérienne non intrusive particulièrement adaptés à ce type de milieu. Naturellement, l'anse de Penfoul est ainsi devenue le premier site-atelier du Démonstrateur « Multi-Expérimentations sur Estrans par Drones » (MEXED) du Programme « Drones : sentinelles de l'environnement » qui vise à fédérer dans différents domaines d'application les compétences complémentaires des différents organismes du Réseau Scientifique et Technique (RST) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) pour élaborer et tester des solutions méthodologiques complètes optimisées répondant aux besoins spécifiques des divers utilisateurs/opérateurs publics.

### Objectif de la démarche

Les principaux objectifs techniques du projet MEXED-Penfoul sont :

- la restitution de Modèle Numérique de Terrain (MNT) par des méthodes photogrammétriques basées sur l'acquisition de prises de vues numériques avec recouvrements longitudinal et latéral. Une technique alternative basée sur le suivi de la ligne d'eau au cours d'un montant ou d'un perdant de marée sera testée. Les MNT ainsi produits seront comparés à des MNT obtenus par un scanner laser terrestre, voire par systèmes GPS/GNSS (RTK), là où la nature du sol le permet ;
- le suivi de traceurs dissous et de flotteurs (non-toxiques et biodégradables) largués en différents points du site-atelier et à différents instants du cycle de marée pour quantifier l'hydrodynamique ;
- la cartographie des caractéristiques du couvert végétal (hauteur et densité spatiale des plants de spartine, notamment) variable selon la saison et analyse de sensibilité des MNT à ces paramètres. Des travaux exploratoires sont également envisagés pour mesurer et caractériser depuis les airs la turbidité de l'eau et son influence sur la qualité des MNT, ainsi que caractériser le substrat en termes de granularité, teneur en eau et micro-phytobenthos et leurs influences respectives sur les levés topographiques

### Utilisation de drones

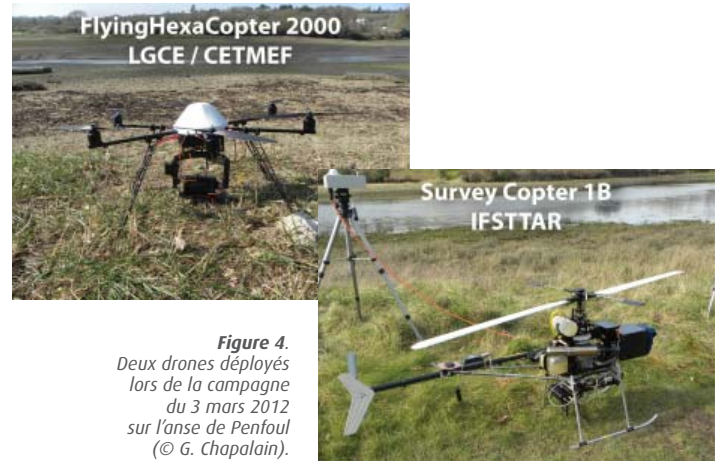
*Pertinence de l'utilisation et consistance des missions des drones*

Les premières expérimentations de terrain se sont déroulées en mars 2012. Ont été réalisés :

- la pose de 18 balises au sol autour de l'anse par le CECP-CETE-Ouest et leur géolocalisation par l'ENSG par techniques GNSS en utilisant le mode RTK pour avoir une qualité de positionnement dans la

référence nationale RGF93 de l'ordre de 3 cm en planimétrie et 5 cm en altimétrie (Tertre, 2012) ;

- les vols expérimentaux dans le secteur amont de deux drones (Figure 4) de gabarits & appareillages de prise de vue numérique embarqués différents : mini-drone électrique multi-rotors FlyingHexaCopter 2000 & appareil photo grand public Panasonic Lumix5 du LGCE/CETMEF et drone thermique Survey Copter 1B & appareil photographique professionnel Nikon D7000 de l'IFSTAR (Sorin et Gaud, 2012).



**Figure 4.**  
Deux drones déployés lors de la campagne du 3 mars 2012 sur l'anse de Penfoul (© G. Chapalain).

- le test d'une balise flottante codée par le CECP/CETE-Ouest ;
- le test de nouvelles balises terrestres par le LGCE/CETMEF ;
- l'exploitation du jeu de 18 photos LGCE/CETMEF du 30 mars 2012 à basse mer dans le secteur amont par l'ENSG pour restituer un premier MNT. Les outils utilisés sont ceux de la chaîne Apero/Micmac (Pierrot-Deseilligny, 2007; Pierrot-Deseilligny et Cléry, 2011) utilisés pour (i) l'extraction de points de liaison, (ii) la mise en place des images, (iii) le basculement du système de coordonnées pour que l'estran soit horizontal et (iv) la corrélation dense sur les images (Héno et Pierrot-Deseilligny, 2012). Toutes ces étapes, hormis la détermination du plan horizontal, sont automatiques. La Figure 5 montre une première image de MNT en relief ombré non encore géoréférencé restitué à partir du jeu de 18 prises de vues collecté par le mini-drone du LGCE/CETMEF le 30 mars 2012.



**Figure 5.**  
MNT calculé par l'ENSG à partir d'un jeu de photos collecté par le drone du LGCE/CETMEF le 30 mars 2012 (© G. Chapalain, R. Héno & M. Pierrot-Deseilligny).

## Difficultés

● **Réglementaires** : Une Zone Réglementée Temporaire (ZRT) a été créée à compter du 1er février 2012 pour une période de 2 ans par les autorités aériennes civiles (Service de la Navigation Aérienne (SNA) Ouest, Délégation Bretagne de la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC) Ouest) et militaires (Préfecture maritime Atlantique-Bureau Aéronautique Navale du Centre Opérationnel de la Marine, Centre de Coordination et de Contrôle Marine de l'Atlantique) concernées. Un protocole d'accord définissant les modalités opérationnelles des survols de l'anse de Penfoul par les drones a été élaboré entre le Contrôle Local d'Aérodrome de la Base Aéronavale de Lanvéoc-Poulmic, le SNA Ouest, la Délégation Bretagne de la DSAC Ouest et le CETMEF.

Les mesures prises pour minimiser l'incidence temporaire des opérations sur le site Natura 2000 et l'élément compensatoire des incidences résiduelles sur l'avifaune d'intérêt communautaire que constitue l'étude et le suivi des spartinaies pour la mise en place d'une éventuelle gestion locale ont fait l'objet d'une notice d'incidence déposée en Préfecture du Finistère et acceptée par celle-ci.

## Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### Types de drones et capteurs

Les drones ultra-légers électriques à voilure fixe Funjet et à voilure tournante Quadri rotor de l'ENAC seront associés aux drones du LGCE/CETMEF et de l'IFSTTAR. La technique de topométrie par scanner laser terrestre a été mise en œuvre par l'IRSTEA. Les observations visant à suivre depuis les airs des traceurs dissous et des flotteurs pour quantifier l'hydrodynamique ont été engagées.

Matériel				Mise en œuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Mini drone électrique multi rotors FlyingHexaCopter 2000 LGCE/CETMEF	3 kg max	Appareil photo grand public Panasonic Lumix5		S1		x		x	
Drone thermique Survey Copter 1B IFSTTAR	15 kg	Appareil photographique professionnel Nikon D7000		S1		x		x	
Drone ultra-léger électrique à voilure fixe Funjet ENAC	< 2kg	Appareil photo		S1		x		x	
Drone ultra-léger électrique à voilure tournante Quadrirotor ENAC	< 2kg	Appareil photo		S1		x		x	

Les premiers travaux de terrain (opérabilité de deux modèles de drones, stéréopréparation, acquisition de prises de vues numériques) et de traitement/exploitation en vue de restituer un MNT accomplis à ce jour consacrent la formation d'un groupe scientifique et technique pluricompetent à même de produire à terme des outils méthodologiques intégrés optimisés et des recommandations pour la mise en place d'équipes opérationnelles.

Dans la double perspective de connaissance scientifique et de gestion/protection durable des marais maritimes, les résultats acquis laissent augurer des progrès significatifs dans leur surveillance/«monitoring» et la simulation/prédiction numérique de leurs hydrodynamique, dynamique sédimentaire et morphodynamique.

## EQUIPES ET CONTACTS

CETMEF : Georges Chapalin  
IGN : Marc Pierrot-Deseilligny  
IRSTEA : Sylvain Labbé

IFSTTAR : Jean-Luc Sorin  
ENSG : Raphaële Heno  
CETE OUEST: Stéphane Montfort



## SAM

### Surveillance – Auscultation – Monitoring de l’environnement

Jaugeages en rivière par drone aquatique

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

L'apparition des drones aquatiques est indissociable de l'émergence des profileurs acoustiques de courant à effet Doppler ADCP à la fin des années 90. De nouvelles possibilités sont ainsi offertes pour les jaugeages. Un jaugeage permet de connaître le débit d'une rivière en un point donné et à un instant donné. En hydrométrie, de manière quasi exclusive, les jaugeages utilisent la méthode d'exploration du champ des vitesses, qui consiste à déterminer les vitesses d'écoulement dans une section mouillée. Un bon emplacement de mesure doit être le plus rectiligne possible, éloigné de tout coude et de tout obstacle naturel ou artificiel engendrant des perturbations hydrauliques. Dans la mesure du possible, les vitesses sont en tout point de l'écoulement parallèles entre elles et leurs variations sont régulièrement réparties sur une verticale. La justesse du résultat du jaugeage est très dépendante de la qualité du site de mesure.

On va donc systématiquement rechercher la « bonne » section de jaugeage. Lorsqu'il existe un pont, les mesures avec un flotteur « à la traîne » permettent souvent de s'éloigner des perturbations des piles de pont et de réaliser des mesures correctes. En absence de pont ou lorsque la configuration n'est pas favorable, des dispositifs permanents ou temporaires, de type « téléphérique » ont été développés dans le passé. Un câble tendu en travers de la rivière permet de déplacer un vélocimètre sur une section mouillée de grande profondeur et/ou avec de fortes vitesses d'écoulement. Ces dispositifs présentent de nombreux d'inconvénients comme la présence d'un câble tendu en travers d'un cours d'eau, susceptible de générer des accidents. La largeur maximale de la section est limitée et de plus l'accès en crue peut être impossible.

Il en va de même du bateau de type « hors-bord » dont on a pu imaginer dans le passé qu'il deviendrait un outil de jaugeage usuel pour les ADCP. Malheureusement, outre les risques pour la sécurité des opérateurs dès que les vitesses d'écoulement sont importantes, ce type de jaugeage est très lent à réaliser (déplacement, mise à l'eau du bateau) ce qui limite fortement son rendement et rend impossible son recours en crue.

Dans ce contexte, les drones aquatiques qui servent de support à des ADCP offrent une réponse adaptée aux contraintes dans de nombreux cas. Ils constituent une véritable évolution et apportent des possibilités nouvelles en matière de jaugeage.

##### Utilisation de drones

Les équipes qui réalisent les jaugeages analysent la situation hydrologique des cours d'eau à jauger, préparent un certain nombre de données utiles à l'intervention puis choisissent le matériel de jaugeage et les véhicules adaptés.

##### Evolution du matériel de jaugeage

Il a été constaté que les ADCP se substituent dans la majorité des situations, de manière progressive mais certainement irréversible, aux moulinets. Leurs atouts sont multiples avec une rapidité de mise en service, des capacités d'adaptation au site et une autocorrection qui permet de compenser une trajectoire non perpendiculaire à l'écoulement. Dans ce contexte, l'arrivée de drones aquatiques pouvant être équipés de profileurs Doppler ADCP a constitué une véritable évolution et apporté des possibilités nouvelles en matière de jaugeage en permettant de s'affranchir totalement de la présence d'un pont à proximité d'une section de jaugeage. En outre, les atouts des drones aquatiques sont multiples avec une rapidité de mise en œuvre, des capacités d'adaptation au site, peu de risques d'accident et plus de confort pour les utilisateurs.

En résumé l'utilisation de drones semble efficace pour les raisons suivantes :

- Utilisation d'une technologie robuste et fiable pour le jaugeage (ADCP)
- Facilité, rapidité et sécurité d'intervention
- Possibilité d'aller plus facilement sur des sites repérés comme optimaux pour la mesure
- Un binôme d'opérateurs est suffisant : pilote de drone et gestionnaire du profileur ADCP

#### Consistance des missions des drones

- Réaliser plus de jaugeages lors d'une campagne de mesure dans de bonnes conditions de sécurité et de confort pour les opérateurs
- Atteindre les bons sites de mesure

#### Difficultés

- Technologiques : Pour les drones aquatiques, l'intégration des profileurs ADCP et des systèmes d'acquisition et de transmission de la donnée en temps réel n'ont pas constitué un réel problème. Par contre, la robustesse du drone dans des conditions hydrauliques extrêmes (crues) ainsi que la fiabilité en toute circonstance (grandes séries de mesure, présence d'herbe dans l'eau, chocs) restent des points à améliorer.
- Pilotage du drone : Expérience nécessaire compte tenu des exigences pour le jaugeage (vitesse de déplacement constante et perpendiculaire à l'écoulement) et les manœuvres d'accostage ou d'évitement d'obstacle.

#### Risques

- Uniquement matériels en principe, grâce à l'utilisation du drone.

## ► Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### Types de drones

Plusieurs vecteurs sont disponibles, adaptés aux différents milieux aquatiques (rivières, plans d'eau, mer). Voir ci-après dans le paragraphe « Mise en œuvre », le matériel utilisé en rivière par la DREAL lorraine.

#### Capteurs

Comme cela a été précisé précédemment, l'utilisation du drone aquatique et concomitante à l'émergence des technologies de mesure ADCP. L'apparition des drones aquatiques est ainsi indissociable de l'émergence des profileurs Doppler en ce qui concerne les jaugeages.

#### Autres

Aménagement d'un véhicule pour transport dans de bonnes conditions de sécurité et en limitant les vibrations et secousses, petit outillage et pièces de rechanges.

### Compétences techniques

#### Spécifiques aux jaugeages

- Choix de la section de mesure, traitement des données ADCP et paramétrage de l'appareil par l'hydromètre

#### Spécifique drone aquatique

- montage des batteries, maintenance (circuits électriques principalement), petites réparations, pilotage

### Mise œuvre

**1 – Situation courante :** Utilisation de catamarans conçus et réalisés par « **Nominal ingénierie** », une PME de l'Isère. Chaque coque est équipée d'un moteur à hélice alimentés chacun par une batterie au plomb installée dans le flotteur. La partie centrale est modulable et permet l'installation de tout type de Doppler ADCP. Le premier exemplaire a été vendu à la DREAL Centre en juin 2004. La mise à l'eau est facile, le poids est inférieur à 25 kg, la portée de la télécommande de l'ordre de 100 m. La transmission des données mesurées par l'ADCP, initialement par radio (modem volumineux sur l'embarcation) est maintenant assurée par Bluetooth (léger et miniaturisé).

A l'expérience, la principale restriction à l'utilisation du catamaran « nominal » est due à la vitesse maximale d'écoulement qui doit être inférieure à 1,5 m/s. Les catamarans « nominal » sont d'excellents auxiliaires de jaugeage pour les rivières de plaine et de moyenne montagne hors périodes de crue.



Jaugeage au Catamaran "nominal" en hautes eaux avec une ADCP « Rio Grande » en 2010. On observera le boîtier qui contient le modem HF fixé sur le plateau et les couvercles étanches sur les flotteurs qui permettent l'accès aux batteries, aux moteurs et aux interrupteurs.

**2- Spécifique aux écoulements à fortes vitesses (< 5 m/s) :** Les nouvelles générations de **planches hydrodynamiques** récemment apparues ont une gamme d'utilisation très supérieure à ce qui existait auparavant. En 2013, on a eu accès à des drones télécommandés pouvant jauger jusqu'à des vitesses de 5m/s, donc adaptés aux crues des rivières de plaine ou de piémont. Deux fabricants, l'un anglais (Arc-boat de HRWallingford) et l'autre américain (Qboat d'Oceanscience), proposent des flotteurs hydrodynamiques, assez stables dans les écoulements perturbés pour permettre une bonne mesure par profileur ADCP. Ces nouveaux appareils sont des planches monocoque, munies de 2 moteurs couplés (1 seul moteur pour la version « basse vitesse » du Qboat). La contrepartie de l'augmentation de la puissance des moteurs est un poids supérieur, dû aux batteries. Le poids total en charge des appareils est alors voisin de 40 kg, ce qui reste manipulable par deux personnes.

Pour obtenir une meilleure stabilité, il faut des dimensions respectables (1,95 m X 0,72 m pour le Arcboat et 1,80 m X 0,90 m pour le Qboat). La DREAL Lorraine utilise un Qboat 1800 P depuis plus d'un an. Le potentiel du bateau est indéniable, il est performant, maniable, stable dans les vagues. Les reproches que l'on peut lui adresser concernent la connectique qui ne semble pas conçue pour faire face à un environnement difficile, les antennes sont fragiles et les moteurs à hélice qui sont puissants sont aussi très sensibles à la présence de végétation aquatique et/ou d'herbe en lit majeur.

Le Qboat est utilisé depuis début 2014 à la DREAL Lorraine. Il n'a pas encore été testé à des vitesses supérieures à 3m/s, mais il semble parfaitement capable de pouvoir accepter des vitesses d'écoulement supérieures. Par contre, nous l'avons perdu à plusieurs reprises suite à la défaillance d'un moteur ou d'un mauvais contact du câble des antennes de télécommande. Il existe un dispositif automatique qui consiste à envoyer le bateau vers la berge en cas de problème, ce qui est pertinent. Toutefois, les conditions de jaugeage en lit majeur (branches d'arbres, végétation rivulaire, herbe) ou bien en été en présence de végétation aquatique rendent nécessaire d'envisager une protection des hélices.



*Jaugeage avec un Qboat1800P équipé d'un ADCP « River ray » sur la Meuse amont en crue (amont station hydrométrique de Neufchâteau). Le pilote du drone est en rive droite, dans ce qui est le début du débordement.*

### Quelques enseignements issus de ces expériences

Il faut deux opérateurs pour l'ensemble des opérations. Un pilote expérimenté, capable de respecter une trajectoire rectiligne sur un profil en travers à parcourir à vitesse constante avec ce drone aquatique améliore la qualité des mesures. L'autre opérateur gère uniquement l'ADCP et donne les indications au pilote pour la mise en station au départ et à l'arrivée du profil de jaugeage ainsi que sur la vitesse de traversée.

La fragilité des drones impose systématiquement de partir en campagne avec un dispositif de secours qui sera souvent un ADCP sur support flottant que l'on va déplacer à la traîne, depuis un pont ou avec une embarcation légère. Les principales pistes d'évolution à court terme portent sur la robustesse des dispositifs (moteur et télécommande) et éventuellement la vitesse maximale admissible pour permettre le jaugeage des écoulements sur les rivières de montagne. Une autre amélioration pourrait porter sur l'ajout d'une caméra embarquée pour visualiser les obstacles sur la rive opposée lors de jaugeages sur des rivières de grande largeur.

Adaptation du système drone à l'usage, dans l'état des connaissances – option de remplissage en annexe

Matériel				Mise en oeuvre						
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données		
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Spécifique RST	Externe
Nominal	25Kg									
Q Boat	40 Kg									

*Ce tableau même si peu adapté à la synthèse des informations relatives à l'utilisation des drones marins est maintenu par cohérence à l'ensemble des fiches usages. La description des expériences dans la fiche est toutefois bien documentée.*

### Équipes et contacts

Philippe BATTAGLIA , Denis LOGNON, Pascal PERRIN et Jean Pierre WAGNER  
 DREAL Lorraine -2, rue Augustin Fresnel 95038 57071 METZ Cedex 3 –  
 philippe.battaglia@developpement-durable.gouv.fr





# *Fiches*

## *Intervention en période de Risque Majeur (IRM)*



*Réseau Scientifique et Technique du MEDDE*

1. Suivi en temps réel de l'état des digues fluviales, maritimes et assimilées
2. Suivi en temps réel de la propagation des inondations
3. Expérimentations de drones dédiés à des missions de soutien
4. Utilisation de drone pour le service alerte usager





## IRM

### Intervention en période de risque majeur

Suivi en temps réel de l'état des digues fluviales et maritimes et assimilées

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

Thématique de sécurité publique : 10 000 km de digues dans des états très variables, très vétustes (pluri séculaires) pour certaines, souvent pas de maîtrise d'ouvrage. Leur comportement lors d'une crue majeure est incertain, d'où la nécessité de disposer d'informations temps réel en cas de prévision d'une crue importante ou pendant ou encore peu après : exfiltration d'eau, zones de rupture, parties submergées. Dangereux des interventions : pas d'autres solutions techniques en période de hautes eaux.

##### Objectif de la démarche

Fournir des informations sur l'état des digues en période de crise en temps réel.

Données qualitatives : localisation des premiers signes de faiblesse pouvant donner lieu à la rupture de tout ou partie de l'ouvrage. Analyse en temps réel des images transmises par drones par un comité d'experts géotechniques et hydrauliques. Lien avec la sécurité publique pour confortement de l'ouvrage et/ou évacuation des populations situées dans les zones à risques.

##### Utilisation de drones

#### ► Pertinence de l'utilisation de drones

Auscultation à grand rendement de l'ensemble, mais également localisée, sans danger pour les intervenants, d'ouvrages dont le comportement en période de forte sollicitation est mal connu.

##### Consistance des missions des drones

Plusieurs équipes de drones patrouilleurs seraient en charge d'un tronçon de plusieurs kilomètres à surveiller. Les drones envoient des photos HD temps réel à des experts réunis dans un centre de crise pour qu'ils puissent identifier les risques à partir de signaux faibles sur les images.

##### Difficultés

- **Techniques** : quasi nécessité de drones certifiés vs les longs linéaires à survoler en lien avec la législation en vigueur concernant les conditions d'emploi des drones civils (arrêtés DGAC 11 avril 2012).
- **De sécurité publique** : survols côté rivière dangereux pour les appareils, survol côté intérieur : présence des riverains, des passants, de nouveaux obstacles, nécessité de poursuivre l'auscultation la nuit (et il faut travailler sur les procédures opérationnelles pour garantir la sécurité des biens et des personnes au sol),
- Juridiques** : état de la législation contraignante pour survoler des zones peuplées (arrêtés DGAC),
- Organisationnelles** : disponibilité des équipes drones, disponibilité des experts.

##### Risques

- Perte de l'appareil
- Accident avec une personne

##### Utilisations connexes

- **En prévention** : campagne de recueil de données (Modèles numériques de terrain (MNT) fins pour mise en évidence de tassements de sols, MNT dans l'IR thermique pour la détermination d'exfiltrations d'eau (pour les digues en charge),
- **En crue** : détermination de la ligne d'eau, survol des zones inondées pour localiser les personnes en danger : utilisation par les services de sécurité civile en complément de leurs moyens (camion, hélicoptères),
- **En post crue** : localisation des dégâts pour les assurances, la reconstruction. Evaluation de l'activité globale en termes de nombre de missions par an.

##### Modalités de mise en œuvre

##### Matériels nécessaires

#### ► Types de drones

- A préciser en fonction des fonctionnalités,
- A grand rendement,
- Examen local en cas de problème identifié : hélicoptère ou multitoror,
- Zone de décollage à localiser, hors zone à risque et proche des ouvrages à surveiller.

## Risques

- Perte de l'appareil
- Accident avec une personne.

## Utilisations connexes

- En prévention : campagne de recueil de données (Modèles numériques de terrain pour mise en évidence de tassements de sols, d'exfiltrations d'eau (pour les digues en charge),
- En post crue : localisation des dégâts pour les assurances, la reconstruction. Evaluation de l'activité globale en termes de nombre de missions par an.

## Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### Types de drones

- A grand rendement : voilure fixe
- Examen local en cas de problème identifié : multicoptère
- Zone de décollage à localiser, hors zone à risque et proche des ouvrages à surveiller.

#### Capteurs

- Appareils photos, renvoi sur site de photos en temps réel, possibilité de rester positionné sur l'ouvrage au-dessus des zones dangereuses,
- Appareils infrarouge pour vol de nuit (dans un second temps)

#### Données collectées et post-traitements

- Essentiellement des photos et des vidéos, fournissant la localisation des gens en danger ou susceptibles de le devenir (arrière des digues par exemple)
- Post traitement : détermination de l'enveloppe de la zone inondable, du niveau des eaux atteint
- Une recherche de complémentarité avec l'utilisation des avions d'IGN (convention SCHAPI - IGN) et les données fournies par les satellites seront recherchées

## Compétences techniques

### Internes au RST

Expériences dans un champ connexe :

- Projet DIDRO en cours d'examen sur l'utilisation de drones en période de crise pour ausculter les digues

### Les organismes pertinents sur le sujet

- Support à la préparation des opérations et tests : IFSTTAR, IGN, ENAC
- Utilisation en temps réel : SPC, SDIS, ONG

### Maîtres d'ouvrage potentiels

SCHAPI, SPC, Collectivités territoriales, gestionnaires d'ouvrages (France digues, VNF...).

## Mise en œuvre

- Recourir à une expérimentation préalable :
  - Constituer un consortium avec des équipes complémentaires : IFSTTAR, IGN, ENAC.
  - Identifier un maître d'ouvrage qui va planifier la campagne sur le plan administratif (autorisations), organisationnel (avec services extérieurs), rechercher des financements pour les équipes concernées,
  - Concevoir et piloter l'expérimentation

- Assister le maître d'ouvrage :

Compléter la liste du matériel nécessaire pour une utilisation intensive,

- Compléter la liste du matériel nécessaire pour une utilisation intensive,
- Organiser avec d'autres acteurs techniques une offre aussi complète que possible sur le territoire géré par le maître d'ouvrage à la fois sur la prévention, mais également sur l'opérationnel (temps de crise),
- Positionner le consortium sur des thématiques recherche :
  - Organiser une offre technique de base à compléter avec des sujets de recherche.

## Expériences OU PROJET

Projet DIDRO proposé au FUI en décembre 2014

## Equipes et contacts

DREAL Centre (Jean Maurin),  
IFSTTAR (Jean-Luc Sorin),  
CEREMA ( Jean-Paul Fideli) ,  
IGN (Marc Pierrot Deseilligny), IRSTEA (Sylvain Labbé).

Matériel				Mise en œuvre					
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE		TRAITEMENT Données	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base	RST	Externe
Multicopter	2 kg	Appareils photos		S1 ou S2		x		x	
Aile volante	2 kg	Appareils photos		S1 ou S2		x		x	
Gatewing X100	2 kg	Appareil photo		S2	Minimum 40 min				



## IRM

### Intervention en période de risque majeur

Suivi en temps réel de la propagation des inondations

#### Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

En période d'inondation, il est indispensable de disposer d'une vision terrain très précise : les services de prévision des inondations (SCHAPI et Services de prévision des crues) utilisent des outils de modélisation qui ont besoin d'être calés en fonction de l'évolution de la situation, les services de sécurité civile (SDIS) doivent identifier les inondés pour intervenir au plus vite, les organismes de secours (Croix-Rouge) et les services gestionnaires des infrastructures doivent disposer d'une réalité terrain aussi proche que possible de la réalité. La vérité terrain actualisée en continu est donc une priorité pour les acteurs du territoire concerné et il n'est pas toujours possible d'acquérir ces informations, compte tenu de la dangerosité des lieux.

##### Objectif de la démarche

Il s'agit de collecter et de fournir le plus rapidement possible aux instances concernées, des données de l'état de la crue en train de se propager et tous les moyens sont les bienvenus : satellite qui fournira des images ponctuelles dans le cadre de la charte européenne, avions qui peuvent survoler la zone d'assez haut mais qui peuvent réaliser plusieurs missions à plus grande fréquence, et drones, dont la flexibilité est grande et le coût faible mais les conditions d'utilisation plus restreintes et enfin capteurs sols. Toutes ces données devraient pouvoir parvenir aux gestionnaires pour être exploitées de manière complémentaire et intégrées.

##### Utilisation de drones

##### Pertinence de l'utilisation de drones

Les drones peuvent être utilisés de manière assez flexible avec peu de logistique. Ils peuvent voler sous le couvert nuageux pour repérer les zones

sinistrées, localiser les gens en danger et fournir des informations de niveau d'eau. Leur utilisation à grand rendement mais également localisée est sans danger. Ces missions peuvent être reconduites à intervalles réguliers, ce qui assure une évaluation de l'évolution de l'événement. Les opérateurs peuvent être les SDIS,, des ONG qui utiliseront ces appareils dans le cadre de leurs missions.

##### Consistance des missions des drones

Les drones peuvent être lancés à proximité des zones à risque et couvrir des linéaires de quelques kilomètres (dérogations à demander au préfet) sur la surface de la propagation de la crue. Plusieurs équipes de drones en charge d'un tronçon de plusieurs kilomètres à surveiller peuvent se relayer. Les drones envoient des photos temps réel à des experts. réel à des experts réunis dans un centre de crise pour qu'ils puissent identifier les risques à partir de signaux faibles sur les images.

##### Difficultés

- ▶ **Techniques** : linéaire limité en fonction de l'autonomie des appareils. L'envoi de données temps réel pourra être limité dans un premier temps à la collecte des informations par les opérateurs qui les diffuseront depuis un lieu sécurisé. Les survols seront réalisés à basse altitude du fait des couverts nuageux, ce qui limite la zone surveillée.
- ▶ **De sécurité publique** : sle survol à basse altitude peut être dangereux pour les riverains et pour les appareils à cause de la présence de végétation, de constructions, d'ouvrages. La poursuite de l'auscultation la nuit ne peut être envisagée dans un premier temps.
- ▶ **Juridiques** : : état de la législation contraignante pour survoler des zones peuplées, même si l'on est dans le régime de la dérogation (voir arrêtés DGAC).
- ▶ **Organisationnelles** : disponibilité des équipes drones, des appareils. Des opérations de simulations gagneraient à être organisées avant la survenue d'événements pour caler les procédures.
- ▶ **Risques**
  - Perte de l'appareil
  - Accident avec une personne

### Utilisations connexes

- ▶ **En prévention** : campagne de recueil de données (Modèles numériques de terrain (MNT) fins pour mise en évidence de tassements de sols, MNT dans l'IR thermique pour la détermination d'exfiltrations d'eau (pour les digues en charge),
- ▶ **En crue** : détermination de la ligne d'eau, survol des zones inondées pour localiser les personnes en danger : utilisation par les services de sécurité civile en complément de leurs moyens (camion, hélicoptères),
- ▶ **En post crue** : localisation des dégâts pour les assurances, la reconstruction.  
Evaluation de l'activité globale en termes de nombre de missions par an.

## ► Modalités de mise en œuvre

### Matériels nécessaires

#### Types de drones

- A préciser en fonction des fonctionnalités, A grand rendement, Examen local en cas de problème identifié : hélicoptère ou multirotor,
- Zone de décollage à localiser, hors zone à risque et proche des ouvrages à surveiller.

#### Capteurs

- Appareils HD voire THD photos et caméras, renvoi sur site de photos en temps réel, orientation à volonté pour rester positionné sur l'ouvrage en cours de vol.
- Appareil infrarouge thermique pour vol de nuit.

#### Données collectées et post-traitements

- Essentiellement des photos et des vidéos, fournissant la localisation des gens en danger ou susceptibles de le devenir (arrière des digues par exemple)
- Post traitement : détermination de l'enveloppe de la zone inondable, du niveau des eaux atteint
- Une recherche de complémentarité avec l'utilisation des avions d'IGN (convention SCHAPI – IGN) et les données fournies par les satellites seront recherchées

### Compétences techniques

#### Internes au RST

Expériences dans un champ connexe :

- Projet DIDRO en cours d'examen sur l'utilisation de drones en période de crise pour ausculter les digues

#### Les organismes pertinents sur le sujet

- Support à la préparation des opérations et tests : IFSTTAR, IGN, ENAC
- Utilisation en temps réel : SDIS, ONG

#### Maîtres d'ouvrage potentiels

SCHAPI, SPC, Collectivités territoriales, gestionnaires d'ouvrages (France digues, VNF...).

### Mise en œuvre

- ▶ Recourir à une expérimentation préalable
  - Constituer un consortium avec des équipes complémentaires : IFSTTAR, IGN, ENAC.
  - Identifier un maître d'ouvrage qui va planifier la campagne sur le plan administratif (autorisations), organisationnel (avec services extérieurs), rechercher des financements pour les équipes concernées,
  - Concevoir et piloter l'expérimentation,
- ▶ Assister le maître d'ouvrage
  - Compléter la liste du matériel nécessaire pour une utilisation intensive,
  - Organiser avec d'autres acteurs techniques une offre aussi complète que possible sur le territoire géré par le maître d'ouvrage à la fois sur la prévention, mais également sur l'opérationnel (temps de crise),
- ▶ Positionner le consortium sur des thématiques recherche
  - Organiser une offre technique de base à compléter avec des sujets de recherche.

## ► Expériences OU PROJET

Projet DIDRO proposé au FUI en décembre 2014.

## ► EQUIPES ET CONTACTS

Bruno Janet (SCHAPI), Marc Pierrot-DeSeiligny



# IRM

## Intervention en période de risque majeur

Expérimentations de drones dédiés à des missions de soutien

### ► Problématique, pertinence de la démarche

#### Problématique générale

La présente fiche est issue de plusieurs campagnes réalisées par le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives entre 2013 et 2014 sur certains de ses sites pour des besoins spécifiques de sécurité/sûreté. Les drones utilisés étaient de type copter à propulsion électrique.

#### Objectif de la démarche

L'objectif était de mener des expérimentations sur la mise en œuvre de drones pour des appuis techniques ponctuels dans le cadre de différentes missions. Les résultats attendus étaient de déterminer les contraintes de mise en œuvre et de possession de ce type d'engin, les limitations de vol principalement liées à la météorologie et d'évaluer l'apport des drones dans un contexte opérationnel.

#### Utilisation de drones

- Pertinence de l'utilisation de drones
- Consistance des missions des drones

#### Difficultés

Il existe une pléthore de constructeurs/assembleurs de drones. Il est donc difficile d'évaluer le degré de maturité des programmes. De plus, il n'y a, à notre connaissance, aucun système (vecteur, station de contrôle) homologué par la DGAC comme peut l'être les aéronefs classiques. Le choix est donc compliqué. De plus, les sites du CEA étant des ZIT regroupant des INB et INBS, la détention et la mise en œuvre à titre définitif sont soumis à l'autorisation administrative de la DGAC d'une part mais aussi de l'ASN et qualifié auprès du CNOA d'autre part.

### ► Modalités de mise en œuvre

#### Matériels nécessaires

Notre cahier des charge spécifié les critères suivants :

- Capacité d'emport de 2 à 3kg
- Possibilité de faire du vol stationnaire
- Vitesse de déplacement importante
- Possibilité de programmation de zones d'exclusion

- Programmation de vol automatisé
- Chiffrement des canaux de liaisons de données et de pilotage
- Portée de 10km
- Autonomie d'au moins 30 minutes
- Système IP65 à minima

#### Types de drones

Le choix s'est porté sur des drones de type copter électrique. Ce type d'aéronef est justifié par :

- Pas de piste de décollage ou atterrissage
- Possibilité d'aménager des zones réservées pour des atterrissages d'urgences (typiquement en cas de batterie faible) à faible emprise
- Possibilité de vol stationnaire
- Mise en œuvre rapide

Le choix d'une propulsion par moteur électrique est dicté par une maintenance plus simple qu'en version thermique. Il n'est pas nécessaire de procéder à une révision moteur après 20h d'utilisation. L'autonomie étant moindre qu'en thermique, il faut en revanche prévoir des points de poses afin de procéder à des échanges de batteries si nécessaire.

Deux drones ont été retenus pour les campagnes :

#### Drone 1

Le drone 1 est de catégorie E (24 kg).

Ses caractéristiques :

- Envergure : 2.2m
- Vitesse de déplacement : 45km/h
- Autonomie : 35min

En régime dérogatoire (scénario S4), ce drone évolue dans les conditions suivantes :

- Vol hors zone peuplée
- Distance horizontale maximale pouvant aller jusqu'à 10 km du télépilote mais ne pouvant sortir de la ZAC des sites
- Hauteur de vol inférieure à 100 m au-dessus du sol ou des obstacles.
- Vol de nuit

La station de contrôle permet une planification complète de plans de vol prédéfinis et totalement automatisés. A tout moment, le pilote peut basculer du mode automatique à manuel selon les nécessités de la mission.

## Drone 2

Le drone 2 est de catégorie E (25 kg). Ses caractéristiques :

Envergure : 1.8m

Vitesse de déplacement : 90km/h

Autonomie : 40min

Le scénario S4 du drone 1 s'applique aussi au drone 2.

Le principe de vol programmé et de débrailage de l'automatisme pour une reprise en manuel est identique que pour le drone 1.

## Capteurs

Selon les missions.

## Compétences techniques

Pas de compétences internes en matière de pilotage. Les drones ont été opérés par les personnels des fabricants répondant aux demandes des équipes du CEA. Le traitement des informations est du ressort du donneur d'ordres.

## Mise œuvre

### Les vols du drone 1

La durée de chaque vol était limitée à 30 minutes. Le site retenu pour cette première expérimentation a bénéficié d'une météorologie très bonne :

- ciel dégagé
- vent de l'ordre de 1m/s
- température avoisinant les 10°C.

Le vecteur a pu évoluer dans des conditions optimales.

Initialement prévu avec une motorisation électrique, le drone opéré a utilisé une propulsion thermique. La faute incombe à une incapacité des accus à atteindre l'autonomie annoncée.

L'expérimentation devait aussi tester le rattachement du drone à une balise mobile. Ce test n'a pu avoir lieu du fait de la non disponibilité de la balise lors de la semaine d'expérimentation.

### Les vols du Drone 2

Un nouveau site a été choisi pour cette nouvelle campagne. Nous avons pu bénéficier de conditions météorologiques moins propices :

- tempête de vent (moyenne de 25m/s avec des pointes à 30m/s)
- neige
- orage
- température négative.

Le drone a répondu à toutes nos attentes. Les conditions météorologiques n'ont pas été un frein au déploiement du système. Le vecteur a pu effectuer ses missions de nuit et sous pluie ou neige. Un seul vol a été écourté lors de la tempête pour des raisons de sécurité. Le drone embarquait un système barométrique pour déterminer son altitude de vol. Le vent en rafale indiquait alors au système de brusques variations d'altitude fictives qu'il compensait immédiatement entraînant un effet de pompe à forte amplitude durant le vol. A noter que le vecteur peut embarquer à la place de ce système barométrique un système laser insensible à ce phénomène.

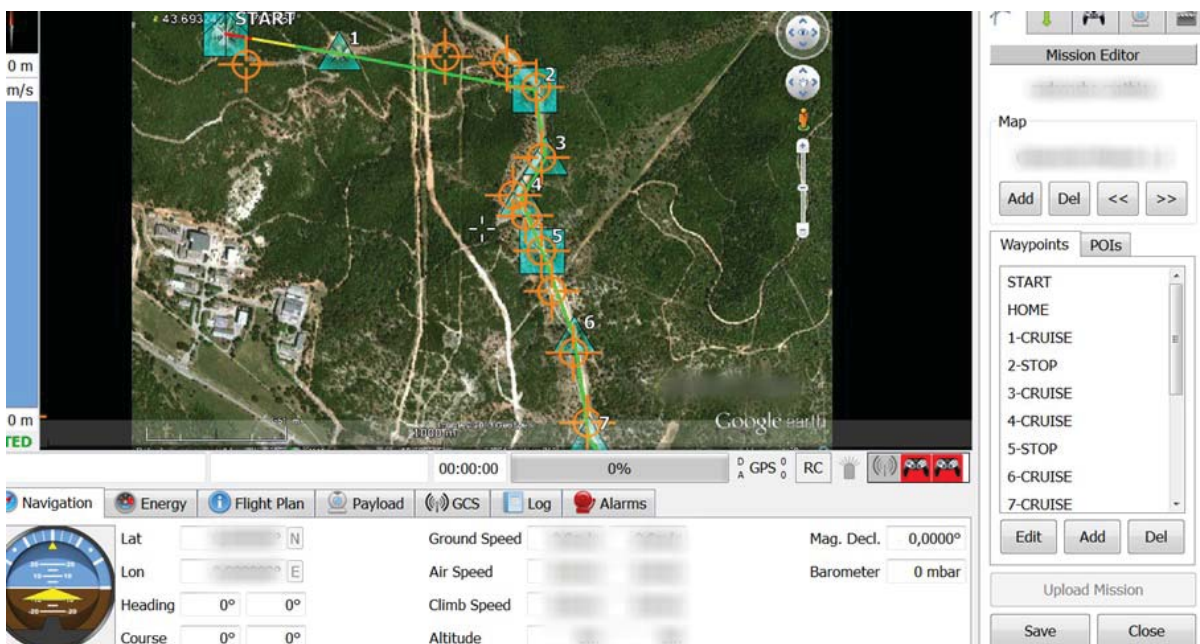


Figure 1 : programmation plan de vol automatique



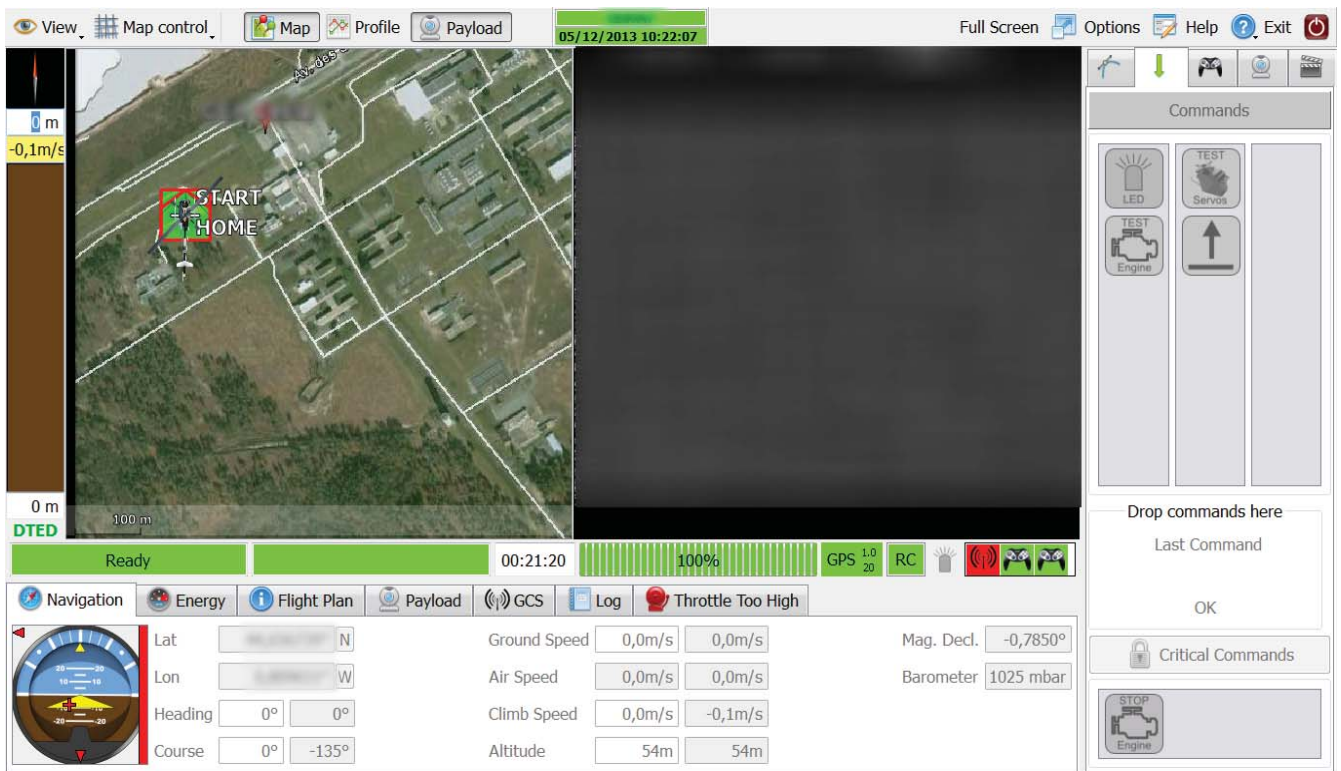


Figure 2 : retour vidéo en temps réel

Dans leur ensemble, les missions ont pu être correctement menées. Les systèmes de surveillance de charge restante des batteries sous-estimaient les capacités restantes, ce qui, du point de vue de la sécurité est un point positif car cela donne une marge pour poser le vecteur. Les fonctionnalités annoncées par les fabricants sont à vérifier in situ.

Le choix de la propulsion électrique se trouve conforté par les lancements de mission. Dans le cas du thermique, tout vol s'accompagne d'une checklist à la mise sous tension :

- Vérification des gyroscopes
- Démarrage
- Décollage après atteinte du seuil de montée en température du moteur
- Point fixe à 15m pour une nouvelle vérification des gyroscopes

Cela implique la présence d'un opérateur sur l'aire de décollage.

Dans le cadre du modèle à propulsion électrique, seule la vérification de l'état gyroskopique à la mise sous tension est à faire. Le fait de laisser l'appareil sous tension conserve le bon fonctionnement des gyroscopes, le système étant calibré. Inutile aussi la phase de montée en température. Cela permet d'avoir un vecteur opérationnel dans la minute contre 3 dans le cas précédent.

Matériel				Mise en oeuvre			
VECTEURS		CAPTEURS		SCENARIO DE VOL		STOCKAGE	
Voilure	Poids	Passif	Actif	DGAC	Autonomie	Vecteur	Base
Drone 1	28kg			S4	30min		X
Drone 2	24kg			S4	30min		X



## IRM

### Intervention en période de risque majeur

Utilisation du drone pour le service alerte usager

Le recueil temps réel pour le service information routière

#### ► Problématique, pertinence de la démarche

##### Problématique générale

A l'exception des réseaux qui font l'objet d'une couverture vidéo, il n'est pas possible de disposer d'une visualisation des situations ou des conditions de circulation sur la majorité des axes de circulation en cas d'événements de type congestion, accident ou incident.

Lors de telles situations les autorités mettent en œuvre des plans de gestion du trafic (PGT) dont les principales mesures concernent des délestages ou des stockages (notamment pour les poids lourds).

L'utilisation du drone comme moyen de recueil aérien d'information trafic offre aux gestionnaires de réseaux une visualisation temps réel et détaillée leur permettant ainsi d'analyser rapidement les différentes situations et de prendre en conséquence les décisions adéquates dans les plus brefs délais. Le niveau d'information peut aussi bien concerner une investigation détaillée au plus près de l'événement (nombre de véhicules impliqués, gravité...) qu'une visualisation à grande échelle de la situation par une vision haute altitude.

Les possibilités de stockage peuvent être également analysées, l'utilisation du drone apporterait une aide précieuse en vérifiant la situation sur les délestages, coordonnant les informations PMV (Panneau à Message Variable), du nombre de PL stockés, ainsi que des places disponibles.

Les informations sont recueillies et transmises au CIGT, la position précise du drone permet de transmettre également la localisation GPS de l'événement, de la remontée de queue de bouchon...les flux vidéos fournis par le drone pouvant également être intégrés en temps réel dans les cartographies dynamiques des applications transports.

De plus, l'information à bord du véhicule fournie par le biais d'une communication infrastructure véhicule (I2V) peut permettre d'améliorer les conditions de circulation et d'avoir des effets positifs en termes de sécurité. Pour des raisons évidentes de coûts et de maintenance il n'est cependant pas possible d'implémenter un nombre significatif d'équipements bord de route. Aussi l'utilisation d'un drone en tant que vecteur de communication de type « infrastructure » est une solution permettant de proposer le déploiement de systèmes coopératifs de type V2I sur une large part du réseau même en l'absence d'équipements de ce dernier.

##### Objectif de la démarche

Les DterMed et DterSO du CEREMA réfléchissent actuellement aux opportunités d'utilisation de drones, et cherchent à développer des démonstrations visant à valider les processus envisagés, dans deux cas de technologies liées aux ITS :

- 1 - La première concerne le service alerte usager par le biais de systèmes coopératifs
- 2 - La seconde concerne le recueil en temps réel pour le service information routière

Il s'agit aujourd'hui d'une proposition d'études qui présenteront l'évaluation de l'ensemble des tests à réaliser ainsi que les perspectives d'utilisation de ces technologies pour d'autres unités du Réseau Scientifique et Technique (RST) du ministère en charge de l'aménagement du territoire.

En particulier, l'étude envisagée porte sur les potentialités de ce type de service ainsi que sur la faisabilité d'embarquer une drone sur un véhicule de patrouillage avec des fonctionnalités d'automatisation de la procédure de vol : décollage et atterrissage à partir d'une plate-forme du véhicule par exemple.

## Utilisation de drones

### Pertinence de l'utilisation de drones

#### *Utilisation du drone en situation de crise sur le réseau routier*

L'utilisation de drones peut s'avérer particulièrement intéressante lorsque la situation des réseaux routiers est délicate, pour des raisons liées à la congestion, aux coupures ou aux conditions climatiques. Dans de tels cas le drone peut rapidement atteindre les événements et fournir aux gestionnaires, autorités et secours les informations leur permettant d'analyser la situation de manière optimale.

La fourniture de ces informations nécessite une importante collecte de données pour une bonne connaissance de la situation en termes de trafic ou de sécurité. Indépendamment des données fournies par les systèmes de recueil existants, il est souvent nécessaire de recueillir des données complémentaires : enquêtes, stations de comptage temporaires, radars, vidéo... Ces moyens de recueil complémentaires sont souvent difficiles et coûteux à installer. Ils peuvent par ailleurs être intrusifs et entraîner de ce fait une modification comportementale des usagers en particulier par la mise en place de caméras, radars ou enquêteurs.

Lors de telles situations les autorités mettent en œuvre des plans de gestion du trafic (PGT) dont les principales mesures concernent des délestages ou des stockages de poids lourds, là aussi l'utilisation du drone apporterait une aide précieuse : vérification de la situation sur les délestages, des informations PMV, du nombre de PL stockés ainsi que des places disponibles.

#### Utilisation du drone pour le service alerte usager par le biais de système coopératif

Chaque accident ou incident routier entraîne des risques d'insécurité pour les usagers ou les personnels d'exploitation ou de secours qui interviennent sur les lieux du sinistre. Les équipes d'intervention qui ont la charge de protéger le secteur sont souvent les plus exposés aux risques de sur-accidents. L'information d'alerte aux usagers est essentielle pour réduire ces risques, elle est généralement traitée par la diffusion de messages PMV situés en amont de l'incident. La couverture du réseau par ce type d'équipement est cependant restreinte et ne permet pas d'assurer sur la majorité des axes l'alerte aux usagers et la protection des équipes d'intervention.

Là aussi l'usage du drone permettrait d'apporter une aide à l'exploitant, le drone équipé d'un feu à éclats permettrait d'alerter les usagers d'un danger en aval, il pourrait jouer le rôle « d'ange gardien » du patrouilleur en suivant le véhicule de patrouille pour alerter les usagers de sa présence et de tout danger immédiat.

De plus, l'information à bord du véhicule fournie par le biais d'une communication infrastructure véhicule (I2V) peut permettre d'améliorer les conditions de circulation et d'avoir des effets positifs en termes de sécurité. Pour des raisons évidentes de coûts et de maintenance il n'est cependant pas possible d'implémenter un nombre significatif d'équipements bord de route. Aussi l'utilisation d'un drone en tant que vecteur de communication de type « infrastructure » est une solution permettant de proposer le déploiement de systèmes coopératifs de type V2I sur une large part du réseau même en l'absence d'équipements de ce dernier.

### Consistance des missions des drones

#### *Le recueil temps réel pour le service information routière.*

Il s'agit d'analyser rapidement les différentes situations et de prendre en conséquence les décisions adéquates dans les plus brefs délais. Le niveau d'information peut aussi bien concerner une investigation détaillée au plus près de l'évènement (nb de véhicules impliqués, gravité...) qu'une visualisation à grande échelle de la situation par une vision haute altitude. Les informations sont recueillies et transmises au CIGT, la position précise du drone permet de transmettre également la localisation GPS de l'évènement, de la remontée de queue de bouchon...les flux vidéo fournis par le drone pouvant également être intégrés en temps réel dans les cartographies dynamiques des applications transports

En conséquence, les études porteront plus spécifiquement sur les potentialités de recueil de données en termes :

- d'évaluation des débits
- d'estimation des vitesses
- d'identification des typologies de véhicules
- d'identification des plaques d'immatriculation ....

### Le service d'alerte à l'utilisateur

L'unité "bord de route" du système coopératif est installée sur le drone qui fournit au véhicule l'information transmise par le centre de contrôle du trafic. Le drone peut être positionné à l'endroit le plus intéressant en fonction de la localisation de l'événement et des usagers à alerter.

### Difficultés

- Technologiques : à ce stade d'expérimentation il n'est pas possible d'exposer l'ensemble des difficultés ; des incertitudes pèsent sur le recueil et le stockage des données
- De sécurité publique : les vols relatifs aux usages envisagés survolent des zones peuplées
- Juridiques : législation contraignante concernant le survol des zones peuplées, même si l'on est dans le régime de la dérogation.
- Organisationnelles : disponibilité des équipes drones, des appareils. Des entraînements réguliers des équipes gagneraient à être organisés avant la survenue d'événements pour caler les procédures.

### Risques

- Perte de l'appareil
- Accident avec une personne.

### Modalités de mise en œuvre

#### Matériels nécessaires

##### Types de drones

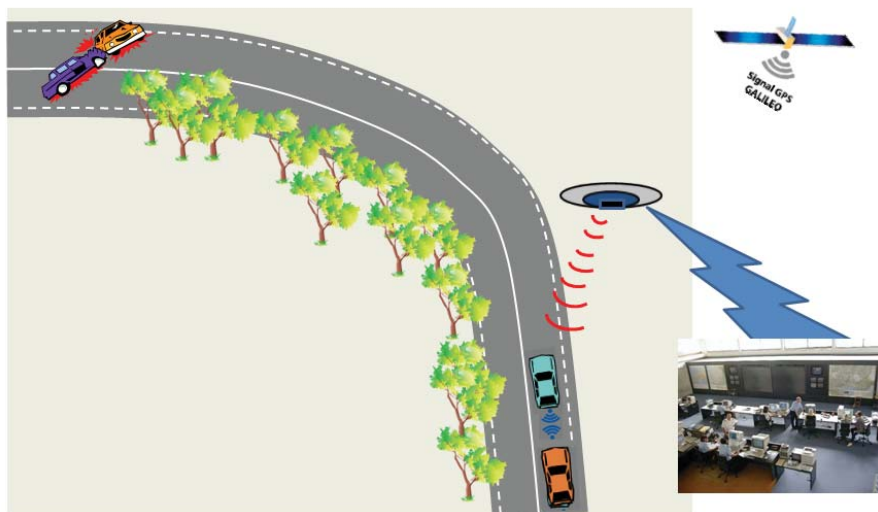
- Examen local régulier en cas de problème identifié : multicoptère /voilure fixe pour des parcours longue distance (rocade...)
- Zone de décollage à localiser, hors zone à risque et proche des zones à surveiller (véhicule spécifique reste à étudier)

##### Capteurs

- Appareils photos / caméras aujourd'hui sans difficultés particulières
- Appareil infrarouge pour vol de nuit (dans un second temps si problème d'urgence)

##### Données collectées et post-traitements

- Essentiellement des photos et des vidéos, fournissant les données
- Coordination avec les services préfectoraux / police / gendarmerie et les exploitants de l'infrastructure routière.



### Compétences techniques

#### Internes au RST

- Traitement des images, analyse trafic, exploitation routes

#### Les organismes pertinents sur le sujet

- Support à la préparation des opérations et tests : IFSTTAR, IGN, ENAC, CEREMA
- Utilisation finale : Services préfectoraux /police/ Gendarmerie), SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours)

### Mise œuvre

- Recourir à une expérimentation préalable : Constituer un consortium avec des équipes complémentaires : IFSTTAR, IGN, ENAC, CEREMA Identifier un maître d'ouvrage / exploitant intéressé Concevoir et piloter l'expérimentation, mettre en place les plans de vol (autorisation DGAC)
- Assister le maître d'ouvrage : Compléter la liste des matériels nécessaires pour une utilisation régulière, Organiser avec d'autres acteurs techniques une offre aussi complète que possible sur le territoire sur le volet prévention, mais également sur l'opérationnel (en cas de crise),
- Positionner le consortium sur des thématiques recherche : Organiser une offre technique de base à compléter avec des actions de recherche.

### Equipes et contacts

CEREMA/DterMed – Alain Reme  
CEREMA/ DterSO – Erwan Broquaire  
CEREMA / DterIdF – Jerome Gallet

Commissariat général au développement durable  
Direction de l'Innovation et de la Recherche  
Tour Séquoia  
92055 La Défense cedex  
tél : 01 40 81 21 22

Retrouver cette publication sur le site  
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/developpement-durable/>



**Commissariat général au développement durable  
Service de l'économie, de l'évaluation et de  
l'intégration du développement durable**

dépôt légal : septembre 2015  
ISSN :2102-474X

Direction de l'Innovation et de la Recherche

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)